

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté d'éducation

Transposition didactique : des savoirs experts d'un programme technique vers les
savoirs à enseigner en physique

Par

Anne Blouin

Essai présenté à la Faculté d'éducation
en vue de l'obtention du grade de
Maître en enseignement (M.Éd.)
Maîtrise en enseignement au collégial

Octobre 2014

©Anne Blouin, 2014

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté d'éducation
Maîtrise en enseignement au collégial

Transposition didactique : des savoirs experts d'un programme technique vers les
savoirs à enseigner en physique

par
Anne Blouin

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Suzanne Turmel, Directrice d'essai
Mélanie Latulippe, Évaluatrice de l'essai

REMERCIEMENTS

Ce projet porte mon nom, mais il n'aurait pas vu le jour si j'avais été la seule à y croire. Je remercie d'abord Mme Lucie Chartier, coordonnatrice du département de génie civil pour avoir facilité la collaboration entre nos deux départements et pour son enthousiasme à y participer.

Merci à M. Pascal Larouche d'avoir cru au projet et de m'avoir accompagnée dans mes premiers pas en recherche jusqu'à ce que nos cheminements professionnels se séparent.

L'arrivée de Mme Suzanne Turmel dans mon parcours d'étudiante et de chercheuse a donné un nouveau souffle à ce projet. Un merci tout spécial pour m'avoir si bien guidée et encouragée comme directrice d'essai que j'ai l'impression que nous travaillons ensemble depuis le départ!

Transformer complètement un cours de physique pour l'adapter à des situations concrètes reliées à un programme technique est une belle aventure. Merci à tous ceux et celles qui ont fait un bout de chemin avec moi. Merci à Mme Annie Provencher et aux autres participantes et participants du département de génie civil pour m'avoir fait découvrir quelques systèmes de votre programme. Je remercie aussi M. Martin Dubé et M. Mathieu Germain du département de physique, votre collaboration fut très précieuse pour compléter et valider mes résultats.

Merci aussi à tous les enseignants et enseignantes du DE et du MEC qui m'ont fait progresser dans l'écriture de cet essai et dans ma vie professionnelle. Finalement, je remercie mon conjoint et mes enfants pour leur appui au quotidien.

SOMMAIRE

Par expérience, les étudiantes et étudiants du collégial sont beaucoup plus motivés lorsque les activités d'apprentissage proposées dans le cours sont en lien direct avec leur programme, surtout lorsqu'il s'agit d'un cours d'une discipline contributive. Comme il y a seize cours de physique offerts dans neuf programmes techniques au cégep de Trois-Rivières, les applications pertinentes de chaque programme ne sont pas toujours connues du département de physique et il n'y a que peu de sources d'informations vulgarisées qui expliquent le fonctionnement de ces systèmes ou qui font des liens explicites avec la physique.

Cet essai vise à élaborer une démarche permettant d'obtenir les informations pertinentes sur les systèmes utilisés dans les programmes de techniques physiques afin d'organiser les savoirs à enseigner de façon cohérente et pertinente dans les cours de physique. Cette démarche générale sera ensuite appliquée au cours de mécanique appliquée du programme de génie civil afin de la valider concrètement.

Tout en s'appuyant sur les sources didactiques comme les savoirs disciplinaires, les savoirs à enseigner et le rapport des élèves aux savoirs, le cadre de référence propose un processus de transposition didactique pour déterminer et organiser les contenus du cours de physique en fonction des applications concrètes reliées au programme.

Le cadre méthodologique de cette recherche-intervention propose une démarche cyclique permettant d'abord d'identifier les systèmes techniques pertinents et leurs liens avec la physique puis de modéliser le fonctionnement de ce système. Enfin, le processus de transposition didactique sera appliqué aux résultats et vérifié par des enseignantes et enseignants du département de physique.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	3
SOMMAIRE.....	4
LISTE DES TABLEAUX.....	8
LISTE DES FIGURES.....	9
INTRODUCTION.....	10
PREMIER CHAPITRE - LA PROBLÉMATIQUE.....	12
1. LE CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	12
1.1 La physique au cégep de Trois-Rivières.....	13
1.2 Motivation des élèves par rapport aux cours de physique.....	16
2. LE PROBLÈME DE RECHERCHE.....	18
3. LA QUESTION DE RECHERCHE.....	19
DEUXIÈME CHAPITRE - LE CADRE DE RÉFÉRENCE.....	20
1. LE QUESTIONNEMENT DIDACTIQUE.....	20
1.1 Les savoirs disciplinaires.....	22
1.2 Les savoirs à enseigner.....	25
1.3 Le rapport des élèves aux savoirs à enseigner.....	28
2. LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE.....	29
2.1 L'élaboration d'un programme technique au collégial.....	30
2.2 La transposition didactique interne.....	31
3. LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DE L'ESSAI.....	36

TROISIÈME CHAPITRE - LA MÉTHODOLOGIE	38
1. LES CARACTÉRISTIQUES DE LA RECHERCHE.....	38
2. PRÉPARATION DU PLAN ET DES OUTILS D'INTERVENTION.....	42
3. CHOIX DES MÉTHODES DE COLLECTE DE DONNÉES.....	43
3.1 Les entrevues semi-dirigées.....	45
3.2 Les considérations éthiques.....	48
4. INTERVENTION ET CUEILLETTE DES DONNÉES.....	50
4.1 La première entrevue semi-dirigée.....	50
4.2 La deuxième entrevue semi-dirigée.....	52
4.3 La troisième entrevue semi-dirigée.....	55
5. ANALYSE ET ÉVALUATION DES DONNÉES DE LA RECHERCHE.....	59
5.1 Catégorisation des résultats de la première entrevue.....	59
5.2 Présentation des résultats de la deuxième phase du plan d'intervention ...	60
5.3 Élaboration de conclusions.....	63
5.4 Rigueur et scientificité de la recherche.....	63
6. PLAN D'INTERVENTION.....	66
QUATRIÈME CHAPITRE - LA PRÉSENTATION ET L'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	68
1. IDENTIFICATION DES SAVOIRS EXPERTS DU PROGRAMME.....	69
1.1 Les résultats de la première entrevue.....	70
1.2 Les résultats de la deuxième entrevue.....	73
2. LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE DES RÉSULTATS.....	76
2.1 Détermination des dispositifs physiques.....	76
2.2 Détermination des savoirs à enseigner.....	78
2.3 L'organisation des savoirs à enseigner.....	82

3.	VALIDATION DE LA DÉMARCHE.....	87
3.1	Les résultats de la troisième entrevue.....	88
3.2	L'élaboration de conclusion.....	92
	CONCLUSION.....	94
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	99
	ANNEXE A – COMPTE-RENDU DE LA DÉCISION DU COMITÉ D'ÉTHIQUE DU CÉGEP DE TROIS-RIVIÈRES.....	102
	ANNEXE B – FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (DÉPARTEMENT TECHNIQUE)	103
	ANNEXE C – FORMULAIRE DE CONSENTEMENT (DÉPARTEMENT PHYSIQUE)	104
	ANNEXE D – DES SAVOIRS EXPERTS DU PROGRAMME DE GÉNIE CIVIL VERS LES SAVOIRS À ENSEIGNER DANS LE COURS DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE.....	105
	ANNEXE E – TRANSPOSITION DES LOIS DE LA PHYSIQUE.....	111
1.	DÉFINITIONS.....	111
2.	LA DEUXIÈME LOI DE NEWTON.....	112
3.	LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE.....	113

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Programmes du cégep de Trois-Rivières offrant au moins un cours de physique.....	14
Tableau 2 – Compétences associées au cours de mécanique appliquée.....	44
Tableau 3 – Objectifs et critères de sélection pour les entrevues semi-dirigées	47
Tableau 4 – Cadre de la première entrevue.....	51
Tableau 5 – Cadre de la deuxième entrevue.....	54
Tableau 6 – Cadre de l’entrevue pour le département de physique.....	57
Tableau 7 – Application de la démarche scientifique à cette recherche.....	65
Tableau 8 – Catégorisation des systèmes techniques de génie civil.....	71
Tableau 9 – Des dispositifs physiques vers les savoirs à enseigner.....	79
Tableau 10 – Organisation suggérée pour les savoirs à enseigner.....	86
Tableau 11 – Cadre final pour l’entrevue dans le département de physique.....	89
Tableau D ₁ – Dispositifs physiques et savoirs à enseigner.....	108
Tableau D ₂ – Organisation des savoirs à enseigner.....	109

LISTE DES FIGURES

Figure 1 –	La fleur du questionnement didactique.....	21
Figure 2 –	Attitude essentielle en physique.....	23
Figure 3 –	Attitude essentielle de la physique adaptée à l’enseignement dans un programme technique au collégial.....	25
Figure 4 –	Transposition didactique des savoirs savants et experts vers les savoirs à enseigner dans une discipline contributive.....	27
Figure 5 –	La spirale de la transposition didactique en physique.....	33
Figure 6 –	La spirale intégratrice facilitant l’organisation d’un cours de physique dans un programme technique.....	35
Figure 7 –	Plan d’intervention prévu pour cet essai.....	67
Figure 8 –	Transposition didactique pour le cours de mécanique appliquée.....	81
Figure 9 –	Organisation des savoirs à enseigner dans le cours de mécanique appliquée.....	85
Figure D ₁ –	Vue en coupe de la station de pompage.....	105
Figure D ₂ –	La répartition de l’eau dans le réseau d’aqueduc.....	106
Figure D ₃ –	Modèle simplifié du réseau d’aqueduc.....	107
Figure E ₁ –	Circulation de l’eau à travers un cône.....	112

INTRODUCTION

En arrivant dans nos classes, les étudiantes et les étudiants du collégial se posent souvent plusieurs questions sur leurs cours : est-ce qu'il sera intéressant? Vais-je le réussir? Est-ce que ce cours me demandera beaucoup de travail? Est-ce qu'il me sera utile dans le futur?

En tant qu'enseignante ou enseignant au collégial, la préparation de nos cours suscite aussi un questionnement similaire. Nous souhaitons rendre nos cours intéressants, faciliter la réussite de nos élèves, doser judicieusement le travail exigé et donner du sens à notre enseignement tout en tenant compte des contraintes de temps, des éléments de compétences à faire acquérir et des connaissances antérieures des élèves. Autrement dit, nous devons régulièrement faire des choix sur le contenu à enseigner et sur la façon de l'enseigner.

Par expérience, la motivation des étudiantes et des étudiants est généralement plus faible dans les cours de physique d'un programme technique que dans ceux du programme de Sciences de la Nature. Ils sont moins attentifs en classe, quittent le cours plus tôt lors de périodes d'exercices et remettent en question la pertinence des contenus enseignés.

En tant qu'enseignante, le désir d'adapter les contenus au programme d'études est présent même si la façon de procéder reste à définir. Cette recherche vise donc à élaborer une démarche générale permettant d'intégrer des applications concrètes du programme technique de façon cohérente dans un cours de physique.

Dans un premier temps, le contexte relatif à l'enseignement de la physique au cégep de Trois-Rivières sera présenté, puis la problématique particulière de l'enseignement de la physique dans les programmes techniques mènera à la recherche d'une ligne directrice à donner aux enseignements dans ces cours.

Dans le deuxième chapitre, le cadre de référence ciblera les éléments du questionnement didactique propre à la planification d'un cours d'une discipline contributive. L'application de ces principes de base au contexte de l'enseignement de la physique dans un programme technique mènera à l'élaboration d'un processus de transposition didactique et d'un modèle de structure de cours facilitant le transfert des apprentissages vers les autres cours du programme. Les objectifs spécifiques prévoient d'abord l'élaboration d'une stratégie méthodologique formelle pouvant s'appliquer à l'ensemble des cours de physique des programmes techniques puis sa mise en application pour un cours en particulier.

Le troisième chapitre portant sur la méthodologie comportera deux volets, la formalisation et la contextualisation. Le volet formalisation s'attardera aux caractéristiques de cette recherche et à l'élaboration d'un plan d'intervention pour la collecte et l'analyse des données. Quant à lui, le volet contextualisation permettra de cibler judicieusement un cours et les objectifs de chaque collecte de données ainsi que les critères de sélection des participantes et des participants. Ce chapitre mentionnera aussi les outils utilisés pour assurer la rigueur de cette recherche et ses aspects éthiques.

Les résultats obtenus lors de l'application du plan d'intervention seront décrits et analysés dans le quatrième chapitre. Pour conclure, un bilan de la recherche sera présenté en précisant le rayon d'action, les limites et les retombées potentielles de cette recherche ainsi que quelques pistes pour d'autres recherches en enseignement.

PREMIER CHAPITRE

LA PROBLÉMATIQUE

Ce premier chapitre présente d'abord les caractéristiques des cours de physique offerts dans les programmes techniques du cégep de Trois-Rivières, puis la pertinence d'adapter les activités d'enseignement et d'apprentissage au programme. Par la suite, les difficultés liées à la conception d'activités adaptées pour ces cours seront mises en lumière et mèneront au problème et à la question de recherche.

1. LE CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Les lois de la physique régissent l'univers matériel qui nous entoure. La force gravitationnelle, par exemple, nous permet de garder les pieds sur terre, mais détermine aussi les orbites des satellites dans l'espace. Les ondes transmises par ces satellites peuvent communiquer notre position exacte alors que des ondes similaires sont utilisées pour allumer nos téléviseurs ou chauffer nos repas.

Bien qu'une seule loi de la physique puisse s'appliquer à une multitude de situations concrètes, la pertinence de ces applications aux yeux des étudiantes et des étudiants du cégep varie beaucoup en fonction de leur programme d'études. Cette section présente d'abord les caractéristiques générales des cours de physique du cégep de Trois-Rivières puis s'attarde au contexte particulier de l'enseignement dans une discipline contributive.

1.1 La physique au cégep de Trois-Rivières

Au cégep de Trois-Rivières, la physique intervient dans 14 programmes différents : quatre programmes préuniversitaires, neuf programmes techniques et un programme précollégial. La physique est l'une des quatre disciplines maîtresses dans les programmes préuniversitaires de Sciences de la nature, de Sciences informatiques et mathématiques et intervient en tant que discipline contributive dans tous les autres programmes. Le tableau 1 dresse le portrait de la répartition et de la diversité des cours de physique et permet de déterminer leur importance relative dans la répartition des tâches départementales.

Ce tableau permet de constater que les cours obligatoires des principaux programmes préuniversitaires sont donnés à quelques centaines d'étudiantes et d'étudiants chaque année par plusieurs enseignantes et enseignants du département de physique du cégep de Trois-Rivières. L'élaboration d'un examen synthèse commun et de balises pour la partie expérimentale fournit une ligne directrice locale bien définie qui facilite l'intégration d'une enseignante ou d'un enseignant qui donne le cours pour la première fois.

De plus, comme les cours obligatoires du programme de Sciences de la Nature sont aussi offerts à l'ensemble des cégeps, plusieurs manuels scolaires sont disponibles sur le marché et une grande variété d'expérimentations pédagogiques et d'activités d'apprentissage motivantes ont été développées pour ces cours.

Ce matériel didactique et ces activités d'apprentissage fournissent une réponse au questionnement didactique des enseignantes et enseignants du collégial. Quels sont les contenus les plus importants pour mon cours? Quelles sont les applications pertinentes de ces contenus pour le programme? Quels sont les préalables des étudiantes et des étudiants de ce programme? Quel est le niveau de difficulté attendu pour ce cours? Comment organiser ces contenus de façon cohérente?

Tableau 1
Programmes du cégep de Trois-Rivières offrant au moins un cours de physique

Programmes	Nombre de cours obligatoires de physique dans le programme	Estimé du nombre moyen d'élèves dans le programme par année*
Sciences de la nature (incluant profil musique)	3	240
Sciences informatiques et mathématiques		
Sciences, lettres et arts	2**	20
Histoire et civilisation	1	20
Accueil et intégration (précollégial)	2***	60
Technologie de l'architecture	2	70
Technologie du génie civil	2	64
Technologie de la mécanique du bâtiment	2	20
Technologie du génie mécanique	2	30
Technologie de la maintenance industrielle	2	10
Technologie du génie métallurgique	2	25
Technologie du génie industriel	1	10
Technologie du génie électrique : option électronique industrielle	1	25
Technologie des pâtes et papiers	1	inactif

*Basé sur les prévisions fournies par les ressources humaines pour la répartition des tâches dans le département de physique pour les cohortes 2012-2013

**Ces cours sont très similaires à ceux du programme de Sciences de la Nature

***Cours optionnels

Par contre, la situation est complètement différente pour les cours de physique offerts dans les programmes techniques. En plus de ne pas être offerts dans tous les cégeps, les programmes de techniques physiques n'accueillent qu'un petit nombre d'étudiantes et d'étudiants chaque année comme le démontre le tableau 1.

Ces petites cohortes entraînent la rareté du matériel didactique adapté. Bien que Cervera et Nonnon (1996) aient vulgarisé le fonctionnement des systèmes hydrauliques à partir de principes de base en physique et que Pelletier (2003) ait conçu des notes de cours adapté au programme de génie mécanique, l'utilisation de ce matériel didactique adapté est souvent limitée par l'élaboration locale des programmes. L'association des éléments de compétences ministérielles aux cours d'un même programme technique varie d'un cégep à l'autre entraînant ainsi des contenus différents pour une même discipline d'un même programme. De plus, la petite taille des cohortes et les contraintes de répartition des tâches enseignantes font souvent en sorte qu'une seule enseignante ou un seul enseignant donne généralement l'ensemble des cours de la discipline contributive d'un programme technique.

Les cours de physique offerts dans les programmes techniques se caractérisent aussi par des contenus faisant partie de la formation universitaire plutôt que collégiale des physiciennes et physiciens. Ces contenus non traditionnels nécessitent souvent une recherche disciplinaire complémentaire pour les adapter au niveau collégial, suscitant ainsi une nouvelle question : comment procéder pour adapter adéquatement ces contenus?

L'expérience de Maheu (2008) offre une piste de solution intéressante. Elle a exploré le programme d'inhalothérapie et consulté des collègues de ce département afin d'établir des liens entre les tâches des inhalothérapeutes et son cours de chimie. Cette démarche lui a ainsi fourni une ligne directrice pour organiser les contenus de son cours de façon à leur donner du sens et à avoir un impact positif sur la motivation des étudiantes et des étudiants.

Cet essai s'appuiera sur cette démarche dans le but de l'adapter à l'ensemble des cours de physique des programmes techniques. La section suivante précise les principaux facteurs reliés à la motivation dans un contexte scolaire.

1.2 Motivation des élèves par rapport au cours de physique

En tant qu'enseignante, j'ai pu constater à plusieurs reprises que la motivation pour la physique est beaucoup plus grande et que l'intégration des apprentissages s'effectue beaucoup mieux lorsque les lois de la physique sont appliquées à des situations reliées au programme technique de l'étudiante ou de l'étudiant. Ces applications constituent ainsi la ligne directrice permettant de donner du sens aux apprentissages.

Le document de Bédard et Gendron (2004) fournit la ligne directrice pour le cours de physique générale du programme de technologie de l'architecture en précisant que les applications des lois de la physique doivent être reliées à l'électricité, l'isolation, la plomberie, le chauffage, etc. Une expérimentation en classe sur la partie électricité de ce cours a permis de constater que les étudiantes et les étudiants s'engagent davantage dans la conception d'un plan ou d'une maquette représentant le circuit électrique d'une cuisine que pour des problèmes portant sur un circuit constitué d'une pile et de quelques résistances.

Dans ces deux cas, les lois de la physique en jeu sont les mêmes, mais schématiser le circuit électrique d'une cuisine donne davantage de sens à l'activité. Par conséquent, les étudiantes et les étudiants sont plus motivés même si l'activité demande beaucoup plus d'efforts et de temps qu'un simple circuit standard pile-résistance. Par contre, pour mettre en place cette activité, l'enseignante a dû explorer les branchements électriques de sa maison et compléter les informations avec quelques visites dans les quincailleries puisque les références traditionnelles en physique n'étaient pas suffisantes.

Cette exploration a permis de dénicher les informations pertinentes sur l'électricité domestique, mais elle ne serait pas efficace pour des systèmes techniques moins accessibles. De plus, la conception de cette activité d'apprentissage a été

possible parce que la ligne directrice pour ce cours était connue (Bédard et Gendron, 2004). L'expérimentation en classe dans le cours de physique générale du programme de technologie de l'architecture a permis de constater que la conception d'une maquette d'un circuit électrique d'une maison est apparue plus pertinente aux yeux des étudiantes et des étudiants qu'un exercice sur un circuit plus traditionnel.

Selon Viau (1994), la pertinence perçue est un facteur qui motive les étudiantes et les étudiants à réaliser une activité, mais celle-ci doit aussi être suffisamment complexe pour susciter de l'intérêt tout en étant réalisable afin d'augmenter leur sentiment de compétence. Ces facteurs améliorent la perception de la valeur de l'activité, suscitent l'engagement des étudiantes et des étudiants et améliorent ainsi leur apprentissage.

La plupart des manuels de référence en physique sont d'ailleurs organisés comme tel. Par exemple, Benson, Marcheterre, Séguin, Villeneuve et Gagnon (2009), dans leur manuel sur la mécanique, débutent avec les concepts mathématiques de base et le mouvement en une dimension avant d'aborder le mouvement en deux dimensions, les forces et les considérations énergétiques. Ils terminent en présentant les mêmes notions pour un autre type de mouvement, le mouvement de rotation. Pour le même cours de mécanique, Hecht (2006) présente d'abord le mouvement à vitesse constante, puis le mouvement accéléré et les notions mathématiques sur les vecteurs avec le mouvement en deux dimensions. Il poursuit ensuite avec l'étude des forces et reprend les notions précédentes pour le mouvement de rotation. Il termine avec les considérations énergétiques pour les deux types de mouvement. Bien que ces auteurs aient fait des choix didactiques différents pour l'organisation des savoirs, les notions les plus simples sont toujours présentées en premier et suivies de notions de plus en plus complexes et intégratrices.

En résumé, l'organisation des savoirs doit prévoir une progression du niveau de complexité et inclure des activités d'apprentissage en lien avec le programme

d'étude afin d'augmenter la motivation des étudiantes et étudiants. Par contre, le peu de matériel didactique adapté à l'enseignement de la physique dans les programmes techniques semble démontrer que ce processus n'est pas simple. La section suivante présente les principales difficultés rencontrées dans ce contexte particulier.

2. LE PROBLÈME DE RECHERCHE

Les cours de physique comportent généralement quelques lois qui s'appliquent à une grande diversité de situations, mais les situations présentées dans les manuels de mécanique (Hecht, 2006; Benson *et al.*, 2009), se limitent souvent au mouvement d'un bloc, d'une balle ou d'une roue.

Pour enseigner les mêmes notions dans un programme technique, l'enseignante ou l'enseignant de physique pourrait simplement remplacer le bloc, la balle et la roue par un ou plusieurs systèmes techniques reliés au programme. Cette adaptation n'est pas aussi simple puisque les plans-cadres de cours informent sur le contenu et les éléments de compétence du cours, mais ne mentionnent généralement pas les ouvrages ou les systèmes techniques auxquels ils doivent se rattacher pour prendre tout leur sens. De plus, même lorsque les ouvrages sont spécifiquement mentionnés, l'enseignante ou l'enseignant doit aussi comprendre suffisamment bien le fonctionnement général du système technique utilisé dans le programme pour pouvoir y appliquer les lois de la physique.

Les informations utiles sur le fonctionnement des systèmes ne se retrouvent pas toujours dans les manuels de physique et les écrits techniques suffisamment vulgarisés pour des spécialistes d'une discipline connexe sont rares. C'est pourquoi un travail de recherche et de transposition est requis pour dénicher et transformer ces savoirs experts en savoirs à enseigner qui ont du sens et qui tiennent compte du niveau de compétence attendu dans le cours de physique.

3. LA QUESTION DE RECHERCHE

La problématique et le problème de recherche ont fait ressortir les éléments suivants :

1. Les étudiantes et les étudiants perçoivent davantage la pertinence d'avoir un cours de physique dans leur programme, ils s'y investissent davantage et leurs apprentissages sont plus facilement transférables dans leurs cours techniques lorsque les applications sont en lien direct avec leur programme d'études;
2. La grande diversité des cours de physique dans les programmes techniques et le petit nombre d'étudiantes et d'étudiants font en sorte qu'il y a présentement peu de matériel didactique adapté pour ces cours;
3. Le manque d'informations vulgarisées et adaptées sur les systèmes techniques utilisés dans les programmes rend essentielle la collaboration entre le département technique et la discipline contributive;
4. Un travail d'exploration rigoureuse est nécessaire pour déterminer les contenus de cours pertinents et adaptés au programme;
5. L'organisation des contenus doit tenir compte des préalables des étudiantes et des étudiants et des compétences attendues afin de prévoir une progression dans le niveau de difficulté.

Cette recherche tentera de répondre à la question suivante : comment organiser les savoirs à enseigner dans un cours de physique d'un programme technique de façon pertinente et cohérente? Le chapitre suivant fournit le cadre de référence sur lequel s'appuiera l'élaboration de la démarche générale visée.

DEUXIÈME CHAPITRE

LE CADRE DE RÉFÉRENCE

Pour élaborer une démarche permettant d'organiser les savoirs à enseigner dans un cours de physique afin de les rendre pertinents et accessibles pour les étudiantes et les étudiants du programme technique, il est essentiel de bien situer les savoirs à enseigner.

Ce chapitre définit les principales étapes du questionnement didactique et de la transposition didactique des savoirs disciplinaires vers les savoirs à enseigner. Il débute par la présentation des entrées didactiques et de leurs adaptations particulières à l'enseignement de la physique dans un programme technique puis il présente les principales caractéristiques de la transposition didactique. En terminant, un processus de transposition didactique et d'organisation des savoirs à enseigner adapté au contexte sera proposé.

1. LE QUESTIONNEMENT DIDACTIQUE

Comme point de départ en didactique, la fleur du questionnement didactique représentée dans la figure 1 est un incontournable (Lapierre, 2008). Cette métaphore place l'enseignante ou l'enseignant au centre de la fleur et chaque pétale représente un aspect de son questionnement didactique.

Les savoirs disciplinaires, les savoirs à enseigner et les rapports des élèves aux savoirs correspondent aux trois premiers pétales de cette fleur et constituent les « éléments de base qu'utilise l'enseignant pour la planification tant du cours que du

programme » (Lapierre, 2008, p. 8) soit les sources didactiques. La conception de matériel didactique et les stratégies d'apprentissage, les deux dernières entrées didactiques entrent plutôt « dans la catégorie des ressources en ce sens que ce sont des moyens techniques et stratégiques qui permettent de passer de la planification à l'intervention » (*Ibid.*).

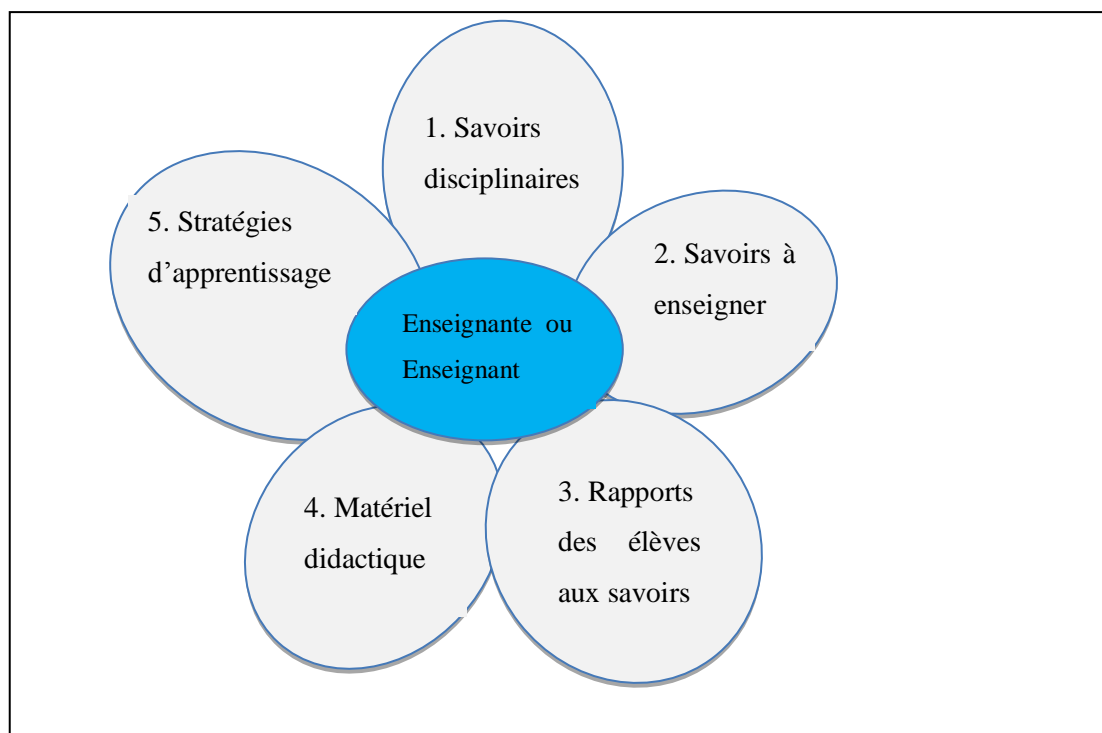


Figure 1 : La fleur du questionnement didactique tirée de Lapierre, L. (2008). Un cadre de référence pour le questionnement didactique au collégial. *Pédagogie collégiale*, 21(2), p. 8.

« Pour enseigner et faire apprendre d'une façon efficace, les enseignants doivent posséder des savoirs en lien avec chacune des entrées » (Bizier, 2006, p. 37), mais l'objectif général de cette recherche étant de trouver une façon d'organiser les contenus d'un cours d'une discipline contributive pour les rendre accessibles et pertinents, le cadre de référence s'attardera uniquement aux sources didactiques. Cette section définit d'abord les savoirs disciplinaires comprenant les savoirs savants de la physique et les savoirs experts de la discipline maitresse du programme, puis les savoirs à enseigner et les rapports des élèves à ces savoirs.

1.1 Les savoirs disciplinaires

Les savoirs savants constituent en quelque sorte le cadre de référence de la discipline enseignée. Par exemple, dans les disciplines scientifiques, ces savoirs correspondent à l'ensemble des lois et principes qui régissent la nature. Pour obtenir le statut de loi ou de principe fondamental, une nouvelle théorie doit être vérifiée expérimentalement et confirmer l'ensemble des observations du phénomène naturel. Il existe donc une étroite interrelation entre la théorie et l'expérimentation pour ces disciplines dont fait partie la physique. Cette interrelation fait en sorte que le modèle théorique permet de prévoir un phénomène sans refaire l'expérimentation à chaque fois, mais qu'il doit être modifié lorsqu'il ne permet plus d'expliquer une nouvelle observation.

Les savoirs savants évoluent lorsque de nouvelles technologies permettent de faire de nouvelles observations qui contredisent les théories actuelles, mais dans le contexte de l'enseignement, une transposition didactique externe est effectuée de façon à « censurer les savoirs les moins assurés » (Perrenoud, 1998) pour éviter de devoir changer le programme trop souvent. Les savoirs disciplinaires qui sont susceptibles d'être enseignés en physique se limitent donc aux savoirs savants qui sont largement acceptés par la communauté scientifique, c'est-à-dire ceux qui ont pu être confirmés par l'expérimentation à maintes reprises et par plusieurs observatrices et observateurs.

Les savoirs disciplinaires rattachés au cours proviennent d'une source extérieure, mais « la valeur de l'enseignement collégial repose pour l'essentiel sur la capacité des enseignants de donner du sens à leurs contenus » (Lapierre, 2008, p. 12). Cette recherche de sens dans l'enseignement d'une discipline contributive comme la physique peut se manifester par l'application des lois et principes à des systèmes techniques utilisés dans le programme, car ce sens provient de « l'attitude

essentielle » (*Ibid.*) et de « l'orientation du contenu compte tenu des finalités poursuivies » (*Ibid.*).

Pour donner du sens aux contenus disciplinaires prescrits par une source extérieure, le rôle de l'enseignante ou de l'enseignant consiste d'abord à préciser l'attitude essentielle de sa discipline puis à orienter les contenus en fonction des éléments de compétence à atteindre dans le cours. L'attitude essentielle correspond « au sens profond de la discipline » (*Ibid.*, p. 8), elle caractérise la discipline et la rend unique. Elle se retrouve dans tous les cours de la discipline, donne du sens aux enseignements et favorise le développement d'un mode de pensée, d'une perception de la réalité ou d'une stratégie cognitive propre à la discipline. La figure 2 reproduit l'attitude essentielle en physique élaborée par Normand (2009) et résume schématiquement l'interrelation entre la théorie et l'expérimentation.

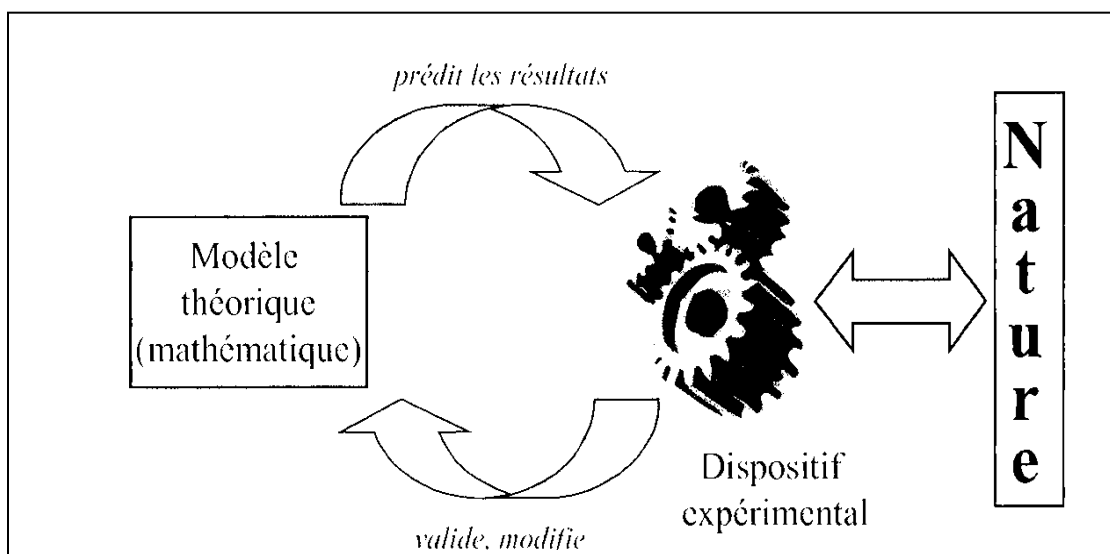


Figure 2 : Attitude essentielle en physique tirée de Normand, L. (2009). Une démarche de construction de connaissances en physique. In N.Bizier (dir.), *L'impératif didactique : au cœur de l'enseignement collégial* (p. 130). Sherbrooke : Éditions du CRP, Faculté d'éducation Université de Sherbrooke.

Les lois de la physique composant le modèle théorique ont été validées à partir de dispositifs expérimentaux reliés à la nature. En retour, le modèle théorique permet de prédire les résultats que le dispositif fournirait sans avoir à refaire

l'expérimentation. Par exemple, les lois du mouvement (modèle théorique) permettent de prédire la distance d'arrêt d'une voiture (dispositif expérimental) selon les conditions de la route, la vitesse initiale, l'efficacité des freins et le temps de réaction du conducteur (environnement ou nature).

Afin de donner du sens au modèle théorique dans le contexte de l'enseignement de la physique dans un programme technique, le dispositif expérimental doit se référer aux applications concrètes du programme plutôt qu'à la nature en général.

L'exemple précédent sur le mouvement d'une voiture permet d'illustrer correctement les lois du mouvement et de donner du sens au modèle théorique, mais le mouvement d'une composante ou d'un système utilisé dans les cours de la discipline maitresse est encore plus pertinent pour les étudiantes et les étudiants d'un programme technique. Dans ce contexte, le dispositif expérimental vise à illustrer ou à vérifier le modèle théorique plutôt qu'à le valider ou à le modifier. La figure 3 représente l'attitude essentielle en physique adaptée au contexte de l'enseignement dans un programme technique au collégial.

Ce modèle illustre la même interrelation entre la théorie et l'expérimentation que le modèle de Normand (2009), mais relie plus spécifiquement le dispositif à un système technique du programme afin d'en augmenter du même coup, la pertinence perçue par les étudiantes et les étudiants et leur motivation.

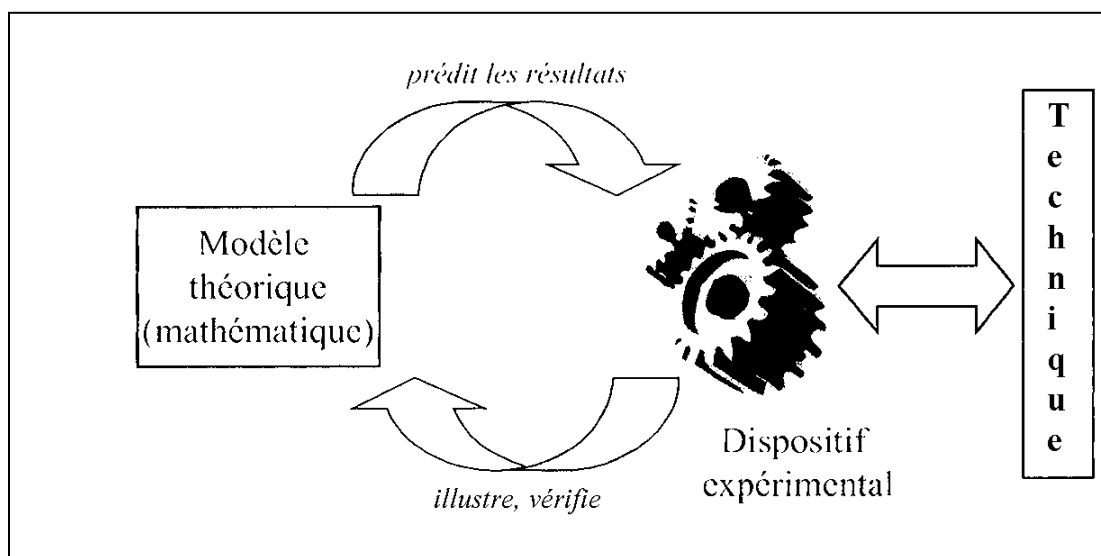


Figure 3 : Attitude essentielle de la physique adaptée à l'enseignement dans un programme technique inspirée de Normand, L. (2009). Une démarche de construction de connaissances en physique. In N.Bizier (dir.), *L'impératif didactique : au cœur de l'enseignement collégial* (p. 130). Sherbrooke : Éditions du CRP, Faculté d'éducation Université de Sherbrooke.

Dans le contexte d'un cours d'une discipline contributive, les savoirs disciplinaires comportent à la fois les savoirs savants de la discipline enseignée et les savoirs experts du programme en lien avec cette discipline. Dans la planification de son cours, le défi supplémentaire de l'enseignante ou de l'enseignant est de se familiariser avec les savoirs experts d'une autre discipline afin de déterminer les savoirs à enseigner les plus pertinents pour son cours. La section suivante situe ces savoirs à enseigner.

1.2 Les savoirs à enseigner

Les savoirs à enseigner se situent entre les savoirs disciplinaires et les rapports des élèves aux savoirs dans le processus de questionnement didactique (figure 1). Dans sa démarche d'aide auprès d'une enseignante en soins infirmiers, Authier (2008) mentionne que les savoirs à enseigner doivent se situer à une certaine distance des savoirs experts de la discipline technique ou des savoirs savants des autres disciplines. Pour Chevallard (1991) « le savoir enseigné [...] doit être [...]

suffisamment proche du savoir savant [...] et dans le même temps, le savoir enseigné doit apparaître suffisamment éloigné [...] du savoir banalisé dans la société. » (p. 26). Les savoirs disciplinaires doivent donc subir une première étape de transformation avant de devenir des contenus de cours ou savoirs à enseigner.

Plusieurs auteurs (Chevallard, 1991; Vincent, 2001) s'entendent pour définir une deuxième étape de transformation consistant à transformer les savoirs à enseigner en « savoirs effectivement enseignés » (Vincent, 2001, p. 220). Ces auteurs considèrent que les savoirs à enseigner correspondent généralement aux savoirs normatifs qui viennent du ministère et que seuls les savoirs effectivement enseignés sont sous la responsabilité des enseignantes et des enseignants.

Ce n'est toutefois pas le cas dans le contexte de l'enseignement au collégial puisque le ministère prescrit seulement les énoncés de compétence. Ces éléments de compétence sont ensuite associés localement à des disciplines et à des contenus de cours. Le plan-cadre de cours est ensuite élaboré par une enseignante ou un enseignant de la discipline concernée sous la supervision du comité de programme. Ces savoirs se retrouvent ainsi sous la responsabilité des enseignantes et enseignants du collégial au même titre que les savoirs effectivement enseignés dans la classe.

Les travaux de Pastré, Mayen et Vergnaud (2006) sur la didactique professionnelle précisent que le savoir à enseigner doit être sélectionné et organisé de façon à mobiliser « le savoir adéquat » (p. 136) afin de « générer une activité constructive » (*Ibid.*, p. 134) de la part des élèves. Ils ajoutent que les choix didactiques doivent faire en sorte que les tâches que l'étudiante ou l'étudiant aura à accomplir pour réussir le cours ne puissent se faire par essai-erreur ou par une méthode qui permet de réussir la tâche sans apprendre. En résumé, les savoirs à enseigner doivent :

1. Avoir du sens (Maheu, 2008) pour l'étudiante et l'étudiant en se rattachant aux savoirs experts de son programme d'études;
2. Tenir compte de l'attitude essentielle de la discipline (Lapierre, 2008);
3. Être suffisamment complexes (Pastré *et al.*, 2006) pour permettre l'atteinte des compétences associées au cours et faciliter le transfert des apprentissages vers les autres cours du programme.

La figure 4 illustre que les savoirs savants de la discipline et les savoirs experts du programme permettent de déterminer les savoirs à enseigner. Ces savoirs doivent être suffisamment près des savoirs savants pour favoriser l'atteinte des compétences du cours et suffisamment près des savoirs experts pour avoir du sens et faciliter le transfert des apprentissages. De plus, elle met en lumière que l'atteinte des compétences du cours est basée sur les savoirs savants de la discipline alors que les applications concrètes issues des savoirs experts du programme facilitent le transfert des apprentissages vers les autres cours de ce programme.

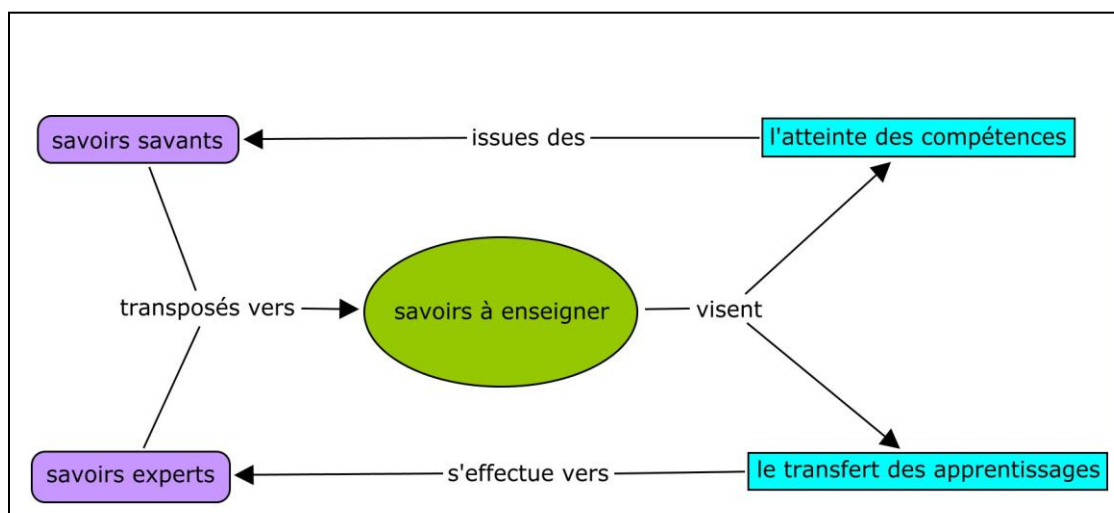


Figure 4 : Transposition didactique des savoirs savants et des savoirs experts vers les savoirs à enseigner dans une discipline contributive

En terminant, cette section a permis de caractériser les savoirs à enseigner et de les relier aux savoirs disciplinaires et aux finalités prescrites par le ministère alors

que la suivante s'attarde sur les rapports des élèves à ces savoirs afin de les adapter à la réalité de la classe.

1.3 Le rapport des élèves aux savoirs à enseigner

Bien que la distinction entre les savoirs à enseigner et les savoirs effectivement enseignés ne soit pas très grande (Vincent, 2001), elle est toutefois présente. Elle consiste à adapter les savoirs au contexte de la classe à partir du rapport des élèves aux savoirs. Ce rapport peut être défini comme « une relation émotive, intime et subjective qu'un individu entretient avec l'apprentissage et le savoir » (Beaucher, 2010, p. 8). Cette relation au savoir est différente pour chaque étudiante ou étudiant de la classe, mais il est possible d'en identifier les grandes lignes à partir du programme, de la place du cours et des préalables.

Les programmes de techniques physiques visent principalement à former des techniciennes et des techniciens pour effectuer des tâches productives (Pastré *et al.*, 2006), ces tâches productives s'effectuant généralement à partir d'appareils spécialisés. Le rapport de ces élèves aux savoirs est donc de nature utilitaire (Beaucher, 2010). Pour cette raison, bien que les cours de physique fassent partie de la formation spécifique au même titre que les cours de la discipline maitresse, les élèves ne perçoivent pas toujours la pertinence de ces cours dans leur formation. C'est pourquoi la recherche d'applications concrètes reliées au programme d'étude occupe une place importante dans le questionnement didactique relié à l'enseignement d'une discipline contributive (Maheu, 2008).

Au cégep de Trois-Rivières, les cours de physique se situent généralement à la deuxième et à la troisième session du programme technique et utilisent régulièrement des notions mathématiques enseignées à la première ou à la deuxième session du programme. La planification des savoirs à enseigner doit aussi tenter d'optimiser l'arrimage entre ces disciplines.

Ces grandes lignes du rapport des élèves aux savoirs enseignés, troisième entrée du questionnaire didactique permettent d'établir les savoirs qui seront effectivement enseignés en classe. Par la suite, il faut « établir une séquence de présentation qui respecte la cohérence ou la logique interne de la discipline concernée » (Lapointe, Thérien et Veillette, 1991, p. 65). En physique, cette logique consiste à introduire les notions les plus simples en premier et d'augmenter le niveau de complexité jusqu'à l'atteinte des compétences visées.

Alors que la transposition des savoirs savants et des savoirs experts vers les savoirs à enseigner tels qu'illustrés à la figure 4 permet d'atteindre les finalités du cours, les rapports des élèves aux savoirs enseignés permettent de déterminer la progression adéquate. La section suivante présente les étapes qui permettront d'organiser les savoirs de façon logique et cohérente pour l'enseignement de la physique dans un programme technique du collégial afin de répondre à la question de recherche.

2. LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE

La première partie du cadre de référence a permis de définir les sources didactiques et de les adapter à l'enseignement de la physique dans un programme technique. Cette section-ci identifie les différentes étapes du processus permettant d'organiser les savoirs à enseigner de façon à faciliter leur transfert vers les autres cours du programme.

La transposition didactique « fait référence aux mutations ou aux transformations que subit le savoir lorsque, d'objet de savoir savant, il devient objet de savoir à enseigner, puis objet de savoir enseigné » (Vincent, 2001, p. 212). Le savoir savant doit d'abord subir une simplification pour s'adapter au niveau scolaire avant de devenir un savoir à enseigner. Puis, il doit être transformé à nouveau pour

s'adapter aux rapports des élèves aux savoirs et aux caractéristiques particulières de la classe.

Dans le contexte de l'enseignement d'une discipline contributive, d'autres transformations sont à prévoir puisque les savoirs à enseigner découlent à la fois des savoirs savants de la discipline et des savoirs experts du programme. Ces savoirs experts « ne sont pas aussi facilement identifiables et ils sont plus instables ou controversés » (Perrenoud, 1998, p. 508) que les savoirs savants et rendent leur formalisation plus difficile. Pour comprendre le processus de transposition didactique que doivent subir ces savoirs, il est essentiel de distinguer la transposition externe de la transposition interne.

De façon générale, la transposition externe correspond aux transformations effectuées à l'extérieur de la classe alors que la transposition interne est associée aux transformations que l'enseignante ou l'enseignant fait subir aux savoirs pour l'adapter à sa classe (Chevallard, 1991; Vincent, 2001; Conne, 1989).

Les sections suivantes décrivent d'abord la transposition didactique externe menant à l'élaboration d'un programme d'études, puis les étapes effectuées par l'enseignante ou enseignant du collégial pour identifier les savoirs à enseigner pertinents pour son cours. Pour conclure cette section, une façon pertinente et cohérente d'organiser les savoirs effectivement enseignés sera proposée.

2.1 L'élaboration d'un programme technique au collégial

L'élaboration d'un programme d'études techniques selon l'approche par compétences constitue la première étape de la transposition didactique externe (Chevallard, 1991). À partir de l'analyse des tâches professionnelles, les savoirs experts sont identifiés et organisés en compétences par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de la Science du Québec.

Par la suite, une deuxième étape est effectuée localement par le comité de programme pour déterminer les cours qui feront partie du programme, le nombre d'heures alloué à chacun, l'ordre dans lequel ils seront présentés et leurs contenus. Cette approche-programme correspond à l'étape suivante de la transposition didactique et est présentée sous la forme de plans-cadres de cours. Bien que des enseignantes et des enseignants de diverses disciplines composent le comité de programme, il s'agit encore une fois d'une transposition didactique externe puisque les décisions sont prises par un comité extérieur à la classe, bien que locales.

Le plan-cadre identifie les savoirs disciplinaires correspondant au premier pétale de la fleur du questionnement didactique illustrée à la figure 1. Le processus de transposition didactique interne débute alors pour les enseignantes et les enseignants du collégial comme le décrit la section suivante.

2.2 La transposition didactique interne

La transposition didactique interne consiste pour l'enseignante ou l'enseignant à transformer les éléments de compétence et les éléments de contenus identifiés dans le plan-cadre du cours en savoirs à enseigner dans sa classe puis à les organiser en tenant compte des rapports des élèves aux savoirs.

Dans le contexte de l'enseignement d'une discipline contributive dans un programme technique, un complément d'information sur la situation de travail s'avère utile pour donner du sens à la formation (Maheu, 2008). Pour ces cours, la transposition interne débute avec l'identification des caractéristiques et des tâches reliées à la profession lorsque les éléments de compétence ou le plan-cadre de cours ne mentionnent pas d'applications concrètes.

Pour les techniques physiques, ces tâches consistent généralement à concevoir, installer et entretenir des systèmes. Une première étape à réaliser pour une enseignante ou un enseignant d'une discipline contributive est d'identifier les systèmes techniques qui peuvent être reliés au contenu de son cours et d'en cibler les éléments pertinents pour la discipline. En physique, c'est le principe de fonctionnement du système qui constitue l'élément essentiel et pertinent.

Le fonctionnement d'un système technique réel est complexe et dépend de plusieurs facteurs techniques. Il doit d'abord être simplifié et modélisé pour ne garder que les parties utiles à son fonctionnement. Par exemple, pour un système technique comme le vélo seuls les pédales, les engrenages et la roue arrière suffisent pour illustrer les lois du mouvement. Cette transposition du système réel et complexe vers un modèle simplifié est largement utilisée en physique pour isoler le phénomène étudié.

Chaque élément du système ainsi modélisé devient un dispositif expérimental interrelié au modèle théorique par l'attitude essentielle de la discipline illustrée à la figure 3. Ces dispositifs physiques doivent toutefois être suffisamment simples afin d'illustrer une seule nouvelle notion à la fois. Dans l'exemple du vélo, la roue arrière deviendrait un dispositif expérimental associé à l'étude du mouvement de rotation.

Les savoirs experts du programme simplifiés en dispositifs expérimentaux permettent ensuite d'extraire un modèle théorique pertinent à partir des savoirs savants de la discipline. Tels qu'illustrés à la figure 4, ces savoirs peuvent par la suite être transposés vers les savoirs à enseigner et organisés de façon à faciliter l'atteinte des compétences et le transfert des apprentissages vers les autres cours du programme.

Le processus de transposition didactique interne à effectuer pour transformer les savoirs experts du programme vers les savoirs à enseigner dans un cours de

physique d'un programme technique peut être illustré par la figure 5. La forme de spirale allant de l'extérieur vers l'intérieur représente dans un premier temps la simplification des savoirs experts du programme vers des dispositifs physiques issus des savoirs savants de la discipline. Dans un deuxième temps, elle illustre la simplification des savoirs savants en savoirs à enseigner qui seront organisés en module d'enseignement. Elle illustre ainsi une progression à partir des caractéristiques générales du programme vers les contenus plus spécifiques du cours.

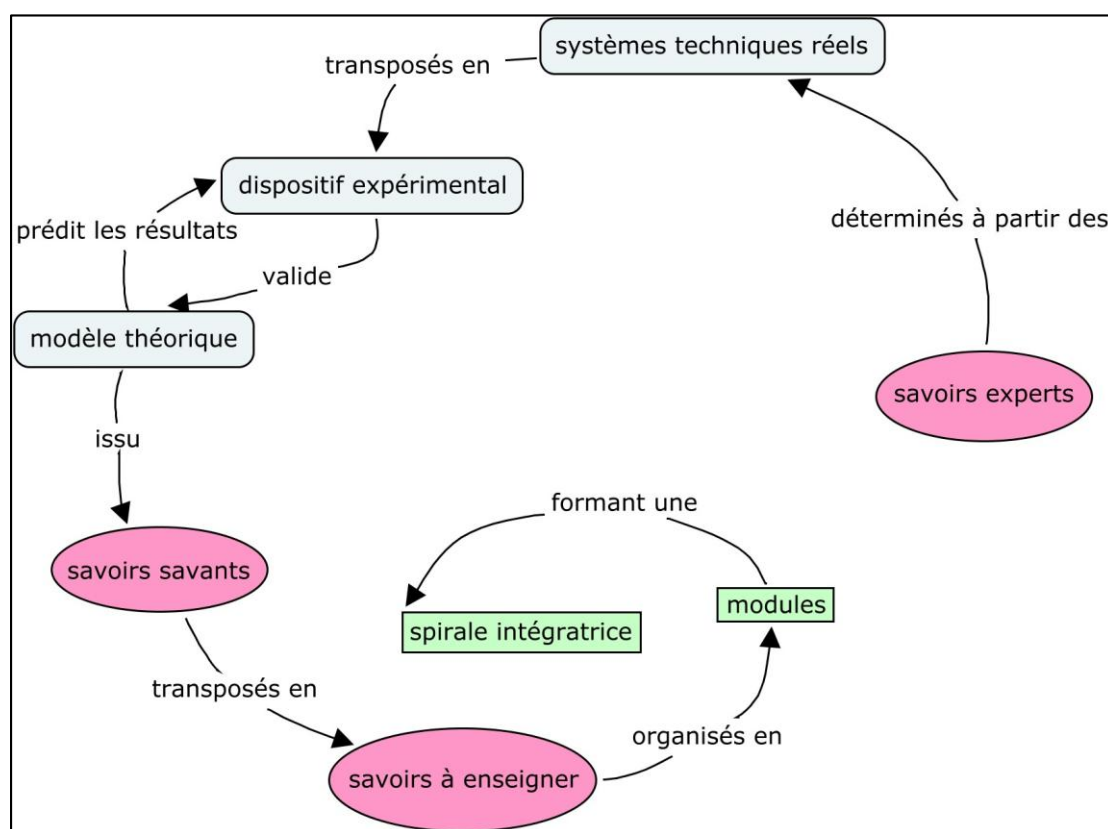


Figure 5 : La spirale de la transposition didactique en physique conçu par l'enseignante chercheuse dans le cadre de cet essai

Les modules d'enseignement pourraient ensuite être organisés de façon à introduire les notions de base au début du cours et à augmenter progressivement le niveau de complexité jusqu'à l'atteinte des compétences. Le terme spirale intégratrice semble approprié pour illustrer une organisation des savoirs visant à faciliter l'intégration des apprentissages.

En résumé, la figure 5 met en lumière que dans le cadre de cet essai:

1. Les savoirs experts reliés au fonctionnement des systèmes techniques du programme constituent le point de départ du processus;
2. L'attitude essentielle illustrée par l'interrelation entre le dispositif expérimental et le modèle théorique occupe la place centrale;
3. Les savoirs à enseigner découlent à la fois des savoirs experts du programme et des savoirs savants de la discipline;
4. L'organisation des savoirs à enseigner pourrait être illustrée sous la forme d'une spirale intégratrice.

Pour respecter la logique établie par la figure 5, la spirale intégratrice illustrant une façon d'organiser les savoirs dans un cours doit aller dans le sens inverse afin de représenter la progression du simple vers le complexe et de respecter la logique organisationnelle de la physique. Pour augmenter le sentiment de compétence des étudiantes et des étudiants, le niveau de difficulté initial doit être basé sur leurs préalables et la progression doit tenir compte de leur rapport aux savoirs.

Pour que les étudiantes et les étudiants puissent constater plus facilement la pertinence des savoirs enseignés, l'organisation de ces savoirs doit prévoir des liens fréquents entre les notions théoriques et les applications concrètes reliées au programme. La pertinence et la compétence perçue étant des facteurs favorisant la motivation (Viau, 1994), l'organisation des savoirs à enseigner doit cibler correctement le niveau de difficulté initial, prévoir une progression cohérente et des applications concrètes pertinentes.

La figure 6 élaborée par l'enseignante chercheuse propose une réponse possible à la question de recherche en proposant une façon cohérente et pertinente

d'organiser les savoirs à enseigner dans un cours de physique d'un programme technique.

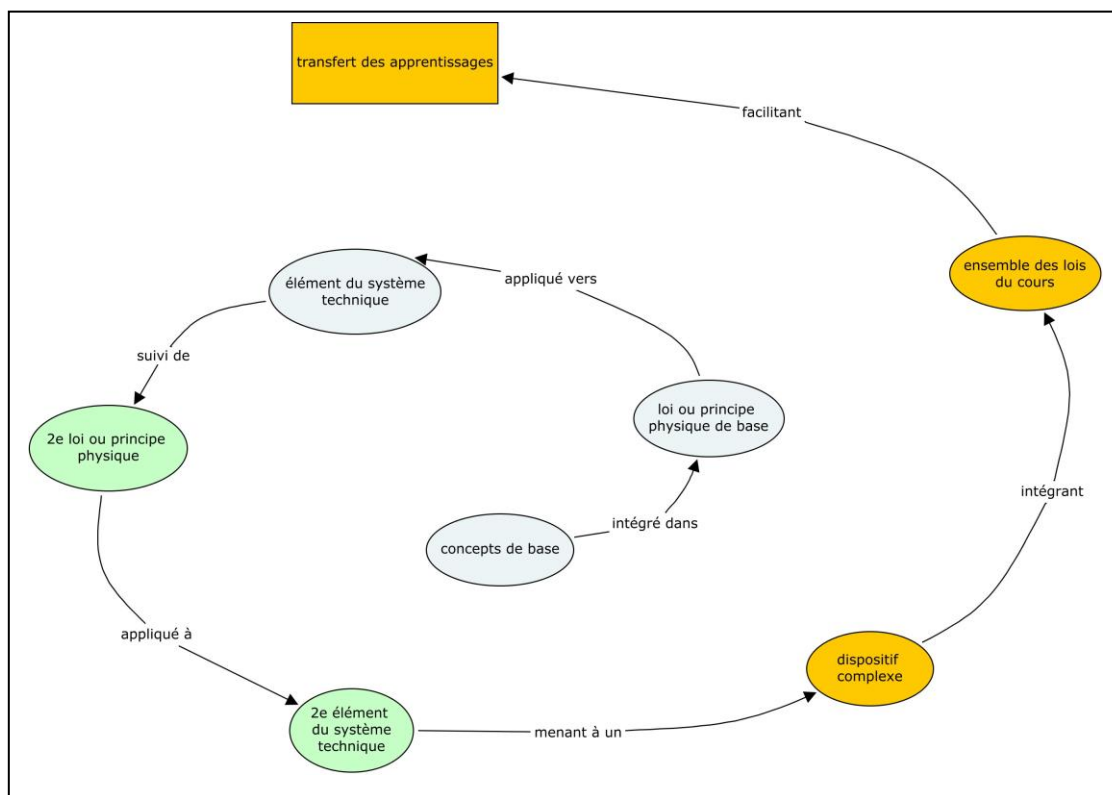


Figure 6 : La spirale intégratrice facilitant l'organisation d'un cours de physique dans un programme technique élaborée dans le cadre de cet essai

Les concepts de base reliés à une loi ou à un principe physique simple pourraient d'abord servir à consolider les acquis des étudiantes et des étudiants et à identifier plus facilement leur rapport aux savoirs. Puis, l'application de ces concepts à un élément d'un système technique utilisé dans leur programme pourrait permettre de démontrer plus facilement et dès le départ, la pertinence du cours de physique.

La progression pourrait se poursuivre avec l'introduction d'une deuxième loi ou principe physique et son application à un deuxième élément du système et ainsi de suite jusqu'à ce que toutes les notions du cours puissent être intégrées à la résolution d'un problème complexe relié au fonctionnement du système technique. Dans l'exemple du vélo mentionné précédemment, il s'agirait d'introduire d'abord les lois

relatives au mouvement de translation puis de les appliquer aux déplacements du vélo dans sa globalité pour introduire ensuite le mouvement de rotation et de l'associer au mouvement d'une roue.

L'intégration de ces lois illustrée par les trois dernières bulles de la figure 6 permettrait de résoudre un problème complexe qui tiendrait compte du mouvement de chaque composante du vélo; les pédales, les engrenages, la chaîne, la roue arrière et le cadre. Le fonctionnement du dispositif complexe, le vélo dans cet exemple, permet d'intégrer l'ensemble des lois du cours vers la résolution d'un problème facilitant le transfert des apprentissages vers les cours techniques où ce système pourrait être étudié.

Le fonctionnement des systèmes techniques utilisés dans le programme permet de donner du sens aux lois de la physique, mais la façon de procéder pour découvrir le fonctionnement des systèmes pertinents et d'en extraire les savoirs à enseigner reste à découvrir comme le précise la section suivante.

3. LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DE L'ESSAI

La problématique a d'abord présenté l'importance de relier les lois physiques à des situations concrètes reliées au programme technique pour donner du sens aux enseignements puis d'assurer une progression dans le niveau de difficulté pour favoriser le sentiment de compétence et ainsi augmenter la motivation des élèves (Viau, 1994).

Le cadre de référence a ensuite permis d'identifier les sources didactiques (Bizier, 2006; Lapierre, 2008) et les principales caractéristiques de la transposition didactique (Chevallard, 1991; Conne, 1989; Perrenoud, 1998; Vincent, 2001). À partir de ces auteurs, l'enseignante chercheuse a été en mesure d'élaborer un

processus qui pourrait permettre d'identifier et d'organiser les savoirs à enseigner dans le contexte d'un cours de physique dans un programme technique.

Bien que ce processus illustré par les figures 5 et 6 suggère une façon d'organiser les savoirs à enseigner visant à augmenter la motivation des étudiantes et des étudiants, il soulève encore plusieurs questions :

1. Comment cibler les savoirs experts du programme qui sont pertinents pour le cours de physique?
2. Comment simplifier le fonctionnement d'un système complexe en dispositifs suffisamment simples pour illustrer une seule loi physique à la fois?
3. Comment déterminer le niveau de difficulté initial et la progression idéale du niveau de complexité des savoirs à enseigner?
4. Comment s'assurer que les savoirs à enseigner soient organisés de façon pertinente et cohérente?

Les trois premières questions sont directement reliées à la question de recherche visant à organiser les savoirs à enseigner de façon pertinente et cohérente dans un cours de physique d'un programme technique alors que la quatrième se rapporte plutôt à la validation de la démarche. Ce questionnement permet ainsi de cibler les objectifs spécifiques de cette recherche :

1. Élaborer une démarche pour organiser les savoirs à enseigner de façon cohérente et pertinente;
2. Valider la démarche pour un cours de physique d'un des programmes techniques identifiés dans le tableau 1.

La méthodologie permettant d'atteindre ces objectifs spécifiques et de déterminer le cours ciblé est décrite dans le chapitre suivant.

TROISIÈME CHAPITRE

LA MÉTHODOLOGIE

Les chapitres précédents ont fait ressortir que l'application des lois de la physique à des situations concrètes reliées au programme augmente la pertinence du cours dans le programme alors qu'une progression logique du niveau de difficulté des savoirs à enseigner en augmente la cohérence.

Ce chapitre définit les caractéristiques de la recherche qui permettront de cibler le type d'essai le plus approprié puis propose un plan d'intervention pour assurer des collectes de données pertinentes, éthiquement conformes et qui respectent les critères de rigueur et de scientificité pour le type de recherche sélectionné.

1. LES CARACTÉRISTIQUES DE LA RECHERCHE

Le premier objectif spécifique de cet essai consiste à élaborer une démarche pour organiser les savoirs à enseigner de façon pertinente et cohérente dans un cours d'une discipline contributive. La recherche de sens étant essentielle, ce premier objectif situe cette recherche dans un paradigme interprétatif (Savoie-Zajc, 2011).

Pour atteindre cet objectif, le processus de transposition didactique illustré à la figure 5 préconise trois étapes : l'identification des savoirs experts pertinents du programme, la détermination des savoirs à enseigner et leur organisation sous la forme de la spirale intégratrice illustrée à la figure 6 du cadre de référence.

La première étape de ce processus consiste pour l'enseignante chercheuse à identifier et à comprendre le fonctionnement des systèmes d'un programme technique

qui permet d'illustrer les lois de la physique. La recension des écrits ayant permis de constater que les informations vulgarisées ou adaptées à l'enseignement d'une discipline contributive sur le fonctionnement des systèmes techniques sont plutôt rares, cet essai s'inscrit dans le pôle recherche de la maîtrise en enseignement au collégial.

D'une part, l'identification du principe de fonctionnement des systèmes techniques qui sont en lien avec les lois de la physique permet d'amorcer le processus de transposition didactique illustré à la figure 5 afin de déterminer les savoirs à enseigner pertinents pour le cours de physique. Les objectifs spécifiques de cette recherche sont ainsi centrés « sur la nécessité de produire des connaissances pertinentes et utiles pour l'action » (Guay et Prud'homme, 2011, p. 199).

D'autre part, l'organisation proposée à la figure 6 confirme le paradigme interprétatif puisqu'il peut y avoir plusieurs façons valides d'assurer une progression du niveau de difficulté des contenus. Hecht (2006), Benson *et al.* (2009) présentent les mêmes contenus pour le cours de mécanique du programme de Sciences de la Nature, mais dans un ordre différent qui permet pourtant d'assurer dans les deux cas, une progression du niveau de complexité.

Cette recherche vise aussi « l'avancement des connaissances sur une ou plusieurs situations pédagogiques interreliées » (Guay et Prud'homme, 2011, p. 190). Par conséquent, l'avancement des connaissances sur le fonctionnement des systèmes techniques permet de choisir des dispositifs expérimentaux reliés directement au programme pour « produire un savoir transmissible » (Dolbec et Prud'Homme, 2009, p. 545) et d'illustrer les lois de la physique.

Bien que ces caractéristiques s'appliquent autant à une recherche-action qu'à une recherche-intervention, ces deux types de recherche se distinguent conceptuellement l'une de l'autre; « la recherche-intervention préconise la

formalisation simultanément à la contextualisation du changement [...], alors que la recherche-action favorise la contextualisation au détriment de la formalisation » (Duchesne et Leurebourg, 2012, p. 7). Le premier objectif spécifique de cet essai préconise la formalisation d'une démarche pour organiser les savoirs à enseigner alors que le deuxième porte plutôt sur l'application de la démarche en la contextualisant à un cours précis.

La recherche-intervention s'inscrit aussi dans le pôle recherche et préconise une approche méthodologique qualitative. Elle est donc appropriée dans le contexte de cet essai où l'intervention consistera à apporter des changements dans l'organisation des savoirs à enseigner.

Selon Paillé (2007), une recherche-intervention comporte les huit étapes suivantes :

1. Diagnostic empirique de la situation problématique;
2. Préparation du plan et des outils d'intervention;
3. Choix des méthodes de collecte de données de l'aspect recherche;
4. Intervention et cueillette des données de la recherche;
5. Répétition de l'étape précédente à plusieurs reprises;
6. Analyse et évaluation des données de la recherche-intervention;
7. Description des changements et des connaissances issus du projet;
8. Critique de l'intervention et recommandations.

La première étape d'une recherche-intervention consiste donc à établir un diagnostic « basé sur une étude sur le terrain » (Paillé, 2007, p. 148) tout en tenant compte du type d'intervention à réaliser. Pour intervenir adéquatement sur l'organisation des savoirs à enseigner, le processus de transposition didactique proposé dans le cadre de référence prévoit trois étapes principales :

1. Identifier les savoirs experts du programme pertinents pour le cours dans la discipline contributive;
2. Simplifier ces savoirs en dispositifs physiques permettant de préciser les savoirs à enseigner;
3. Organiser les savoirs en enseigner en tenant compte de la logique organisationnelle de la discipline.

Puisque les objets d'étude des techniques physiques sont des systèmes comme la plomberie ou les systèmes de chauffage (Bédard et Gendron, 2004), les situations concrètes reliées au cours de physique correspondent au fonctionnement de ces systèmes. La problématique a mis en lumière que le système technique n'est pas toujours identifié et que son fonctionnement n'est généralement pas suffisamment vulgarisé pour être utile dans un cours de physique.

Cette première étape d'une recherche-intervention (Paillé, 2007) permet de diagnostiquer que cette recherche comporte trois phases distinctes:

1. Identification des systèmes techniques du programme dont le fonctionnement se rattache aux lois de la physique du cours;
2. Identification précise des savoirs à enseigner reliés au fonctionnement de ces systèmes;
3. Organisation des savoirs à enseigner selon la logique organisationnelle de la discipline.

La préparation du plan et des outils d'intervention, deuxième étape décrite par Paillé (2007) pour une recherche-intervention tiendra compte de ces trois phases comme le précise la section suivante.

2. PRÉPARATION DU PLAN ET DES OUTILS D'INTERVENTION

Le plan d'intervention de cette recherche doit prévoir les étapes 3 à 6 identifiées par Paillé (2007). Il consistera d'abord à identifier les méthodes de collecte de données de l'aspect recherche puis à prévoir l'intervention et les cueillettes de données ainsi que leur analyse et leur évaluation.

Ces étapes seront réalisées pour chacune des phases de la recherche énumérées dans la section précédente afin de préserver le « caractère cyclique et dynamique » (Karsenti et Savoie-Zajc, 2011, p. 192) d'une recherche centrée sur l'action.

La première phase du plan d'intervention consistera à recueillir et à analyser les données sur les systèmes techniques du programme dont le fonctionnement se rattache aux lois de la physique du cours. Cette phase n'est pas exhaustive puisque l'objectif n'est pas d'identifier tous les systèmes techniques pertinents du programme, mais consiste plutôt à trouver des applications concrètes pour chaque loi physique du cours ciblé.

Cette stratégie de se limiter à trouver une bonne solution plutôt que de réaliser une recherche exhaustive pour déterminer la meilleure est empruntée à la recherche-intervention dans le domaine administratif (Forget, 2013) et a pour but de réduire le délai d'intervention. Être en mesure d'orienter les savoirs à enseigner vers des applications concrètes reliées au programme dès le début de la session pourrait contribuer à augmenter la motivation des étudiantes et des étudiants.

La deuxième phase du plan d'intervention vise à identifier de façon précise les savoirs à enseigner reliés au fonctionnement des systèmes techniques pertinents pour le cours. La cueillette de données consistera alors pour l'enseignante chercheuse à obtenir suffisamment d'informations factuelles pour être en mesure de comprendre le

fonctionnement de ces systèmes. La collecte et l'analyse des données de cette phase seront considérées comme satisfaisantes si elles permettent de construire une activité d'apprentissage intégratrice et adaptée au programme.

La construction de cette activité d'apprentissage permettra de cibler les savoirs experts du programme et de préparer la troisième phase de cette recherche-intervention. Cette phase sera directement basée sur le cadre de référence et débutera avec la transposition didactique des savoirs experts du programme et des savoirs savants de la discipline vers les savoirs à enseigner pertinents selon la spirale fermée illustrée à la figure 5. Elle se poursuivra par l'organisation de ces savoirs selon le modèle proposé à la figure 6 du cadre de référence.

La troisième phase de collecte et d'analyse de données consistera alors à présenter à des pairs les choix didactiques effectués par l'enseignante chercheuse pour un cours précis afin de les valider.

Ce plan d'intervention vise ainsi l'atteinte du premier objectif spécifique de cet essai soit l'élaboration d'une démarche permettant d'organiser les savoirs à enseigner de façon cohérente et pertinente. Il correspond aux étapes 3 à 6 d'une recherche-intervention (Paillé, 2007) qui seront détaillées dans les sections suivantes. La description des changements et des connaissances issues du projet et la critique de l'intervention correspondant aux dernières étapes décrites par Paillé (2007) seront plutôt présentées dans le quatrième chapitre.

3. CHOIX DES MÉTHODES DE COLLECTE DE DONNÉES

Bien que le plan d'intervention puisse s'appliquer à tous les cours de physique des programmes techniques, il « faut conduire la recherche en ayant à l'esprit qu'il s'agit de concevoir ou d'accompagner des projets de transformation » (David, 2000,

p. 20). Cette démarche doit donc être contextualisée à l'aide d'un cours donné par l'enseignante chercheuse afin de pouvoir y transformer l'organisation des contenus.

Le tableau 2 présente les éléments de compétence associés au cours de mécanique appliquée du programme de technologie du génie civil, le seul cours d'un programme technique enseigné par la chercheuse au moment de la recherche. Ces éléments de compétence réfèrent à des ouvrages, c'est-à-dire des systèmes techniques ou des structures dans ce contexte sans toutefois les préciser.

Tableau 2
Compétences associées au cours de mécanique appliquée

Numéro (s)	Éléments de compétences
01X9	Calculer les forces et les charges appliquées à l'ouvrage
01XC*	Analyser les réactions structurales des ouvrages

*L'atteinte de cette compétence n'est que partielle dans le cours de mécanique appliquée et sera complétée dans le 2^e cours de physique du programme, statique et résistance des matériaux.

La première collecte de données a donc pour but d'identifier ces systèmes techniques alors que la deuxième vise à en comprendre le fonctionnement. Puisque « l'entrevue est la principale méthode de collecte de données dans les recherches qualitatives » (Fortin, 2010, p. 427) et que l'entrevue semi-dirigée « permet de rendre explicite l'univers de l'autre [...] vise la compréhension du monde de l'autre [...] permet d'apprendre » (Savoie-Zajc, 2009, p. 342), elle s'inscrit dans le paradigme interprétatif de cette recherche qualitative et permet d'obtenir les informations souhaitées.

Le choix de l'entrevue semi-dirigée est approprié pour ces deux phases de collecte de données puisqu'elle permet l'enseignante chercheuse de découvrir l'univers de la technologie du génie civil.

Les résultats de ces entrevues fourniront les savoirs experts du programme qui sont à la base du processus de transposition didactique décrit dans le cadre de référence. Ces savoirs experts associés aux savoirs savants de la physique constitueront ainsi les savoirs disciplinaires soit la première entrée didactique décrite dans le cadre de référence.

L'identification de ces savoirs disciplinaires et l'application du processus de transposition didactique illustré à la figure 5 mèneront à l'identification et à l'organisation des savoirs à enseigner pour le cours de mécanique appliquée du programme de technologie du génie civil. La troisième collecte de données visera ensuite à évaluer si l'organisation proposée par l'enseignante chercheuse est pertinente et cohérente pour le cours et le programme.

L'entrevue semi-dirigée est aussi appropriée pour cette troisième collecte de données puisqu'elle sollicitera l'avis professionnel d'enseignantes et d'enseignants de physique ayant des expériences pédagogiques différentes de celles de la chercheuse. La section suivante précise les caractéristiques de ces entrevues.

3.1 Les entrevues semi-dirigées

Le déroulement d'une entrevue semi-dirigée comporte trois étapes; l'ouverture, l'entrevue proprement dite et la clôture (Savoie-Zajc, 2009). Pour toutes les entrevues de cette recherche, l'ouverture consiste à présenter l'objectif et le contenu sommaire du cours de mécanique appliquée. Afin de mettre les participantes et les participants à l'aise, l'entrevue peut se dérouler au laboratoire ou dans un bureau, en privé ou en petits groupes selon les préférences de chacun. Elle peut se dérouler de la façon qui convient le mieux aux personnes rencontrées pourvu que l'objectif correspondant à chacune des entrevues puisse être atteint dans un délai de 50 minutes soit l'équivalent d'une période de cours.

Lorsque « le sujet à l'étude est clair et que l'information est facilement obtenue au cours des entrevues » (Fortin, 2010, p. 243), un petit échantillon est suffisant pour la collecte de données. Puisque les informations recherchées dans le cadre de cette recherche portent sur des contenus multidisciplinaires plutôt que sur des méthodes pédagogiques, la saturation des données est obtenue beaucoup plus rapidement. De plus, cette recherche-intervention vise à trouver une façon pertinente et cohérente d'organiser les contenus dans un cours de physique et non de faire l'étude exhaustive de toutes les possibilités, ce qui réduit davantage le nombre de personnes à consulter.

Afin d'obtenir les informations pertinentes pour identifier et comprendre le fonctionnement des systèmes techniques des programmes, le recrutement s'effectue à l'aide d'une méthode d'échantillonnage « par choix raisonné » (Fortin, 2010, p. 238). Cette méthode consiste à identifier les individus capables de fournir les informations requises pour atteindre les objectifs de chacune des collectes de données et à les inviter à participer à cette recherche. Le tableau 3 présente les objectifs et les critères de sélection des participantes et participants pour chacune des trois collectes de données.

Puisque la première collecte de données vise à identifier les systèmes techniques du programme de technologie du génie civil qui sont en lien avec les savoirs savants de la physique associés au cours de mécanique appliquée, les participantes et les participants doivent enseigner ou coordonner dans la discipline maitresse du programme et avoir une bonne connaissance de l'ensemble du programme.

Tableau 3
Objectifs et critères de sélection pour les entrevues semi-dirigées

Phases	Objectif de l'entrevue semi-dirigée	Critères de sélection des participantes et des participants	Nombre de participantes et de participants
1	Identifier les systèmes techniques du programme en lien avec les lois de la physique du cours.	Enseigner ou coordonner dans le programme de technologie du génie civil. Avoir une bonne connaissance de son programme.	1
2	Comprendre et modéliser le fonctionnement des systèmes techniques identifiés lors de la première entrevue.	Enseigner le fonctionnement d'un des systèmes ciblés dans un cours technique du programme.	2
3	Valider la démarche pour le cours ciblé.	Enseigner la physique. Donner un cours ou faire de la recherche appliquée à une technique physique	2

La deuxième entrevue visant à comprendre le fonctionnement des systèmes identifiés lors de la première entrevue, les enseignantes et les enseignants de la discipline maitresse qui donnent des cours reliés à ces systèmes sont les mieux placés pour l'expliquer. L'envoi d'un courrier électronique à la coordination du programme de technologie du génie civil expliquant les objectifs de ces collectes de données a été retransmis aux enseignantes et aux enseignants de ce département et trois personnes ont manifesté leur intérêt à participer à cette recherche.

Parmi ces candidates et ces candidats, une personne coordonne le département depuis plusieurs années et les deux autres donnent un cours technique ayant des

préalables en physique. Les trois candidatures de ce département ont été retenues pour les deux premières entrevues comme l'indique le tableau 3.

Les objectifs de la recherche et de la troisième entrevue ont été présentés lors d'une réunion du département de physique. Comme cette troisième entrevue vise à valider le travail de transposition et d'organisation effectué pour un cours technique donné uniquement par la chercheuse, les critères de sélection ciblent les enseignantes et les enseignants de physique ayant de l'expérience dans les programmes techniques. Deux personnes ont démontré leur intérêt à participer, l'une d'entre elles donne régulièrement des cours dans des programmes techniques alors que l'autre participe à des recherches de physique appliquées à une technique physique. Ces deux candidatures complémentaires ont donc été retenues.

Le recrutement des participantes et des participants a été une étape cruciale et déterminante dans la réalisation de cette recherche. Les contraintes reliées à l'intervention et aux objectifs de chaque entrevue ont fait en sorte de limiter le bassin de candidates et de candidats potentiels à quelques enseignantes et enseignants des départements de technologie du génie civil et de physique. C'est pourquoi les considérations éthiques présentées dans la section suivante visent à maximiser les avantages pour les participantes et les participants tout en minimisant les risques encourus.

3.2 Les considérations éthiques

Les deux premières entrevues semi-dirigées prévues dans le plan d'intervention visent à obtenir des informations factuelles sur les systèmes techniques du programme de technologie du génie civil. Les participantes et les participants sont sollicités pour leur expertise disciplinaire afin de permettre à l'enseignante chercheuse d'identifier et de comprendre le fonctionnement d'un système technique utilisé dans le programme.

La troisième entrevue a pour but d'évaluer la pertinence et la cohérence de l'organisation des contenus du cours réalisés par l'enseignante chercheuse à l'aide du processus de transposition didactique élaboré par celle-ci dans le cadre de référence. Elle sollicite l'opinion professionnelle des participantes et des participants du département de physique.

Les risques reliés à la participation à cette recherche sont très minimes puisque les volontaires sont consultés pour leur expertise disciplinaire et sont libres d'utiliser toutes les ressources à leur disposition lors de l'entrevue; montages de laboratoire, références, collègues, etc. De plus, le volontaire peut exprimer ses préférences pour le lieu et le moment de la rencontre lors du contact préalable. Ces avantages et ces risques ont été présentés dans la demande de conformité éthique envoyée au comité d'éthique dans la recherche avec des êtres humains du cégep de Trois-Rivières.

Le comité a évalué cette demande et a conclu que cette recherche n'est pas considérée comme une recherche avec des êtres humains. Il s'ensuit qu'aucun certificat de conformité éthique n'est nécessaire pour la poursuite des travaux. Le compte-rendu de cette décision est présenté à l'annexe A.

Afin de faciliter le recrutement et de respecter les considérations éthiques propres à une recherche, les règles suivantes ont été observées:

1. Obtenir le consentement éclairé des participantes et des participants¹;
2. Laisser les volontaires choisir le lieu et le moment de l'entrevue;
3. Ne pas porter de jugement de valeur sur les propos ni les idées;
4. Ne pas associer directement des renseignements permettant l'identification avec les données obtenues;

¹ Les formulaires de consentement pour le département technique et de physique se retrouvent dans les annexes B et C.

5. Offrir les ressources d'aide psychologique aux participantes et aux participants sollicités pour leur opinion professionnelle;
6. Respecter l'anonymat et la confidentialité sauf en cas d'avis contraire de la part d'une participante ou d'un participant.

Ce dernier point s'inscrit dans l'idéologie générale des considérations éthiques en offrant la reconnaissance officielle comme avantage supplémentaire pour les participantes et les participants, s'ils le désirent. L'autorisation du comité d'éthique dans la recherche avec des êtres humains du cégep de Trois-Rivières permet de planifier l'intervention et la cueillette des données de la recherche soit la quatrième étape de la recherche-intervention décrite par Paillé (2007). La section suivante décrit d'abord l'intervention et la cueillette de données pour la première collecte de données et la reprend ensuite pour la deuxième et la troisième phase du plan d'intervention. Cette répétition correspond à la cinquième étape de cette recherche-intervention (Paillé, 2007).

4. INTERVENTION ET CUEILLETTE DES DONNÉES

Le plan d'intervention élaboré à partir du cadre de référence de cet essai comporte trois collectes de données sous la forme d'entrevues semi-dirigées. La section précédente a permis de cibler les objectifs et les critères de sélection des participantes et participants tels que présentés dans le tableau 3. Il est maintenant question de planifier le déroulement de ces entrevues.

4.1 La première entrevue semi-dirigée

L'objectif de cette première collecte de données est de relier chaque loi physique du cours de mécanique appliquée à un élément d'un système utilisé dans le programme de technologie du génie civil.

D'une part, la consultation du plan-cadre permet de constater que les thèmes principaux du cours de mécanique appliquée concernent le mouvement, la chaleur et les forces. D'autre part, bien que les variations de température affectent les routes et les ponts, ces structures ne possèdent pas d'éléments associés au mouvement.

La première entrevue vise donc d'abord à identifier les systèmes techniques où il y a du mouvement et des forces. Même si les impacts de la chaleur sur les routes et les ponts sont préalablement connus de la chercheuse, l'entrevue servira aussi à confirmer la pertinence de ces liens ou à en trouver d'autres. Finalement, la participante ou le participant pourrait fournir d'autres pistes de recherche ou des références médiagraphiques facilitant la préparation de la deuxième collecte de données. Le tableau 4 précise l'objectif et les questions prévues pour cette entrevue.

Tableau 4
Cadre de la première entrevue

Objectif	Questions types de l'entrevue	Clôture de l'entrevue
Identifier les systèmes techniques du programme de technologie du génie civil qui sont reliés aux lois de la physique du cours de mécanique appliquée.	<p>Quels sont les systèmes techniques de votre programme qui sont en mouvement ou qui sont associés à un mouvement?</p> <p>Le cours de mécanique appliquée traite principalement des forces, pouvez-vous me donner des exemples de situation où les forces interviennent dans votre programme?</p> <p>La chaleur a des impacts sur les ponts et les routes, en a-t-elle aussi sur d'autres systèmes?</p>	<p>Pourriez-vous me donner des références médiagraphiques pour que je puisse approfondir davantage ces sujets?</p>

Le caractère semi-dirigé de l'entrevue laisse la possibilité d'ajouter d'autres questions pendant son déroulement. Par exemple, la chercheuse pourrait demander à la participante ou au participant quelques précisions sur le système technique si celui-ci ne lui est pas familier. Cette entrevue pourrait mener à deux scénarios :

1. L'entrevue avec une seule participante ou participant permet d'associer chaque loi du cours de mécanique appliquée à une application concrète du programme de technologie du génie civil;
2. Quelques lois restent sans applications après cette première entrevue.

Dans le cas où l'entrevue permettrait d'associer chacune des lois physiques du cours à une application concrète du programme, l'objectif de cette première entrevue serait atteint. Dans le cas contraire, la chercheuse devrait faire appel à d'autres sources afin de compléter les informations comme des collègues ayant donné le même cours dans le passé ou des conseillères et des conseillers pédagogiques.

4.2 La deuxième entrevue semi-dirigée

L'identification des systèmes techniques pertinents pour le cours de mécanique appliquée lors de la première cueillette de données pourrait mener à l'un des trois scénarios suivants :

1. Des ressources documentaires suffisamment vulgarisées expliquent le fonctionnement de ces systèmes :
2. Ces systèmes sont facilement accessibles ou bien connus de la chercheuse;
3. Les systèmes identifiés ne sont ni facilement accessibles ni bien connus.

La deuxième collecte de données vise à concevoir un modèle simplifié du fonctionnement du système technique adapté au cours de physique. Par exemple, les notes de cours de Pelletier (2003) présentent des applications pour un cours de

physique basées sur le fonctionnement de divers systèmes du programme de technologie du génie mécanique. Cette ressource documentaire fournit déjà une représentation du fonctionnement de ces systèmes. Pour des systèmes comme la plomberie ou l'électricité d'une maison, la modélisation pourrait s'effectuer sur le terrain comme le démontre l'expérience de la chercheuse décrite dans la problématique. Pour ces deux premiers scénarios, la deuxième entrevue pourrait se limiter à confirmer le modèle développé.

Si le troisième scénario se présentait, la deuxième entrevue viserait plutôt à obtenir toutes les informations nécessaires pour comprendre le fonctionnement du système. La compréhension du système par la chercheuse est jugée suffisante si elle lui permet de concevoir une activité d'apprentissage intégratrice regroupant l'ensemble des notions du cours de physique ciblé.

Le cadre de référence a décrit un exemple d'activité d'apprentissage intégratrice basé sur le fonctionnement d'un vélo. La conception d'une telle activité pour le cours de mécanique appliquée consisterait à faire calculer des quantités physiques à partir d'une mise en situation reliée au fonctionnement des systèmes techniques du programme de technologie de génie civil qui auront été identifiés lors de la première entrevue.

Les enseignantes et les enseignants qui ont accepté de participer à cette entrevue donnent des cours ayant des préalables en physique. Ils devraient donc être en mesure de compléter les liens entre la physique et leurs cours. Toutefois, pour que cette entrevue mène à l'élaboration d'une activité d'apprentissage intégratrice, la chercheuse doit préalablement :

1. Préparer l'ébauche d'une activité d'apprentissage basée sur le fonctionnement des systèmes techniques identifiés lors de la première entrevue et intégrant l'ensemble des lois de la physique du cours;

2. Identifier les étapes du fonctionnement du système qui doivent être clarifiées pour rendre l'activité réaliste et pertinente pour le programme;
3. Identifier les données techniques nécessaires à la réalisation de cette activité.

Cette deuxième entrevue vise donc à compléter les informations techniques pour rendre l'activité d'apprentissage réaliste et faciliter le transfert des apprentissages vers les cours des participantes et des participants. Le tableau 5 présente les questions prévues pour cette entrevue. Les trois points entre parenthèses indiquent que les questions devront être complétées lorsque les résultats de la première entrevue auront été analysés.

Tableau 5
Cadre de la deuxième entrevue

Objectif	Questions types de l'entrevue	Clôture de l'entrevue
Comprendre le fonctionnement des systèmes techniques identifiés lors de la première entrevue.	<p>Le système technique (...) fait appel aux lois suivantes de la physique (...), est-ce plausible?</p> <p>Pourriez-vous me donner plus de précision sur le fonctionnement de ce système?</p> <p>Y a-t-il d'autres liens que je pourrais faire entre le cours de mécanique appliquée et votre cours de (...)? Lesquels?</p> <p>Quelles sont les valeurs minimales et maximales admissibles pour les quantités physiques suivantes (...)?</p>	En résumé, le système fonctionne (comme ceci...) et les notions de (...) seront réutilisées dans votre cours de (...).

La première question vise à valider l'analyse des résultats de la première entrevue alors que les trois autres questions de l'entrevue permettent de compléter les informations. Il pourrait arriver que les participantes et les participants proposent d'autres applications concrètes en lien avec la physique entraînant l'ajout de questions supplémentaires au moment de l'entrevue. La chercheuse prévoit terminer l'entrevue par un résumé des informations recueillies afin de s'assurer de les avoir bien comprises.

Les résultats obtenus lors de cette entrevue constitueront les savoirs experts du programme de technologie de génie civil. Ces savoirs experts combinés aux savoirs savants qui leur auront été associés lors de la première entrevue permettront de déterminer les savoirs à enseigner selon le processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence. Ces savoirs à enseigner pourront ensuite être organisés selon la spirale intégratrice découlant du cadre de référence et illustrée à la figure 6.

Les résultats concernant le fonctionnement des systèmes techniques, les dispositifs physiques permettant de le simplifier et de le rattacher au modèle théorique ainsi que l'organisation des savoirs qui en découle seront présentés aux participantes et aux participants du département de physique lors de la troisième entrevue. Les modalités d'analyse de ces résultats seront présentées ultérieurement afin de respecter la chronologie des étapes d'une recherche-intervention (Paillé, 2007).

4.3 La troisième entrevue semi-dirigée

L'entrevue avec les participantes et les participants du département de physique vise trois objectifs :

1. Vérifier l'aspect formateur de la modélisation des systèmes techniques;

2. Évaluer la pertinence des dispositifs physiques choisis;
3. Évaluer la cohérence de l'organisation proposée pour les savoirs à enseigner.

L'analyse des résultats de la deuxième entrevue devrait permettre à des enseignantes et des enseignants d'une discipline contributive comme la physique de comprendre facilement le fonctionnement des systèmes techniques associés au cours de mécanique appliquée. La première partie de l'entrevue vise donc à vérifier si la modélisation réalisée atteint l'objectif de formation propre aux recherches centrées sur l'action (Karsenti et Savoie-Zajc, 2011).

Le processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence et illustré à la figure 5 prévoit la simplification du fonctionnement des systèmes à l'aide de dispositifs physiques permettant d'illustrer une seule loi à la fois. La deuxième partie de l'entrevue vise donc à évaluer la pertinence des dispositifs physiques choisis par la chercheuse.

Le cadre de référence prévoit une progression du niveau de difficulté des savoirs à enseigner et des applications concrètes pour chaque loi. Le troisième objectif de l'entrevue avec les participantes et les participants en physique consiste à évaluer la cohérence de l'organisation proposée pour les savoirs à enseigner du cours de mécanique appliquée.

Ces objectifs et leur transposition en questions d'entrevues se retrouvent dans le tableau 6. Le caractère semi-dirigé de cette entrevue fait en sorte que d'autres questions pourraient être ajoutées au cours de l'entrevue selon les résultats et les analyses précédentes ou suite à des commentaires des participantes et des participants.

Tableau 6
Cadre de l'entrevue dans le département de physique

Objectifs	Questions types de l'entrevue
Vérifier l'aspect formateur de la modélisation des systèmes techniques	<p>Voici des fiches techniques modélisées expliquant le fonctionnement des systèmes techniques reliés au cours de mécanique appliquée du programme de technologie de génie civil. La présentation de ces fiches facilite-t-elle votre compréhension de ces systèmes? Y a-t-il des aspects qui doivent être clarifiés?</p> <p>Est-ce que le schéma présenté faciliterait la conception d'une activité d'apprentissage synthèse, si vous aviez à donner le cours?</p>
Évaluer la pertinence des dispositifs physiques	<p>Voici quelques dispositifs plus simples reliés à ces systèmes. Ces dispositifs sont-ils reliés au fonctionnement du système? Sont-ils suffisamment simplifiés pour le niveau du cours? Quels autres dispositifs pourraient convenir ou être mieux adaptés?</p> <p>Voici les liens effectués entre la physique et les dispositifs choisis. Ces liens sont-ils pertinents? Sont-ils adaptés au niveau collégial et au cours? Avez-vous d'autres idées ou commentaires?</p>
Évaluer la cohérence de l'organisation proposée pour le cours de mécanique appliquée	<p>Voici une organisation possible pour les contenus. Cette organisation permet-elle une progression du niveau de difficulté? Est-elle cohérente avec les compétences attendues? Permet-elle de rattacher adéquatement les contenus physiques à des situations concrètes reliées au programme?</p> <p>Dans quelles mesures ces résultats faciliteraient-ils la conception de matériel didactique et d'activités d'apprentissage, si vous aviez à donner ce cours?</p>

Cette troisième entrevue pourrait mettre en lumière plusieurs scénarios :

1. Les participantes et les participants comprennent facilement le fonctionnement des systèmes présentés, les dispositifs physiques leur semblent pertinents et l'organisation des savoirs s'inscrit dans la logique organisationnelle de la discipline;

2. Certains des éléments précédents doivent être clarifiés, précisés ou corrigés;
3. Les participantes et les participants ont de la difficulté à comprendre le système technique, les choix de contenus ou la logique organisationnelle;
4. Les participantes et les participants ne sont pas d'accord avec les choix didactiques effectués par la chercheuse ou mettent en doute leur pertinence ou leur cohérence;
5. Une combinaison de plusieurs de ces scénarios.

L'opinion professionnelle sollicitée lors de cette entrevue se limitant à commenter le travail de la chercheuse, deux participantes ou participants suffisent pour confirmer sa cohérence et sa pertinence. Dans le cas où les résultats présentés s'avéreraient difficiles à comprendre ou susciteraient beaucoup de questionnements de la part de ces enseignantes et ces enseignants, la chercheuse devrait reprendre son travail et solliciter une autre entrevue jusqu'à ce que l'organisation des savoirs à enseigner qu'elle propose soit jugée satisfaisante. En cas d'impossibilité, c'est le processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence qui devrait être remis en question.

En résumé, la première cueillette de données vise à fournir une ligne directrice aux contenus en ciblant les systèmes techniques pertinents pour le cours de mécanique appliquée du programme de technologie du génie civil. La deuxième entrevue vise ensuite à comprendre le fonctionnement de ces systèmes afin de les modéliser alors que cette troisième entrevue consiste à valider si la démarche élaborée dans cet essai permet d'organiser les savoirs à enseigner de façon pertinente et cohérente pour le cours de mécanique appliquée. La section suivante présente les modalités d'analyse et d'évaluation des données obtenues pour chacune de ces collectes de données.

5. ANALYSE ET ÉVALUATION DES DONNÉES DE LA RECHERCHE

Selon Miles et Huberman (2003), l'analyse d'une recherche qualitative comporte trois phases; la catégorisation des résultats, leur présentation et l'élaboration de conclusions. Dans le contexte de cette recherche-intervention :

1. La catégorisation des données permet d'associer chaque loi physique à un élément d'un système technique;
2. La présentation des résultats fournit un modèle pour le fonctionnement des systèmes et leurs simplifications en dispositifs physiques ainsi qu'une structure pour l'organisation des savoirs à enseigner;
3. L'élaboration de conclusions vise à valider la cohérence et la pertinence de l'organisation des savoirs à enseigner.

Les sections suivantes décrivent chacune de ces phases d'analyse et les moyens mis en place pour assurer la rigueur et la scientificité de cette recherche.

5.1 Catégorisation des résultats de la première entrevue

La première entrevue visait à associer chaque loi physique du cours de mécanique appliquée à une application concrète du programme de technologie du génie civil. La première phase d'analyse soit la catégorisation vise le même objectif d'identification et de classification.

Les savoirs savants associés au cours de mécanique appliquée étant déjà identifiés dans le plan-cadre du cours, chacune des lois physiques qui s'y trouvent correspond donc à une catégorie.

Il pourrait arriver que des notions ou thèmes non identifiés au plan-cadre s'avèrent pertinents à la lueur des résultats de la première entrevue ou que des catégories doivent être modifiées ou éliminées. C'est pourquoi la catégorisation de

ces résultats sera de type mixte (L'Écuyer, 1988). Ce type de catégorisation fournit la souplesse requise pour apporter des modifications tout en fournissant un cadre basé sur les savoirs savants reliés au cours.

La catégorisation des résultats d'une recherche qualitative comprend quatre étapes soit l'organisation, la réduction, l'identification finale et la classification finale (L'Écuyer, 1988). L'organisation des résultats de la première entrevue consistera à associer une application à chacune des lois physiques contenue dans le plan-cadre du cours.

Il pourrait arriver que plusieurs lois soient associées au fonctionnement du même système technique. Dans ce contexte, l'étape de réduction consisterait à regrouper des catégories de façon à éviter les redondances. Dans l'éventualité où le fonctionnement des systèmes techniques identifiés lors de la première entrevue ferait appel à des lois physiques non identifiées dans le plan-cadre du cours, l'identification finale ajouterait de nouvelles catégories. Ces étapes de catégorisation permettront ensuite de déterminer la classification finale et de présenter les résultats. La présentation des résultats correspond à la deuxième phase d'analyse d'une recherche qualitative et est décrite à la section suivante.

5.2 Présentation des résultats de la deuxième phase du plan d'intervention

La présentation des résultats de la deuxième phase du plan d'intervention doit faire suite aux trois étapes suivantes :

1. La modélisation du fonctionnement des systèmes techniques lors de la deuxième entrevue;
2. La transposition des savoirs experts et des savoirs savants vers les savoirs à enseigner à l'aide du processus décrit dans le cadre de référence;

3. L'organisation des savoirs à enseigner selon le modèle proposé à la figure 6 du cadre de référence.

La modélisation du fonctionnement des systèmes techniques associés aux lois de la physique devrait contenir toutes les informations nécessaires à la réalisation d'une activité d'apprentissage intégratrice puisque c'est l'objectif de la deuxième entrevue semi-dirigée. Les résultats devraient ensuite être présentés de façon à ce que des enseignantes et des enseignants de physique puissent comprendre facilement le fonctionnement de ces systèmes même s'ils leur étaient inconnus au départ.

Dans tous les volumes de physique, quatre moyens sont privilégiés pour la présentation des résultats; les schémas, les tableaux, les graphiques et les équations. Les schémas et les graphiques facilitent la visualisation d'un phénomène alors que les tableaux et les équations permettent d'en faire une synthèse. Les schémas et les tableaux semblent plus appropriés que les graphiques et les équations pour une étude qualitative, ils seront utilisés pour présenter les résultats de cet essai aux participantes et aux participants du département de physique.

Pour faciliter la compréhension du fonctionnement d'un système, la visualisation du phénomène semble importante et le schéma sera privilégié pour présenter les résultats de la modélisation. Dans le cas de la catégorisation, le tableau apparaît plus approprié puisqu'il permet d'associer directement les lois de la physique à leurs applications dans le programme de technologie du génie civil.

La catégorisation des résultats de la première entrevue et la modélisation obtenue lors de la deuxième associent les savoirs savants de la discipline aux savoirs experts du programme. Ces savoirs deviennent ainsi les savoirs disciplinaires du cours de mécanique appliquée composant la première entrée didactique.

Le cadre de référence a établi qu'avant de pouvoir transposer les savoirs disciplinaires en savoirs à enseigner dans une discipline contributive, il faut d'abord simplifier le fonctionnement du système en dispositifs physiques qui permettent d'illustrer une seule loi à la fois. Un tableau avec quatre colonnes semble approprié pour présenter les liens entre le système technique, les dispositifs physiques simplifiés, les savoirs savants de la physique et les savoirs experts du programme.

Les savoirs savants fournissent le modèle théorique pour le cours de mécanique alors que les savoirs experts sont associés aux dispositifs physiques tels qu'illustrés par la figure 5 du cadre de référence. L'interrelation entre le modèle théorique et les dispositifs physiques représente l'attitude essentielle de la discipline et a mené au modèle d'organisation illustré à la figure 6.

Ce modèle organisationnel décrit dans le cadre de référence prévoit l'introduction d'une loi physique simple, de son application à un dispositif physique issu des savoirs experts du programme et une progression du niveau de difficulté jusqu'à l'atteinte des compétences du cours. Un schéma sous la forme de la spirale illustrée à la figure 6 pourrait représenter adéquatement l'organisation des savoirs à enseigner. Un tableau avec quatre colonnes pourrait aussi convenir pour visualiser les liens entre le thème du module, la loi, le dispositif physique et une activité d'apprentissage.

En résumé, la présentation des résultats se fera sous la forme d'un schéma pour la modélisation et sous forme de tableaux pour les autres étapes de cette phase d'intervention. Ces choix semblent adéquats pour faciliter la validation des résultats auprès des participantes et participants du département de physique déjà familiers avec ces outils de présentation.

5.3 Élaboration de conclusions

La troisième et dernière phase du plan d'intervention consiste à valider les résultats de l'enseignante chercheuse auprès de collègues en physique. Les commentaires recueillis sur le travail de transposition et d'organisation des savoirs lors de la troisième entrevue permettront d'élaborer des conclusions.

La première partie de la troisième entrevue vise à déterminer si la modélisation permet à des physiciennes et à des physiciens de comprendre facilement le fonctionnement des systèmes techniques. Les deuxième et troisième parties visent à évaluer la pertinence des dispositifs physiques et la cohérence de l'organisation proposée par la chercheuse. Chacun de ces objectifs mènera à l'élaboration d'une conclusion en fonction des résultats obtenus.

Ces conclusions préliminaires pourraient faire en sorte de modifier le processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence ou de revoir la façon d'analyser les résultats. Pour diminuer ces risques, des moyens sont mis en place pour assurer la rigueur et la scientificité de la recherche.

5.4 Rigueur et scientificité de la recherche

Selon Fortin (2010) et Savoie-Zajc (2011), quatre critères permettent d'évaluer la rigueur d'une recherche qualitative. Ces critères sont la crédibilité, la fiabilité, la confirmabilité et la transférabilité.

Pour rendre cette recherche fiable, les critères de sélection des participantes et des participants ont été établis en fonction des informations manquantes au moment de l'entrevue. Par exemple, la lecture du plan-cadre n'ayant pas permis d'identifier les systèmes techniques pertinents, la connaissance approfondie du programme est devenue le critère de sélection de la première entrevue. Par la suite, les résultats de la

première entrevue et une nouvelle recension des écrits vont permettre d'identifier les informations techniques encore manquantes et de cibler les personnes capables les fournir.

L'identification des savoirs experts se situant au tout début du processus de transposition didactique, il est essentiel de s'assurer de leur confirmabilité et de leur crédibilité avant d'appliquer la démarche. C'est pourquoi les scénarios élaborés pour les collectes de données prévoient de poursuivre chaque phase jusqu'à que ses objectifs soient atteints avant de passer à la suivante.

En plus de consulter un nombre suffisant de spécialistes disciplinaires pour atteindre l'objectif de chaque phase, les données de chaque collecte seront triangulées avec la collecte suivante ou par la recherche documentaire afin d'augmenter leur crédibilité et leur confirmabilité et d'assurer leur fiabilité.

Bien que la formalisation du plan d'intervention (figure 7) et du processus de transposition didactique (figure 5 et 6) facilite l'utilisation de la démarche par d'autres enseignantes et enseignants, l'enseignante chercheuse mettra en œuvre trois autres moyens pour assurer la transférabilité des résultats contextualisés :

1. La modélisation du fonctionnement du système technique doit être facile à comprendre pour une enseignante ou un enseignant d'une discipline contributive;
2. Les liens entre la physique et les applications concrètes doivent faciliter la conception d'activités d'apprentissage;
3. L'organisation des savoirs à enseigner doit être présentée de façon à faciliter la conception ultérieure de matériel didactique.

La rigueur de cette méthodologie s'appuie sur les critères définis précédemment alors que sa scientificité s'appuie directement sur la démarche

scientifique largement utilisée en physique. Le tableau 7 associe les principales étapes de la démarche scientifique à leurs manifestations dans cet essai.

Tableau 7
Application de la démarche scientifique à cette recherche

Étapes de la démarche scientifique	Manifestations dans cet essai
Observations	Implication plus grande en classe lorsqu'une activité d'apprentissage est en lien avec le programme Rareté des écrits vulgarisés sur le fonctionnement des systèmes techniques
Hypothèse	Le processus de transposition didactique et le plan d'intervention permettent-ils d'organiser les savoirs de façon cohérente et pertinente?
Expérimentation	Mise en application du plan d'intervention par la chercheuse
Analyse des résultats	Étapes d'analyse décrites aux sections 5.1 à 5.3 de ce chapitre
Conclusion	Validation de l'hypothèse Limites et retombées potentielles de la recherche

D'abord, la problématique s'est basée sur des observations effectuées en classe et lors de la recension des écrits. Ensuite, le cadre de référence a proposé un processus de transposition didactique afin d'organiser les savoirs à enseigner de façon pertinente et cohérente dans un cours de physique d'un programme technique. Ce processus correspond à l'hypothèse de cette démarche scientifique.

Les trois autres étapes de la démarche scientifique consistent à expérimenter, analyser et conclure. Le plan d'intervention illustré à la figure 7 correspond aux

étapes de l'expérimentation et d'analyse de cette recherche alors que la conclusion correspond à la validation des résultats, à l'évaluation de leurs limites et des retombées potentielles de la recherche.

La validité scientifique des résultats repose sur la confirmation de l'hypothèse de départ de cette recherche-intervention : le processus de transposition didactique et le plan d'intervention élaborés dans cet essai permettent-ils d'organiser les savoirs de façon pertinente et cohérente?

Cette recherche-intervention s'appuie à la fois sur des critères de rigueur propres aux recherches qualitatives et sur la démarche scientifique utilisée dans les laboratoires de physique. Sa méthodologie reflète aussi la complémentarité entre la formalisation de la démarche et son application contextualisée. La section suivante résume le plan d'intervention élaboré dans ce chapitre.

6. LE PLAN D'INTERVENTION

Le caractère cyclique de cette recherche-intervention fait en sorte d'alterner les phases de recherche, de cueillette et d'analyse des données. La chronologie du plan d'intervention élaboré à partir des objectifs de chaque collecte de données est illustrée par la figure 7.

Le plan d'intervention débute avec l'identification des principaux thèmes du cours qui seront reliés à des systèmes techniques du programme lors de la première entrevue. La catégorisation de ces données permettra ensuite de finaliser la préparation de la deuxième entrevue visant à modéliser le fonctionnement des systèmes ciblés.

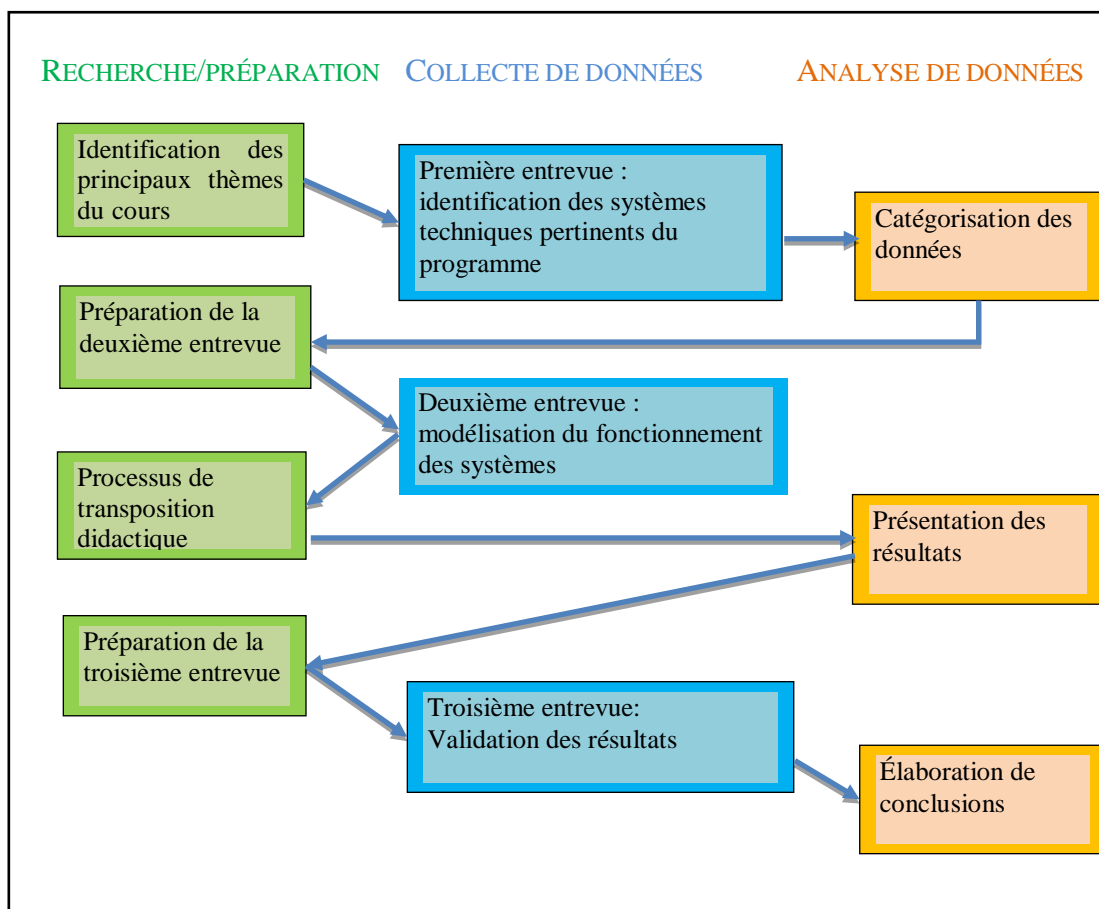


Figure 7 : Plan d'intervention prévu pour cet essai

Les résultats de la deuxième collecte de données fourniront ensuite les savoirs experts du programme à la base du processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence. L'application de ce processus illustré à la figure 5 permettra de déterminer et d'organiser les savoirs à enseigner du cours de mécanique appliquée en les reliant à des applications concrètes du programme de technologie du génie civil.

Finalement, ces résultats seront présentés aux participantes et aux participants du département de physique lors de la troisième entrevue afin de les valider. Le chapitre suivant détaille les résultats obtenus lors de la mise en application de chaque étape du plan d'intervention illustré à la figure 7.

QUATRIÈME CHAPITRE

LA PRÉSENTATION ET L'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

La problématique a permis de constater que la motivation des étudiantes et des étudiants est plus grande lorsque les lois de la physique sont appliquées à des situations concrètes reliées à leur programme d'étude. Elle a aussi fait ressortir que la grande diversité des programmes de techniques physiques au cégep de Trois-Rivières, leur faible clientèle étudiante et le manque d'informations vulgarisées sur le fonctionnement des systèmes compliquent la tâche des enseignantes et enseignants d'une discipline contributive, d'où la question de recherche : comment organiser les savoirs à enseigner d'un cours de physique d'un programme technique de façon pertinente et cohérente?

Pour appliquer les lois de la physique aux systèmes utilisés dans le programme technique, le cadre de référence a établi que la compréhension du fonctionnement de ces systèmes constitue le point de départ. Puis, un processus de transposition didactique pour déterminer les savoirs à enseigner et un modèle d'organisation des savoirs adaptés à l'enseignement d'une discipline contributive dans un programme technique y ont été élaborés.

Ces premiers chapitres établissent un diagnostic empirique de la situation, première étape d'une recherche-intervention (Paillé, 2007). Le chapitre portant sur la méthodologie a ensuite permis d'élaborer un plan d'intervention comprenant trois phases; l'identification des systèmes techniques du programme dont le fonctionnement est en lien avec les lois de la physique du cours, la modélisation de

ces systèmes et l'organisation des savoirs à enseigner. Chacune des phases de cette méthodologie cyclique alterne la recherche, la collecte et l'analyse de données correspondant aux étapes 3 à 6 d'une recherche-intervention (Paillé, 2007) et constitue la démarche visée par le premier objectif spécifique de cet essai.

Ce quatrième chapitre décrit d'abord les changements et les connaissances issues de chacune des phases du projet puis fournit une critique de l'intervention et des recommandations correspondant aux septième et huitième étapes d'une recherche-intervention (Paillé, 2007).

Les résultats et leur interprétation seront présentés dans l'ordre chronologique prévu par le plan d'intervention afin d'en respecter le caractère cyclique. L'identification des savoirs experts du programme de technologie du génie civil mènera à la transposition didactique des savoirs experts et des savoirs savants vers les savoirs à enseigner dans le cours de mécanique appliquée. Pour terminer, une synthèse des résultats sera effectuée afin de valider la démarche et d'atteindre le deuxième et ultime objectif spécifique de cette recherche.

1. IDENTIFICATION DES SAVOIRS EXPERTS DU PROGRAMME

La première entrée didactique illustrée à la figure 1 du cadre de référence réfère aux savoirs disciplinaires. Dans le contexte de l'enseignement d'une discipline contributive, ces savoirs incluent les savoirs savants de la discipline et les savoirs experts du programme.

Les savoirs savants associés au cours de mécanique appliquée sont déjà mentionnés dans le plan-cadre alors que le plan d'intervention illustré à la figure 7 prévoit deux entrevues semi-dirigées pour déterminer les savoirs experts du programme de technologie du génie civil. Les sections suivantes fournissent les résultats de ces entrevues.

1.1 Les résultats de la première entrevue

La première phase prévue dans le plan d'intervention illustré à la figure 7 consistait à identifier les systèmes techniques du programme de technologie de génie civil où le mouvement, la chaleur et les forces sont impliqués. Les réponses aux questions prévues au tableau 4 ont permis de déterminer que :

1. L'identification de la composition du sol et du béton est importante dans le programme;
2. Le réseau d'aqueduc est un système où il y a du mouvement.

La composition des matériaux peut être déterminée expérimentalement à l'aide de leurs propriétés physiques. Ces propriétés font appel à des notions de base sur les forces et la chaleur et ne nécessitent pas de recherche supplémentaire pour être utilisées dans le cours de physique.

Par contre, l'identification du réseau d'aqueduc comme un système où il y a du mouvement a été plus enrichissante. Ce système permet d'illustrer le mouvement de l'eau, les forces qu'elle exerce sur les composantes et d'évaluer l'énergie nécessaire pour qu'elle soit acheminée jusqu'à nos maisons. De plus, ce système est aussi soumis à des variations de température.

Bien que ce système permette à lui seul d'illustrer l'ensemble des lois de la physique du cours de mécanique appliquée, les notions associées à l'identification de la composition des matériaux sont plus simples. Cette application a donc été conservée afin d'assurer une progression du niveau de difficulté. Le tableau 8 présente la classification finale issue de la catégorisation de ces premiers résultats.

Tableau 8
Catégorisation des systèmes techniques de génie civil

Applications techniques	Notions physiques
Identification de la composition des sols et du béton	Équilibre des forces Dilatation thermique
Circulation de l'eau dans le réseau d'aqueduc	Mécanique des fluides* Mouvement en une et deux dimensions Forces pour des masses en mouvement Conservation de l'énergie Dilatation thermique

*Ce thème n'était pas présent dans le plan-cadre du cours au moment de l'entrevue

L'identification du réseau d'aqueduc comme système pertinent a permis d'orienter rapidement les savoirs à enseigner vers la circulation de l'eau dans les conduites plutôt que de les limiter aux applications traditionnelles comme le mouvement d'un bloc, d'une balle ou d'une voiture.

Cette découverte a aussi amené des modifications dans le plan-cadre du cours afin d'y inclure les notions relatives à la mécanique des fluides. La circulation de l'eau dans les conduites est ainsi devenue officiellement la ligne directrice du cours de mécanique appliquée et les contenus ont été ajustés en conséquence afin d'éviter un ajout d'heures. De même, l'ordre de présentation des contenus dans le cours de mathématiques offert à la même session a été modifié afin que les notions algébriques relatives aux situations en deux dimensions soient introduites dès le début de la session. Ces notions peuvent ainsi être réutilisées dans le cours de physique pour analyser les changements de direction subis par l'eau dans les conduites d'aqueduc. Le champ d'intervention de cette recherche ne s'est finalement pas limité au groupe-classe comme prévu au départ, mais a aussi suscité quelques changements dans le deuxième cours de mathématiques du programme.

À première vue, l'ajout de ces notions ne semble pas très révolutionnaire, mais elles ont entraîné des transformations mathématiques inattendues aux lois traditionnelles de la physique. Ce processus s'apparente à celui qu'une personne ne conduisant que des voitures à transmission automatique aurait à vivre si elle devait conduire une voiture à transmission manuelle sur une bonne distance en ayant seulement quelques informations de base à sa disposition.

Dans cette situation hypothétique, la personne devrait commencer par se familiariser avec la transmission manuelle avant de l'intégrer à sa conduite habituelle. L'intégration débiterait probablement avec des situations simples comme avancer en ligne droite, s'arrêter et se poursuivrait avec la simultanéité de deux actions comme rétrograder en effectuant un virage, par exemple. De façon similaire, l'adaptation des lois traditionnelles à la circulation de l'eau dans les conduites a nécessité d'intégrer les notions de la mécanique des fluides à celles de la mécanique classique.

Pour réaliser ces transformations, l'enseignante chercheuse a d'abord consulté les équations utilisées dans le domaine technique (Beaudry et Rolland, 2005) puis les a reliées aux lois de la mécanique classique avant d'effectuer la série de transformations nécessaires pour passer des unes aux autres. Ces transformations mathématiques se retrouvent à l'annexe E et ont été soumises aux participantes et aux participants du département de physique lors de la troisième entrevue. Les résultats de cette entrevue seront décrits ultérieurement afin de respecter la chronologie du plan d'intervention illustré à la figure 7.

Cette première phase du plan d'intervention a permis de constater que :

1. Les deux applications concrètes du programme de génie civil présentées dans le tableau 8 sont suffisantes pour illustrer l'ensemble des lois de la physique du cours de mécanique appliquée;

2. L'identification du réseau d'aqueduc comme système technique pertinent a occasionné des modifications dans les contenus du premier cours de physique et dans l'organisation de ceux du cours du deuxième cours de mathématiques du programme;
3. La circulation de l'eau dans le réseau d'aqueduc exige la fusion de deux thèmes traités séparément dans les volumes de physique et des adaptations propres à la situation.

Les connaissances issues de cette première collecte de données ont permis d'orienter les contenus du cours de mécanique appliquée vers la circulation de l'eau dans le réseau d'aqueduc. Il est donc possible de réaliser la première phase d'intervention entre l'attribution des tâches dans le département et le début de la session la rendant ainsi utile dans le contexte de la planification d'un cours au collégial.

Toutefois, la détermination précise des savoirs à enseigner pertinents pour le cours nécessite d'abord d'en apprendre davantage sur le fonctionnement global du réseau d'aqueduc. La section suivante décrit la deuxième phase de cette recherche.

1.2 Les résultats de la deuxième entrevue

La catégorisation des notions physiques reliées à la circulation de l'eau dans le réseau d'aqueduc a permis d'illustrer concrètement toutes les notions du premier cours de physique du programme de technologie du génie civil du cégep de Trois-Rivières, mais certains aspects du fonctionnement de ce système ne sont pas encore identifiés:

1. Quel est le parcours suivi par l'eau pour se rendre jusqu'aux résidences?
2. Comment les conduites du réseau d'aqueduc sont-elles agencées?
3. Quelles sont les normes à respecter pour les dimensions et les pressions?

Ces questions ont permis d'orienter la recherche documentaire et de préciser le cadre de la deuxième entrevue présentée au tableau 5. Cette deuxième phase du plan d'intervention visait à récolter suffisamment d'informations sur le fonctionnement du réseau d'aqueduc pour être en mesure de concevoir une activité d'apprentissage intégrant l'ensemble des lois de la physique. La recherche a ainsi été axée vers la « production de connaissances pertinentes et utiles pour l'action » (Guay et Prud'homme, 2011, p. 199).

La recherche documentaire dans le domaine technique ayant surtout mené à des écrits détaillant les caractéristiques techniques des conduites, à des devis d'installation et à des équations, elle n'a pas permis de répondre adéquatement aux questions spécifiques de cette phase. Bien que la référence technique obtenue lors de la première entrevue (Beaudry et Rolland, 2005) soit suffisamment vulgarisée pour faire des liens avec la physique, elle ne proposait toutefois pas de modèle global pour le fonctionnement d'un réseau d'aqueduc.

La deuxième entrevue avait donc pour but de compléter les informations factuelles sur le fonctionnement de ce système en faisant appel à l'expertise des enseignantes et des enseignants du département de génie civil qui traitent du réseau d'aqueduc ou de systèmes reliés à la physique dans leurs cours. Cette entrevue simultanée avec les deux participantes et participants a permis de :

1. Schématiser l'agencement des conduites et la circulation de l'eau;
2. Confirmer et compléter les informations sur la consommation d'eau, les dimensions des conduites et les pressions admissibles;
3. Découvrir de nouveaux éléments techniques;
4. Modéliser le fonctionnement du réseau d'aqueduc.

Les figures D₁ à D₃ de l'annexe D représentent la modélisation effectuée à l'aide de ces participantes et ces participants lors de la deuxième entrevue. Cette modélisation a ensuite permis à l'enseignante chercheuse de concevoir une activité d'apprentissage invitant les étudiantes et les étudiants à calculer les forces auxquelles sont soumises les conduites et la puissance requise à la station de pompage pour alimenter correctement les résidences en eau potable.

Bien que cette activité soit beaucoup plus pertinente pour les étudiantes et les étudiants du programme de génie civil que les applications traditionnelles au mouvement d'un bloc ou d'une balle, elle n'aurait pas pu voir le jour sans l'acquisition des nouvelles connaissances issues de ce projet.

En plus de fournir les savoirs experts pertinents du programme pour le cours de physique, cette deuxième phase du plan d'intervention a mené à l'élaboration d'une activité d'apprentissage qui intègre l'ensemble des notions du cours. Dans le contexte de l'enseignement au collégial, cette deuxième phase d'intervention pourrait être réalisée par l'enseignante ou l'enseignant pendant la session afin que l'activité d'apprentissage ainsi élaborée puisse servir de préparation pour l'examen synthèse du cours.

En résumé, la première phase du plan d'intervention a permis d'orienter les contenus vers des situations concrètes reliées au programme dès le début de la session alors que la deuxième a facilité la conception d'une activité synthèse. La détermination précise des savoirs à enseigner et de leurs applications concrètes tout au long de la session nécessite plus de temps et pourrait s'étaler sur les sessions suivantes ou s'inscrire dans un projet de recherche intensif. L'application du processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence est décrite dans la section suivante.

2. LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE DES RÉSULTATS

La transposition didactique des savoirs experts du programme technique vers l'organisation pertinente et cohérente des savoirs à enseigner dans le cours de physique est illustrée aux figures 5 et 6 du cadre de référence et consiste à :

1. Simplifier le fonctionnement du système à l'aide de dispositifs physiques associés à chacun des savoirs savants de la discipline;
2. Déterminer les savoirs à enseigner pertinents pour le cours;
3. Organiser les savoirs à enseigner de façon cohérente.

Cette section présente chacune des étapes de ce processus soit la transposition des savoirs experts vers les dispositifs physiques puis vers les savoirs à enseigner et leur organisation en fonction des rapports des élèves aux savoirs.

2.1 Détermination des dispositifs physiques

La première étape de transposition didactique vise à transformer les savoirs experts du programme vers des dispositifs physiques plus simples pouvant être reliés à une seule loi physique à la fois.

Dans un réseau d'aqueduc, l'eau passe d'abord par une station de pompage qui la propulse ensuite dans une série de conduites de différentes dimensions jusqu'à l'entrée d'eau des résidences. Ce système est complexe dans son ensemble, mais présente beaucoup de points communs avec le réseau électrique. La centrale hydroélectrique génère de l'électricité qui passe ensuite dans une série de fils de différentes grosseurs qui parviennent jusqu'à nos maisons. Comme il est plus facile dans les laboratoires de physique de travailler avec une version miniature du réseau électrique qu'avec des tuyaux, le circuit électrique devient un dispositif physique plus simple que le système technique.

Bien que cette analogie soit élégante, les notions d'électricité ne font pas partie du cours de mécanique appliquée. D'autres moyens ont alors dû être mis en place pour simplifier le fonctionnement du système. Ces moyens ont consisté à:

1. Traiter séparément chaque élément du système;
2. Détailler le passage de l'eau d'une conduite à l'autre;
3. S'attarder à un seul élément de la transition à la fois.

Dans l'exemple d'un vélo, ces moyens feraient en sorte d'associer d'abord le mouvement de translation du vélo à celui d'un bloc (analogie) puis de considérer uniquement la roue arrière (un élément du système) afin d'introduire le mouvement de rotation. Par la suite, la transmission du mouvement des pédales jusqu'à la roue arrière serait détaillée afin d'illustrer la combinaison du mouvement de translation et de rotation à chaque étape. Ces choix didactiques s'appuient sur :

1. Le principe de fonctionnement du système technique;
2. L'expertise disciplinaire des enseignantes et des enseignants;
3. L'accès facile à un montage ou à une représentation du dispositif choisi.

Les deux premières phases du plan d'intervention ont permis d'identifier le principe de fonctionnement du réseau d'aqueduc et d'y associer les lois de la physique du cours. Par la suite, l'expertise disciplinaire de l'enseignante a fait en sorte de le représenter à l'aide d'un circuit électrique facilement accessible en laboratoire. De même, le passage de l'eau d'une conduite à l'autre a été simplifié afin d'introduire un type de mouvement à la fois.

Les dispositifs physiques ainsi déterminés permettent d'illustrer un seul aspect du mouvement de l'eau et correspondent à des objets matériels que les étudiantes et

les étudiants peuvent voir en classe ou manipuler au laboratoire afin d'en avoir une représentation fidèle.

Pour assurer la validité des choix didactiques effectués par la chercheuse pour le cours de mécanique appliquée, les participantes et les participants du département de physique ont eu à analyser ces choix lors de la troisième entrevue. Afin de respecter la chronologie du plan d'intervention, les résultats obtenus lors de cette entrevue seront détaillés ultérieurement.

La transformation des savoirs savants de la discipline et des savoirs experts du programme vers des dispositifs physiques simples a ensuite permis de déterminer les savoirs à enseigner selon le processus de transposition didactique décrit dans le cadre de référence. La section suivante détaille les étapes de cette transformation.

2.2 Détermination des savoirs à enseigner

La section précédente a guidé la simplification du fonctionnement du système technique en éléments suffisamment simples permettant d'introduire une seule loi physique à la fois. Le dispositif physique issu des savoirs experts du programme donne ainsi du sens au modèle théorique, alors que le modèle théorique issu des savoirs savants de la discipline permet de prédire le comportement du système dans diverses conditions. Cette interrelation entre la théorie et l'expérimentation définit l'attitude essentielle de la physique et est au cœur du processus de transposition didactique illustré à la figure 5 du cadre de référence.

Bien que les savoirs à enseigner découlent des savoirs savants de la discipline (Chevallard, 1991), ce sont les savoirs experts du programme qui leur font prendre tout leur sens dans le contexte de l'enseignement d'une discipline contributive (Maheu, 2008). Les savoirs à enseigner dans une discipline contributive naissent donc

de la fusion des savoirs experts et des savoirs savants qui peuvent être explicitement associés à chacun des dispositifs physiques choisis lors de l'étape précédente.

Le tableau D₁ de l'annexe D présente ces associations pour le réseau d'aqueduc et le tableau 9 illustre fournit un exemple plus simple tiré d'un appareil d'usage courant comme la bouilloire. Le choix d'un tableau comme outil de présentation permet de visualiser plus facilement les liens entre le système technique, le dispositif physique, les savoirs savants et les savoirs experts.

Dans cet exemple, la bouilloire considérée comme le système technique est d'abord simplifiée vers deux dispositifs physiques plus simples; le fil électrique relié à la prise de courant et l'élément chauffant situé à l'intérieur. Ces dispositifs sont ensuite rattachés aux savoirs savants de la discipline et aux savoirs experts du programme.

Tableau 9
Des dispositifs physiques vers les savoirs à enseigner

Système technique	Dispositifs physiques	Savoirs savants	Savoirs experts
Bouilloire	Fil électrique	Électricité	Normes et composantes électriques d'un bâtiment
	Élément chauffant	Thermodynamique	Conductivité thermique

Quoique la forme et les matériaux utilisés pour fabriquer la bouilloire puissent influencer les choix d'un consommateur, ils n'influencent pas son fonctionnement. Ces aspects n'ont donc pas été considérés pour déterminer les dispositifs physiques pertinents.

La première phase du plan d'intervention illustré à la figure 7 a permis d'identifier les systèmes techniques du programme et de les relier aux savoirs savants de la discipline alors que la deuxième phase a complété l'identification des savoirs experts du programme en lien avec ces systèmes. Le processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence a ensuite consisté à :

1. Simplifier le fonctionnement du système technique à l'aide de dispositifs physiques;
2. Relier les dispositifs physiques au modèle théorique le mieux adapté au contexte;
3. Rattacher le modèle théorique choisi aux savoirs savants de la discipline;
4. Transposer l'ensemble de ces données en savoirs à enseigner;
5. Organiser ces savoirs selon la spirale intégratrice illustrée à la figure 6 du cadre de référence.

L'application du processus de transposition didactique au cours de mécanique appliquée est représentée par la figure 8. Il débute avec les savoirs experts concernant l'agencement des conduites dans le réseau d'aqueduc obtenus lors de la deuxième entrevue. Il se poursuit en simplifiant l'agencement des conduites à l'aide de deux dispositifs physiques, le cône et le coude.

Puisque chaque dispositif physique découlant du système technique a pu être associé à une seule loi physique issue des savoirs savants, la démarche a ensuite consisté à concevoir une activité d'apprentissage basée sur chacune de ces lois. La résolution de ces activités d'apprentissage par l'enseignante chercheuse a ainsi permis d'identifier de façon précise les savoirs à enseigner.

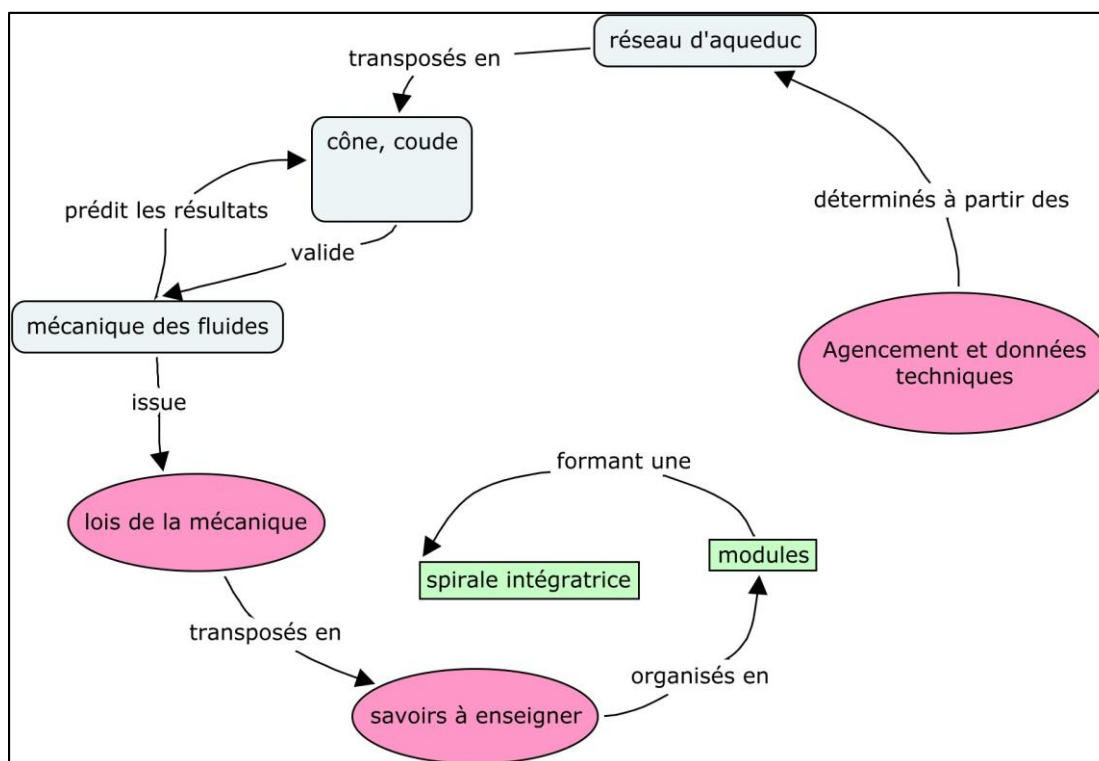


Figure 8 : Transposition didactique pour le cours de mécanique appliquée

Dans le cadre du processus de transposition didactique, l'identification des savoirs experts et des dispositifs physiques a entraîné la conception d'activités d'apprentissage adaptées alors que la réalisation de ces activités par l'enseignante chercheuse a permis de :

1. Vérifier que les données techniques obtenues lors de la deuxième entrevue étaient suffisantes;
2. Identifier les savoirs à enseigner pertinents.

Les savoirs experts pertinents étant à la base du processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence, un retour à la deuxième phase du plan d'intervention illustré à la figure 7 aurait pu être nécessaire si les informations recueillies s'étaient avérées insuffisantes pour concevoir une activité d'apprentissage synthèse reliée au fonctionnement du système.

Idéalement, la conception des activités d'apprentissage reliées à chacun des dispositifs physiques et la détermination précise des savoirs à enseigner devraient s'effectuer en cours de session, mais la recherche préalable à la modélisation du système prend du temps. La transposition didactique des savoirs experts du programme et des savoirs savants de la discipline vers les savoirs à enseigner dans le cours pourrait cependant s'étaler sur quelques sessions afin de garder la démarche réaliste dans le contexte d'une planification de cours au collégial. Cet étalement sur plusieurs sessions permettrait aussi de mieux évaluer les rapports des élèves aux savoirs afin de rendre l'organisation des savoirs plus motivante pour ceux-ci. La section suivante traite de ces aspects.

2.3 L'organisation des savoirs à enseigner

La détermination des savoirs à enseigner à partir des savoirs experts du programme et des savoirs savants de la discipline assure leur pertinence alors qu'une progression du niveau de difficulté s'inscrit dans la logique organisationnelle de la discipline.

La combinaison de ces deux facteurs est en lien avec le premier objectif spécifique et avec le rapport utilitaire que les élèves du secteur technique ont avec les savoirs à enseigner (Beaucher, 2010). Le cadre de référence a démontré que pour satisfaire l'ensemble de ces critères, l'organisation des savoirs à enseigner doit veiller à :

1. Niveler l'hétérogénéité des acquis des étudiantes et des étudiants dans la discipline et les disciplines connexes;
2. Prévoir une progression du niveau de difficulté;
3. Appliquer chaque nouvelle loi ou principe à un dispositif expérimental ou à un élément du système technique relié au programme.

L'hétérogénéité des préalables des étudiantes et des étudiants peut être élevée dans un programme où la clientèle est diversifiée. Par exemple, les préalables des personnes effectuant un retour aux études sont très différents de celles qui arrivent du secondaire. Les étudiantes et les étudiants doivent avoir réussi un cours de mathématiques de 5^e secondaire en plus d'un cours de sciences de 4^e secondaire pour être admis dans le programme de technologie de génie civil. Cependant, certains ont aussi fait un cours de physique en 5^e secondaire ou ont de l'expérience sur le marché du travail alors que d'autres présentent des lacunes dans ces disciplines.

Par expérience, le rapport des élèves aux savoirs peut se manifester sous diverses formes allant du découragement vers l'impression de déjà connaître toutes les notions, selon leurs acquis. Pour diminuer les risques de découragement des étudiantes et des étudiants ayant des acquis moins consolidés, il semble important de débiter par les notions les plus simples ne demandant que très peu d'outils provenant de disciplines connexes. Idéalement, ces notions de base devraient être différentes de ce qui peut avoir été acquis auparavant par les étudiantes et les étudiants ayant de l'expérience ou davantage de préalables dans la discipline afin de diminuer le risque qu'ils perçoivent le cours comme une simple révision.

L'organisation des savoirs dans les manuels de référence en physique prévoit une progression du niveau de difficulté qui part des préalables vers le niveau de complexité prévu par les devis ministériels. Dans le contexte de l'enseignement de la physique en tant que discipline contributive, l'organisation des savoirs à enseigner doit aussi tenir compte du rapport utilitaire des étudiantes et des étudiants par rapport aux savoirs (Beaucher, 2010) en prévoyant des activités d'apprentissage reliées au fonctionnement d'un système technique du programme.

La spirale intégratrice illustrée à la figure 6 du cadre de référence respecte la logique organisationnelle de la discipline tout en reliant les savoirs à enseigner à des applications concrètes du programme. La figure 9 est basée sur ce modèle et présente

l'organisation des savoirs à enseigner pour le cours de mécanique appliquée du programme de technologie du génie civil

Cette organisation débute avec la présentation de quelques notions de base et d'une loi simple appliquée directement à un élément du système technique, la station de pompage. Elle se poursuit avec l'introduction progressive des lois du mouvement s'appliquant aux dispositifs techniques issus de la transposition des savoirs experts du programme soit le cône et le coude.

Cette progression se termine lorsque toutes les notions du cours doivent être mobilisées pour résoudre un problème synthèse découlant du fonctionnement du système. La modélisation de ce système ayant été obtenue lors de la deuxième entrevue avec des enseignantes et des enseignants du département de technologie du génie civil, cette organisation facilite ainsi le transfert des apprentissages effectués dans le cours de mécanique appliquée vers le cours de génie municipal offert l'année suivante.

L'intégration et le transfert des apprentissages représentent les finalités de l'approche par compétences prescrites par le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de la Science. L'organisation proposée dans cet essai est donc cohérente avec ces objectifs en plus de tenir compte des caractéristiques particulières de l'enseignement d'une discipline contributive et du rapport des élèves aux savoirs à enseigner.

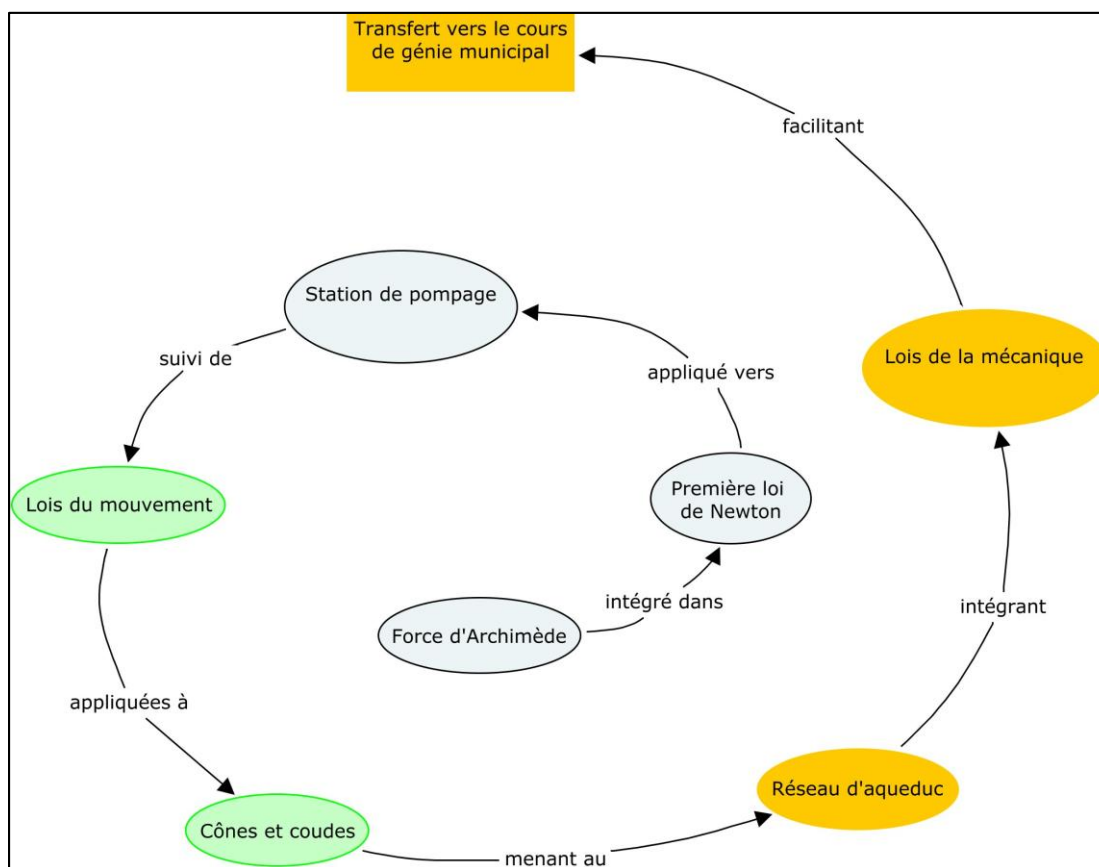


Figure 9 : Organisation des savoirs à enseigner dans le cours de mécanique appliquée

Bien que la figure 9 illustre adéquatement la progression des apprentissages, elle n'est pas suffisamment détaillée pour être utile lors de l'entrevue avec les participantes et les participants du département de physique. Le tableau D₂ de l'annexe D présente les résultats complets pour le cours de mécanique appliquée sous une forme similaire à celle du tableau 10 détaillant les liens entre le module, les savoirs à enseigner, les dispositifs physiques et les activités d'apprentissage qui en découlent.

Ce tableau classe les savoirs à enseigner sous quatre thèmes ayant un niveau de difficulté croissant. En y ajoutant les modalités d'évaluation pour chaque thème, ce tableau pourrait être directement présenté aux étudiantes et aux étudiants par le biais du plan de cours.

Tableau 10
Organisation suggérée pour les savoirs à enseigner

Module	Savoirs à enseigner	Dispositifs physiques	Activités d'apprentissage
Concepts de base	Effet de la chaleur Introduction aux forces	Objet immobile soumis à des forces et à des variations de température	Conception d'une station de pompage
Le mouvement	Lois du mouvement	Cône pour les variations de dimensions des conduites	Évaluation des caractéristiques du mouvement de l'eau dans le réseau d'aqueduc
Les forces	Lois sur les forces	Coude pour les changements de direction de l'eau	Calcul des forces exercées dans le réseau d'aqueduc
L'énergie	Principe de conservation de l'énergie		Calcul des pressions et de la puissance des pompes dans le réseau d'aqueduc

En résumé, le fonctionnement du réseau d'aqueduc est illustré par les figures D_1 à D_3 et brièvement expliqué dans l'annexe D alors que les tableaux D_1 et D_2 présentent les choix didactiques effectués par la chercheuse pour déterminer les savoirs à enseigner et leur organisation dans le cours de mécanique appliquée. Quant à elle, l'annexe E contient les transformations subies par les lois physiques pour s'adapter à la circulation de l'eau dans les conduites.

Le cadre de référence et la méthodologie de cet essai ont permis d'élaborer une démarche pour organiser les savoirs à enseigner de façon pertinente et cohérente visée par le premier objectif spécifique. Les annexes D et E représentent les résultats contextualisés issus de l'application de cette démarche au cours de mécanique appliquée du programme de génie civil. Pour atteindre le deuxième objectif

spécifique et valider la démarche, ces résultats contextualisés et la démarche devront être évalués.

3. VALIDATION DE LA DÉMARCHE

Le cadre de référence et la méthodologie cyclique de cette recherche-intervention ont permis d'élaborer une démarche formelle de transposition didactique alors que les collectes de données ont été contextualisées pour le cours de mécanique appliquée.

Implicitement, l'interrelation entre l'aspect formel et contextualisé de cette recherche-intervention est similaire à l'interrelation entre le modèle théorique de la physique et ses applications concrètes reliées au programme technique définissant l'attitude essentielle de la discipline. Alors que l'aspect formel de la démarche fournit une solide référence, la contextualisation de celle-ci permet de lui faire prendre tout son sens. L'attitude essentielle de la physique se retrouve ainsi à la fois au centre de la démarche et au cœur de cet essai.

La complémentarité formalisation et contextualisation se manifeste aussi dans les objectifs spécifiques. Dans cet essai, le plan d'intervention élaboré dans la méthodologie et illustré à la figure 7 correspond à l'aspect formel et permet d'atteindre le premier objectif spécifique de l'essai soit d'organiser les savoirs à enseigner de façon cohérente et pertinente.

Le deuxième objectif spécifique s'inscrit plutôt dans le volet contextualisation de cette recherche-intervention en vérifiant la validité de la démarche pour le cours de mécanique appliquée du programme de technologie du génie civil. Ce sont les résultats de la dernière phase du plan d'intervention illustré à la figure 7 qui permettront de conclure sur sa validité. La section suivante décrit les résultats de cette troisième et dernière phase.

3.1 Les résultats de la troisième entrevue

La troisième entrevue avec les participantes et les participants du département de physique visait initialement les trois objectifs présentés au tableau 6 soit la vérification de l'aspect formateur de la modélisation, la pertinence des dispositifs physiques choisis et la cohérence de l'organisation proposée dans l'annexe D. Un quatrième objectif a dû être ajouté afin de valider les transformations mathématiques de l'annexe E rendues nécessaires par la fusion de la mécanique classique et de la mécanique des fluides lors de la catégorisation des résultats de la première entrevue.

Le tableau 11 contextualise le cadre de la troisième entrevue présenté au tableau 6 à la circulation de l'eau dans les conduites d'aqueduc en y ajoutant ce quatrième objectif.

Dans un premier temps, les deux participantes et les participants ont eu accès aux figures D₁ à D₃ de l'annexe D et au court texte explicatif qui les accompagne. Ces informations ont été suffisantes pour leur permettre de comprendre les grandes lignes du fonctionnement du réseau d'aqueduc en quelques minutes. De plus, ils ont affirmé que la figure D₃ pourrait faciliter la conception d'une activité d'apprentissage reliée à la circulation de l'eau dans les conduites, mais qu'une réflexion supplémentaire serait nécessaire. La recherche multidisciplinaire effectuée par l'enseignante chercheuse a donc bien rempli son rôle de formation auprès de ses pairs.

Tableau 11
Cadre final pour l'entrevue dans le département de physique

Objectifs	Questions de l'entrevue
Vérifier l'aspect formateur de la modélisation des systèmes techniques	<p>Les figures D₁ à D₃ et le court texte explicatif qui les accompagne vous permettent-ils de comprendre le fonctionnement du système d'aqueduc ? Y a-t-il des aspects à clarifier ?</p> <p>Est-ce que la figure D₃ faciliterait la conception d'une activité d'apprentissage synthèse, si vous aviez à donner le cours?</p>
Évaluer la pertinence des dispositifs physiques	<p>Le tableau D₁ présente quelques dispositifs plus simples reliés à ces systèmes et leur lien avec les lois de la physique.</p> <p>Ces dispositifs sont-ils reliés au fonctionnement du système? Sont-ils suffisamment simplifiés pour le niveau du cours? Quels autres dispositifs pourraient convenir ou être mieux adaptés?</p> <p>Les liens effectués entre les dispositifs et les lois de la physique sont-ils pertinents? Sont-ils adaptés au niveau collégial et au cours? Avez-vous d'autres idées ou commentaires?</p>
Évaluer la cohérence de l'organisation proposée pour le cours de mécanique appliquée	<p>L'organisation présentée au tableau D₂ permet-elle une progression du niveau de difficulté? Est-elle cohérente avec les objectifs du cours? Les activités d'apprentissage proposées sont-elles cohérentes avec les dispositifs physiques et les savoirs à enseigner?</p> <p>Dans quelles mesures ces résultats faciliteraient-ils la conception de matériel didactique et d'activités d'apprentissage, si vous aviez à donner ce cours?</p>
Valider les transformations mathématiques	<p>Les transformations mathématiques effectuées à l'annexe E sont-elles exactes? Sont-elles adaptées à la circulation de l'eau dans des conduites?</p>

Dans un deuxième temps, les participantes et les participants ont analysé le tableau D₁ et sa description. Ils ont pu confirmer que les dispositifs physiques sont reliés au fonctionnement du réseau d'aqueduc et que les liens effectués avec les lois

de la physique sont adaptés au cours et au niveau collégial. Par contre, l'enseignante-chercheuse a dû fournir un complément d'information sur les dispositifs physiques comme le cône et le coude lors de l'entrevue. Un schéma de ces composantes a finalement permis aux participantes et aux participants de confirmer que les liens effectués entre ces dispositifs et les lois de la physique sont pertinents.

Bien qu'aucun autre dispositif physique n'ait été proposé, une des personnes interviewées a soulevé un lien intéressant avec une loi physique inconnue de l'enseignante-chercheuse. L'explication de cette équation aux autres protagonistes a permis de conclure à l'unanimité que cette loi permettrait de modifier les équations traditionnelles de la physique d'une façon différente, bien qu'équivalente à celle proposée à l'annexe E. Ces échanges inattendus se sont ainsi inscrits dans l'aspect formateur de cette recherche-intervention.

Dans un troisième temps, l'organisation des savoirs à enseigner a été présentée à l'aide du tableau D₂ de l'annexe D. Selon ces deux participantes et participants, l'organisation proposée:

1. Débute avec des notions simples et se poursuit avec des notions de plus en plus complexes;
2. Est en lien avec les notions physiques du cours;
3. Propose des activités d'apprentissage adaptées au fonctionnement du réseau d'aqueduc et aux notions physiques du cours de mécanique appliquée;
4. Facilite substantiellement la conception d'activités d'apprentissage et de notes de cours.

Finalement, la quatrième partie de l'entrevue consistait à valider les transformations mathématiques effectuées par l'enseignante chercheuse pour adapter les lois de la mécanique à la circulation de l'eau dans les conduites. L'examen de ces

transformations contenues dans l'annexe E par les participantes et les participants a permis de :

1. Corriger quelques erreurs;
2. Confirmer leur pertinence avec les savoirs à enseigner;
3. Valider leur rigueur scientifique.

Ces transformations mathématiques ont été considérées pertinentes et rigoureuses par ces physiciennes et ces physiciens puisqu'elles permettent de résoudre des problèmes reliés à la circulation de l'eau dans des conduites et découlent de lois physiques bien établies. Elles ont aussi été reconnues comme équivalentes à l'équation de Darcy suggérée par un des participants lors de l'entrevue.

Ces équations obtenues à partir d'un système du programme de technologie du génie civil pourraient aussi s'appliquer à des systèmes comme la plomberie et la ventilation utilisés dans les programmes de technologie de l'architecture et de la mécanique du bâtiment rendant ainsi les résultats contextualisés transférables vers d'autres programmes.

Cette entrevue a donc confirmé que le processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence permet d'organiser les savoirs à enseigner de façon à respecter la logique organisationnelle de la discipline tout en fournissant des activités d'apprentissage reliées au programme. Elle a aussi confirmé la présence des pôles recherche, formation et action du volet contextualisation de cette recherche-intervention (Karsenti et Savoie-Zajc, 2011). Le volet recherche permet d'abord de comprendre le fonctionnement du système alors que sa modélisation facilite ensuite la formation entre pairs. Finalement, l'organisation des savoirs à enseigner sous la forme du tableau D_2 encourage l'action en facilitant la conception de matériel didactique et d'activités d'apprentissage adaptés au programme.

La validation de ces résultats contextualisés amène à la dernière étape prévue au plan d'intervention soit l'élaboration de conclusions (Miles et Huberman, 2003).

3.2 L'élaboration de conclusions

L'application de la démarche au cours de mécanique appliquée du programme de technologie du génie civil a entraîné les actions suivantes :

1. Obtention rapide d'une ligne directrice pour les contenus;
2. Modification du plan-cadre du cours en fonction de ces nouvelles connaissances;
3. Adaptation des équations traditionnelles de la physique à la circulation de l'eau dans les fluides;
4. Modélisation du fonctionnement du réseau d'aqueduc;
5. Détermination des savoirs à enseigner et des applications concrètes pertinentes;
6. Obtention d'une structure de cours cohérente avec l'attitude essentielle, la logique organisationnelle de la discipline et le rapport des élèves aux savoirs.

L'obtention d'une ligne directrice avant le début de la session semble démontrer l'efficacité de la démarche dans le contexte de l'enseignement au collégial alors que la modification du plan-cadre de cours, des équations et la modélisation du système technique lui confèrent une certaine constance dans le temps.

Le processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence a ensuite permis de déterminer les savoirs à enseigner à partir des savoirs savants de la discipline et des savoirs experts du programme. L'organisation de ces savoirs à enseigner fournit finalement une structure de cours qui tiennent compte du rapport des élèves aux savoirs. Cette structure de cours obtenue à partir des sources didactiques décrites dans le cadre de référence semble ainsi faciliter le développement de ressources adaptées comme la conception de matériel didactique et d'activités d'apprentissage.

Le plan d'intervention illustré à la figure 7 constitue donc la démarche visée par le premier objectif spécifique de cet essai. Il permet de déterminer les savoirs à enseigner pertinents du programme et de les structurer en tenant compte de la logique organisationnelle et de l'attitude essentielle de la discipline.

Cette démarche prévoit une progression logique alternant la recherche, la collecte de données et l'intervention. Elle est donc cohérente avec les étapes d'une recherche-intervention décrites par Paillé (2007), avec la démarche scientifique présentée au tableau 7 et avec des expérimentations effectuées par d'autres enseignantes et enseignants. Par exemple, Maheu (2008) s'est inspirée des savoirs experts du programme d'inhalothérapie pour construire son cours de chimie, Normand (2009) s'est basé sur la conception d'une éolienne pour son cours de physique et Pelletier (2003) a conçu des notes de cours basées sur le fonctionnement de divers systèmes du programme de technologie de génie mécanique. Ces expérimentations confirment l'importance de déterminer les savoirs à enseigner à partir d'une situation concrète comme le prévoit le processus de transposition didactique illustré à la figure 5 du cadre de référence.

En résumé, la démarche élaborée dans cet essai a permis de fournir une ligne directrice aux contenus, de concevoir une activité d'apprentissage intégratrice, d'identifier avec précision les savoirs à enseigner pertinents et de les organiser de façon cohérente.

CONCLUSION

Les recherches et les expérimentations en enseignement semblent démontrer que l'illustration des notions d'un cours à l'aide de situations concrètes reliées au programme d'étude donne du sens aux enseignements. L'identification d'une telle ligne directrice facilite l'identification des savoirs à enseigner et la conception d'activités d'apprentissage adaptées au programme d'étude et motivantes pour les étudiantes et les étudiants.

La problématique de cet essai s'est penchée sur le contexte de l'enseignement de la physique comme discipline contributive au cégep de Trois-Rivières et a révélé que plusieurs difficultés freinent la conception de matériel didactique pour ces cours. La petite taille des cohortes, l'élaboration locale des programmes et la rareté des écrits techniques vulgarisés font en sorte que le fonctionnement des systèmes techniques fournissant la ligne directrice des cours de physique nécessite une recherche multidisciplinaire qui dépasse le cadre de la planification régulière d'un cours au collégial.

Ces facteurs sont à la base de la question de recherche de cet essai : comment organiser les savoirs à enseigner dans un cours de physique d'un programme technique de façon cohérente et pertinente?

Le cadre de référence a ensuite établi que la première source didactique pour l'enseignement d'une discipline contributive comporte à la fois les savoirs savants de la discipline et les savoirs experts du programme. L'identification de cette source didactique multidisciplinaire a mené à l'élaboration d'un processus de transposition didactique permettant d'identifier les savoirs à enseigner pertinents pour le

programme. Par la suite, un modèle d'organisation a été proposé pour assurer une cohérence dans la progression du niveau de difficulté des savoirs à enseigner tout en proposant des activités d'apprentissage adaptées au programme.

Les sources didactiques, le processus de transposition didactique et le modèle organisationnel définis dans le cadre de référence ont permis de conclure que la recherche devait d'une part être orientée vers l'élaboration d'une démarche permettant d'organiser les savoirs à enseigner de façon cohérente et pertinente et d'autre part vers la validation de cette démarche pour un cours ciblé.

Ces objectifs spécifiques présentent un aspect formel et contextuel en plus d'être orientés vers une transformation justifiant ainsi le choix d'une recherche-intervention. Le plan d'intervention en trois phases illustré à la figure 7 a été conçu pour s'appliquer à l'ensemble des cours de physique des programmes techniques alors que son application est contextualisée.

Cette démarche en trois phases semble bien adaptée au contexte de l'enseignement au collégial puisqu'elle s'inscrit dans l'approche-programme et tient compte des contraintes temporelles et organisationnelles de cet ordre d'enseignement. Par exemple, la première phase vise à fournir une ligne directrice aux savoirs à enseigner. Cette phase pourrait s'effectuer dans les quelques mois séparant le moment où les enseignantes et les enseignants se voient attribuer leurs cours et le début de la session.

Puisque la deuxième phase vise à concevoir une activité d'apprentissage intégratrice, elle pourrait se dérouler pendant la session et être expérimentée en classe en guise de préparation à l'examen synthèse. Bien que ces deux premières phases soient réalisables dès la première session où elles sont appliquées, elles nécessitent tout de même un investissement plus grand de la part des enseignantes et des enseignants qu'une planification plus traditionnelle.

La troisième phase consiste à préciser et à organiser les savoirs à enseigner en prévoyant des activités d'apprentissage adaptées pour chaque thème du cours. La réalisation de cette phase pourrait donc s'échelonner sur plusieurs sessions et mener à la conception de matériel didactique.

Le plan d'intervention élaboré dans cet essai a d'abord permis d'associer toutes les notions physiques du cours de mécanique appliquée à des applications concrètes du programme de technologie civil. Puis le désir de concevoir une activité synthèse adaptée au programme a mené à la modélisation du réseau d'aqueduc illustrée aux figures D₁ à D₃.

Ces figures illustrent les savoirs experts du programme pertinents pour le cours de mécanique appliquée et se retrouvent à la base du processus de transposition didactique élaboré dans le cadre de référence. Les objectifs spécifiques de cette recherche ont donc été atteints puisque la démarche élaborée a permis à l'enseignante chercheuse d'organiser les savoirs à enseigner de façon pertinente et cohérente dans le cours de mécanique appliquée du programme de technologie du génie civil.

Par ailleurs, les résultats contextualisés de cette recherche ont eu des impacts inattendus à l'extérieur de la classe. L'identification précise des savoirs à enseigner pour le cours de mécanique appliquée a suscité une réorganisation du cours de mathématiques offert à la même session afin que les étudiantes et les étudiants maîtrisent les outils mathématiques avant de les utiliser dans le cours de physique.

Bien que l'augmentation de la motivation des étudiantes et des étudiants aient été à la base de cette recherche, aucune collecte de données n'a été effectuée auprès d'eux. Ce choix méthodologique constitue la plus grande limite de cet essai. Toutefois, il s'est imposé lorsque la recension des écrits et le cadre de référence ont révélé que le manque de connaissances vulgarisées sur le fonctionnement des systèmes techniques freinait le développement d'activités d'apprentissage adaptées au

programme et nuisait à l'identification d'une ligne directrice pertinente et cohérente pour l'organisation des contenus. Dans ce contexte, l'élaboration d'une démarche générale semblait offrir une perspective plus vaste qu'une expérimentation contextualisée dans un cours.

Transformer les savoirs à enseigner nécessite d'abord d'identifier les savoirs experts d'une autre discipline puis d'adapter certains savoirs savants de la discipline avant de planifier l'organisation des contenus. Ces étapes préalables dépassent le cadre habituel d'une préparation de cours, nécessitent la collaboration de la discipline maitresse du programme et pourraient donc constituer une limite dans l'application du plan d'intervention.

La limite causée par l'investissement supplémentaire en temps de recherche pourrait partiellement être comblée par l'élaboration en trois phases du plan d'intervention de cet essai qui permet d'étaler la démarche sur plusieurs sessions tout en obtenant une ligne directrice avant le début de la session.

De même, les premiers contacts établis avec divers départements techniques dans le but de cibler un cours ont démontré la grande ouverture de plusieurs de ces départements à participer à un tel projet. La volonté d'adapter les contenus et de développer des activités d'apprentissage pertinentes semble aussi présente chez les enseignantes et les enseignants des disciplines contributives comme l'ont démontré les expérimentations citées précédemment (Maheu, 2008; Normand, 2008, Pelletier, 2003) et les contacts préalables en vue de l'entrevue dans le département de physique

La collaboration interdépartementale développée lors d'un projet de ce type pourrait favoriser la communication ultérieure entre les enseignantes et les enseignants offrant ainsi un meilleur encadrement aux étudiantes et aux étudiants du programme.

La formalisation du plan d'intervention pourrait faciliter son utilisation par les enseignantes et les enseignants des disciplines contributives en ciblant les savoirs experts en fonction de l'attitude essentielle de cette discipline. Par exemple, pour un programme où le thème principal serait la conception de vélos, la physique ciblerait les savoirs experts relatifs à la transmission du mouvement des pédales vers la roue arrière alors que d'autres disciplines contributives de cet hypothétique programme pourraient s'intéresser à l'ergonomie, aux perceptions des consommateurs ou à la mise en marché du vélo.

L'identification précise des savoirs à enseigner pour le cours de mécanique appliquée a suscité une réorganisation du cours de mathématiques offert à la même session. L'acquisition des outils mathématiques pourrait améliorer le sentiment de compétence des étudiantes et des étudiants lors de leur réutilisation dans le cours de physique. De même, l'application des lois de la physique au fonctionnement de systèmes utilisés dans les cours techniques du programme pourrait faciliter l'intégration et le transfert des apprentissages.

L'arrimage plus adéquat entre les disciplines d'un même programme et la collégialité interdépartementale constituent des retombées potentielles de cette recherche pouvant avoir des impacts positifs sur la tâche d'une enseignante ou d'un enseignant du collégial. Ces facteurs pourraient aussi contribuer à augmenter la motivation des étudiantes et des étudiants.

Finalement, la démarche de transposition didactique élaborée dans le cadre de référence et le plan d'intervention illustré à la figure 7 fournissent en quelque sorte le matériel de base que des recherches ultérieures pourraient utiliser, adapter ou compléter afin de favoriser le développement de matériel didactique pour l'enseignement d'une discipline contributive.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Authier, F. (2008). De l'expertise disciplinaire aux savoirs à enseigner. *Pédagogie collégiale*, 21(2), 31–35.
- Beaucher C. (2010). *Le rapport aux savoirs des élèves : une relation significative*. Communication présentée au 4^e congrès de l'AQIFGA, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, avril.
- Beaudry J-P. et Rolland J-C. (2005). *Mécanique des fluides appliquée* (2^e éd.). Montréal : Éditions Berger (1^{re} éd., 1995).
- Bédard, D. et Gendron, N. (2004). *Bâtiment et travaux publics : Technologie de l'architecture : programme d'études techniques, 221.A0*. Québec : Province de Québec.
- Benson H., Séguin M., Villeneuve B., Marcheterre B. et Gagnon R. (2009). *Physique I, Mécanique* (4^e éd.). Québec : Éditions du Renouveau pédagogique (1^{re} éd. 1991).
- Bizier, N. (2006). Situer et validité ses références : un exercice incontournable lors du choix des contenus. *In actes du 26e colloque de l'AQPC sur l'enseignement au collégial, une profession à partager* (pp. 37–41). Document téléaccessible à l'adresse <http://www.cdc.qc.ca/actes_aqpc/2006/Bizier_Nicole_206.pdf>
- Cervera, D. et Nonnon, P. (1996). Comprendre les systèmes hydrauliques et pneumatiques industriels. *Association de recherche au collégial*, 23(2), 84–90.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée.
- Conne, F. (1990). *Un grain de sel à propos de la transposition didactique*. Communication présentée au 37^e séminaire sur la représentation du centre interdisciplinaire de recherche sur l'apprentissage et le développement en éducation, Montréal, 17 février 1989.
- Dolbec, A. et Prud'homme, L. (2009). La recherche-action. *In B. Gauthier (dir.), Recherche sociale, de la problématique à la collecte de données* (p.531-570). Québec : Presses de l'Université de Québec.

- Duchesne C. et Leurebourg R. (2012). La recherche-intervention en formation des adultes : une démarche favorisant l'apprentissage transformateur. *Recherches qualitatives*, vol.31 (2), 3-24.
- Forget, A. (2013). *La recherche intervention en milieu organisationnel*. Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Fortin, M. F. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche* (2e éd.). Montréal : Chenelière Éducation (1^{re} éd..s.d.).
- Guay, M.-H. et Prud'homme L. (2011). La recherche-action. In T. Karsenti et L. Savoie-Zajc (dir.), *La recherche en éducation, étapes et approches* (p.183-212). Saint-Laurent : Éditions du Renouveau pédagogique.
- Hecht E. (2006). *Physique mécanique* (trad. par T. Beccharrawy). Mont-Royal : Groupe Modulo.
- Karsenti T. (dir.) et Savoie-Zajc L. (2011). *La recherche en éducation, étapes et approches* (3^e éd.). Saint-Laurent : Éditions du Renouveau pédagogique (1^{re} éd. s.d.).
- Lapierre, L. (2008). Un cadre de référence pour le questionnement didactique au collégial. *Pédagogie collégiale*, 21(2), 5-12.
- Lapointe, J., Thérien, L. et Veillette, M. (1991). Modèle d'élaboration et de validation de matériel didactique en formation professionnelle. *Revue des sciences de l'éducation*, XVII(1), 57-75.
- L'Écuyer R. (1988). L'analyse de contenu : notions et étapes. In J.P. Deslauriers (dir.), *Les méthodes de la recherche qualitative* (p.49-65). Sillery : Presses de l'Université du Québec.
- Maheu, S. (2008). L'apport des disciplines contributives scientifiques dans les programmes techniques. *Pédagogie collégiale*, 21(2), 27-30.
- Miles, M. B. et Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives*. Paris : De Boeck Université.
- Normand, L. (2009). Une démarche de construction de connaissances en physique. In N.Bizier (dir.), *L'impératif didactique : au cœur de l'enseignement collégial* (p.127-138). Sherbrooke : Éditions du CRP, Faculté d'éducation Université de Sherbrooke.
- Paillé P. (2007). Avancées en méthodologies qualitatives. *Recherches qualitatives*, 27(2), 133-151.

- Pastré, P., Mayen P. et Vergnaud G. (2006). La didactique professionnelle, *Revue française de pédagogie*, 154. Document téléaccessible à l'adresse <http://rfp.revues.org/157>
- Pelletier, D. (2003). *Physique mécanique : Pour le programme de techniques de génie mécanique, physique 203-2M5-VL*. Valleyfield : Cégep de Valleyfield.
- Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir de pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, 24(3), 487-514.
- Savoie-Zajc, L. (2009). L'entrevue semi-dirigée. In B. Gauthier (dir.), *Recherche sociale, de la problématique à la collecte de données* (p.337-360). Québec : Presses de l'Université de Québec.
- Savoie-Zajc, L. (2011). La recherche qualitative/interprétative en éducation. In T. Karsenti et L. Savoie-Zajc (dir.), *La recherche en éducation, étapes et approches* (p.124-147). Saint-Laurent : Éditions du Renouveau pédagogique.
- Viau, R. (1994). *La motivation en contexte scolaire*. Montréal : Éditions du Renouveau pédagogique.
- Vincent, S. (2001). Le trajet du « savoir à enseigner » dans les pratiques de classe. In P. Jonnaert et S. Laurin (dir.), *Les didactiques des disciplines : un débat contemporain* (p. 209-239). Ste-Foy. Presses de l'Université du Québec.

ANNEXE A

Compte-rendu de la décision du comité d'éthique du cégep de Trois-Rivières

À la suite d'une consultation des membres du comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains du Cégep de Trois-Rivières tenue entre le 11 et le 15 mars 2013, il a été décidé que :

Le projet intitulé « Transposition didactique en physique » s'apparente davantage à une évaluation de programme et ne constitue pas une recherche au sens de l'Énoncé de politique des trois Conseils : Éthique de la recherche avec des êtres humains. Un certificat d'approbation éthique n'est donc pas nécessaire.

Toutefois, le Comité invite la responsable du projet à tenir compte des points suivants :

- *La durée des entrevues devrait être plus précise afin que le participant sache exactement à quoi il s'engage. La chercheuse ne peut se donner le droit d'allonger arbitrairement la durée des entrevues.*
- *La section du document concernant la confidentialité n'a pas été complétée. Il s'agit d'un aspect à corriger.*
- *Sur le plan de l'éthique, la chercheuse devrait tenir compte des risques associés aux conséquences psychologiques et professionnelles de l'évaluation des enseignants dans leur pratique. Une mention sur l'aide psychologique disponible au collège devrait être incluse dans le questionnaire.*
- *De manière générale, le français écrit pourrait faire l'objet d'une révision.*

Les recommandations du comité éthique ont été prises en considération et ont mené aux formulaires de consentement des annexes B et C. Le programme d'aide au personnel offert par le cégep de Trois-Rivières a été présenté verbalement aux participantes et participants sollicités pour leur opinion professionnelle.

ANNEXE B

Formulaire de consentement (département technique)

Mon projet d'essai en vue d'obtenir une maîtrise en enseignement au collégial consiste à faire des liens entre les lois de la physique enseignées dans le cours de mécanique appliquée et les ouvrages techniques pertinents du programme de génie civil. J'ai donc besoin de votre expertise disciplinaire afin de déterminer les ouvrages utilisés dans votre programme pour lesquels il y a du mouvement, de la chaleur ou des fluides ainsi que leur principe de fonctionnement.

Votre participation à l'entrevue de 50 minutes restera confidentielle et anonyme à moins d'avis contraire de votre part. Les données ne seront pas associées directement à leur auteur ou à des informations permettant de l'identifier lors de leur diffusion.

En signant ce formulaire, vous consentez à participer à cette recherche et si vous souhaitez que votre participation soit reconnue officiellement en guise de rétribution, vous n'avez qu'à cocher l'option correspondante ci-dessous.

Je souhaite participer à cette recherche et je

___souhaite que mon nom soit mentionné dans la section remerciement de l'essai;

___préfère que ma participation reste anonyme.

Signature du participant : _____

ANNEXE C

Formulaire de consentement (département physique)

Mon projet d'essai en vue d'obtenir une maîtrise en enseignement au collégial consiste à faire des liens entre les lois de la physique enseignées dans le cours de mécanique appliquée et les ouvrages techniques pertinents du programme de génie civil afin d'établir une structure pertinente et cohérente pour ce cours. J'ai donc besoin de votre expertise pour valider la cohérence et la transférabilité du processus et de vérifier les transformations effectuées à partir des lois de la physique.

Votre participation à l'entrevue de 50 minutes restera confidentielle et anonyme à moins d'avis contraire de votre part. Les données ne seront pas associées directement à leur auteur ou à des informations permettant de l'identifier lors de leur diffusion.

En signant ce formulaire, vous consentez à participer à cette recherche et si vous souhaitez que votre participation soit reconnue officiellement en guise de rétribution, vous n'avez qu'à cocher l'option correspondante ci-dessous.

Je souhaite participer à cette recherche et je

souhaite que mon nom soit mentionné dans la section remerciement de l'essai;

préfère que ma participation reste anonyme.

Signature du participant : _____

ANNEXE D

Des savoirs experts du programme de technologie civil vers les savoirs à enseigner dans le cours de mécanique appliquée

Cette annexe présente d'abord les principales caractéristiques physiques du réseau d'aqueduc telles que validées et complétées lors de la deuxième entrevue dans le département technique. Elle présente ensuite les simplifications apportées pour les transformer en dispositifs physiques utiles pour l'enseignement de la physique et se termine avec l'organisation des savoirs dans le cours de mécanique appliquée.

Le réseau d'aqueduc débute avec la station de pompage illustrée à la figure D₁. Elle est construite sur mesure en béton de façon à être suffisamment grande pour accueillir les pompes et permettre leur entretien tout en étant suffisamment massive pour éviter qu'elle ne flotte. Les forces et les masses volumiques des matériaux sont identifiées directement sur le schéma.

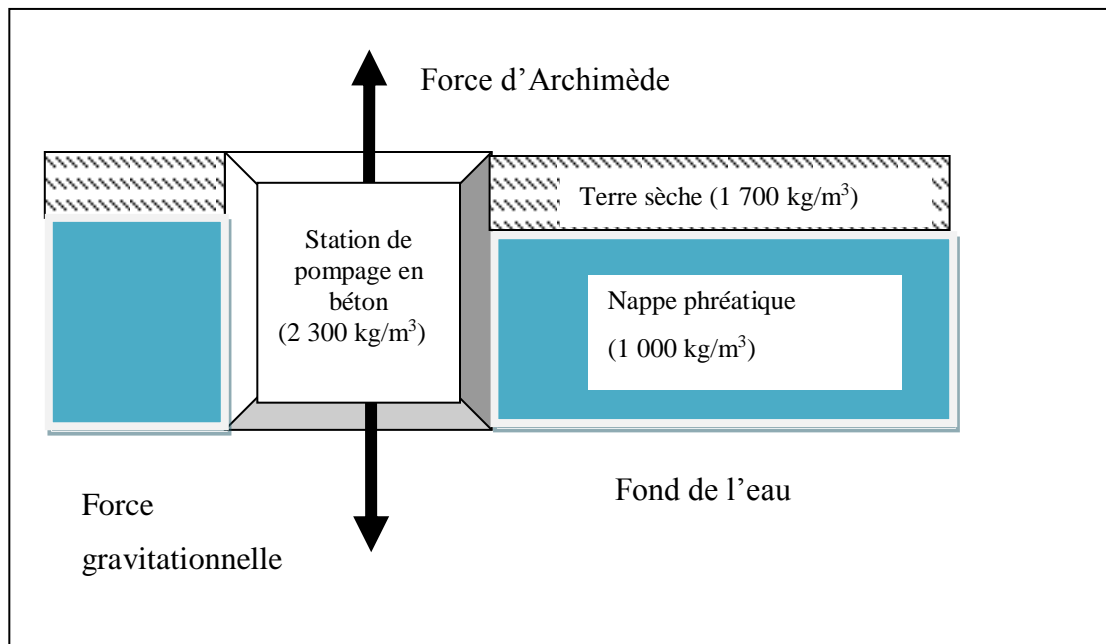


Figure D₁ : Vue en coupe de la station de pompage

Les pompes situées à l'intérieur de la station fournissent l'énergie pour propulser l'eau dans la conduite principale qui l'achemine ensuite vers les conduites secondaires agencées telles qu'illustrées à la figure D₂. Les flèches représentent le débit d'eau et le sens du courant.

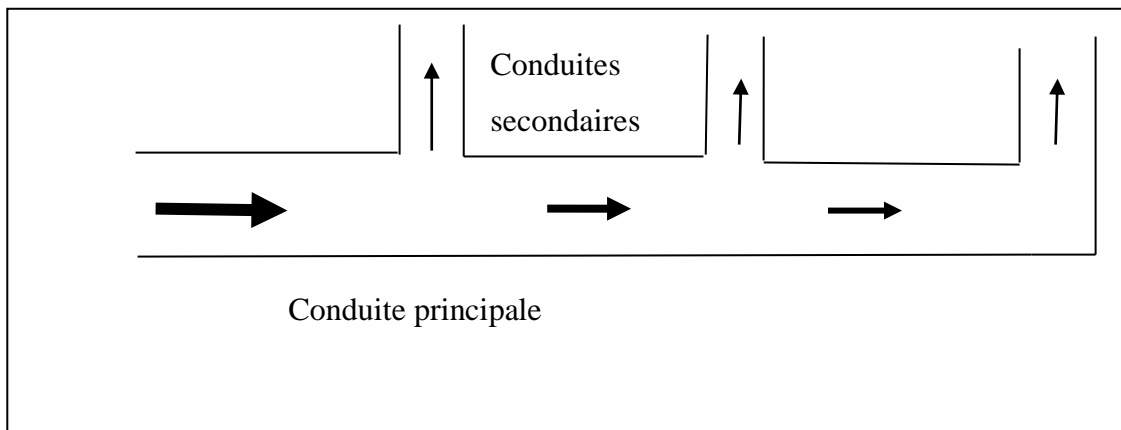


Figure D₂ : La répartition de l'eau dans les conduites d'aqueduc

Les conduites secondaires alimentent généralement des quartiers de la ville et sont reliées à plusieurs conduites flexibles menant aux résidences. L'agencement des conduites secondaires et des conduites menant aux résidences est le même que celui illustré à la figure D₂ sauf qu'elles ne sont pas nécessairement perpendiculaires entre elles. Toutes ces conduites peuvent être horizontales ou en pente selon la dénivellation du terrain.

Ce système demeure toutefois trop complexe pour un cours de physique de niveau collégial. Une première approximation peut être effectuée en considérant que :

1. la quantité d'eau reste constante partout dans une même conduite et ne se déverse dans les conduites secondaires ou résidentielles qu'à la dernière minute;
2. les lois de la mécanique ne sont appliquées que lors de la transition avec la dernière conduite de chaque type.

À partir de ces approximations et des résultats obtenus lors des deux premières entrevues dans le département technique, il est possible de modéliser le réseau d'aqueduc à l'aide de la figure D₃ où seule la dernière conduite de chaque type est illustrée.

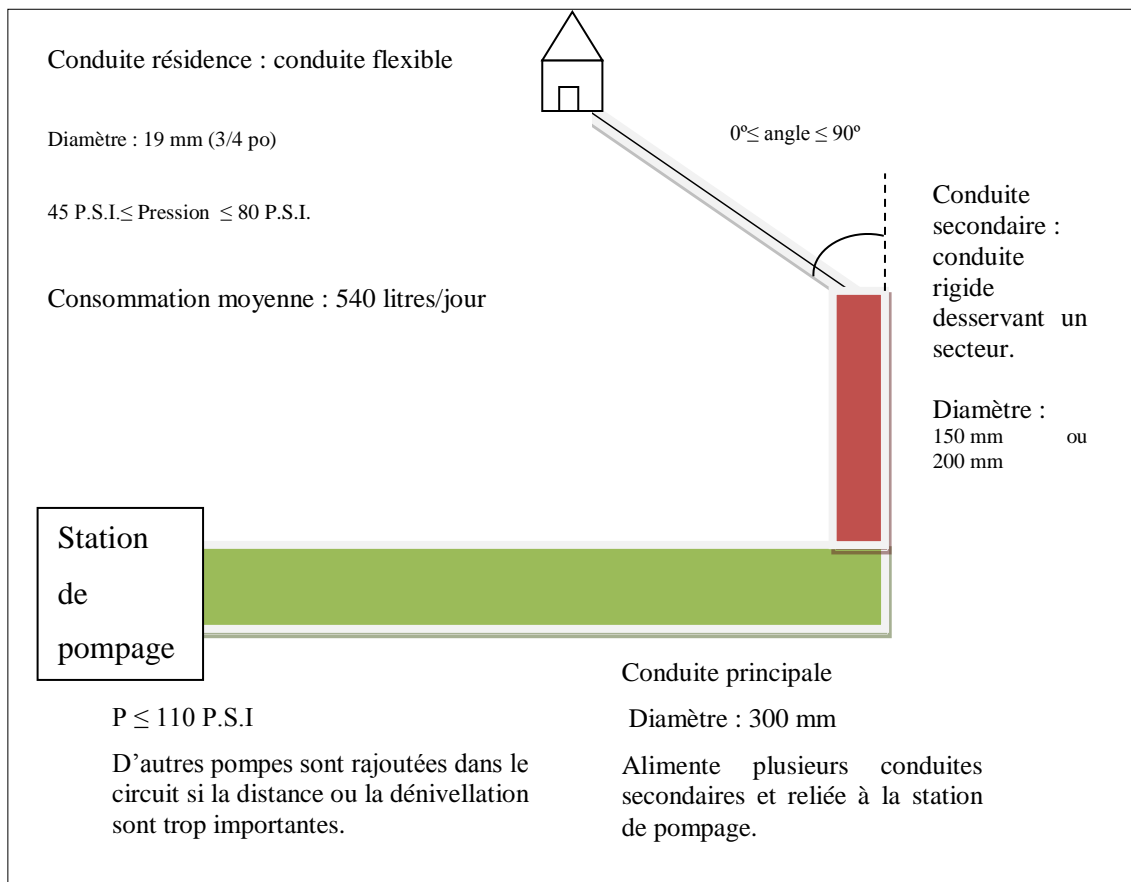


Figure D₃ : Modèle simplifié du réseau d'aqueduc

Ces figures représentent les savoirs experts du programme de technologie du génie civil permettant de déterminer les dispositifs physiques pertinents pour le cours de mécanique appliquée tel que prescrit dans le processus de transposition didactique illustré à la figure 5. Le tableau D₁ présente ces dispositifs en lien avec les lois de la physique du cours et les notions plus spécifiques reliées à l'étude des fluides.

Tableau D₁
Dispositifs physiques et savoirs à enseigner

Éléments techniques	Dispositifs physiques	Lois physiques du cours	Notions particulières
Station de pompage (figure D ₁)	Masse immergée suspendue par une corde	Première loi de Newton; équilibre	Force d'Archimède
Agencement des conduites/pompes (figure D ₂)	Circuits électriques	Ne s'applique pas	Notions d'électricité du secondaire
Transition d'une conduite à l'autre (figure D ₃)	Cône	Équations du mouvement	Débit
	Coude	Lois de Newton Conservation de l'énergie	Pression Hauteur de charge

Les dispositifs reliés à la station de pompage et à l'agencement des conduites sont très simples et disponibles dans tous les laboratoires de physique alors que les cônes et les coudes sont des dispositifs non expérimentaux qui facilitent l'analyse du comportement de l'eau lors de la transition d'une conduite à l'autre.

Bien que les notions d'électricité ne fassent pas partie du plan-cadre de cours, les préalables des étudiantes et des étudiants permettent de réaliser quand même une expérimentation simple avec des circuits électriques en considérant que :

1. La différence de potentiel aux bornes de la pile correspond au gain de charge² fourni par la pompe;
2. Le courant électrique correspond au débit d'eau;
3. La valeur de la résistance est inversement proportionnelle au diamètre des conduites, une petite résistance correspondant à une grosse conduite.

² Le gain de charge et le débit seront définis dans l'annexe E.

Le cône est un dispositif qui relie deux conduites de grosseurs différentes placées bout à bout alors que les coudes relient deux conduites de même diamètre placées dans des directions différentes. Ils permettent d'étudier un changement à la fois alors que dans la transition réelle entre deux conduites, le diamètre et la direction changent en même temps. Le volume de Beaudry et Rolland (2005) offre plusieurs exemples utiles pour l'enseignement de la physique sur le passage de l'eau à travers un cône ou un coude. L'organisation proposée des savoirs à enseigner dans le cours de mécanique appliquée est présentée dans le tableau D₂.

Tableau D₂
Organisation des savoirs à enseigner

Thème du module	Savoirs à enseigner	Dispositifs physiques	Activités d'apprentissage
Concepts de base	Dilatation thermique	Joints de dilatation thermique	Calcul de l'espacement entre les joints selon les saisons
	Force d'Archimède, 1 ^{re} loi de Newton	Masse immergée	Conception d'une station de pompage
Cinématique	Débit et équations du mouvement en une et deux dimensions	Cône pour le mouvement rectiligne dans des conduites de différentes grosseurs Coude pour le mouvement en deux dimensions dans des conduites de même dimension	Calcul de l'accélération de l'eau lors d'une transition dans le réseau d'aqueduc
Dynamique	Lois de Newton conventionnelles et modifiées (annexe E)		Calcul des forces lors d'une transition dans le réseau d'aqueduc
Énergie	Principe de conservation de l'énergie et de la hauteur de charge (annexe E)		Détermination de la pression de l'eau à divers endroits dans le réseau et la puissance des pompes

Le processus de transposition didactique des savoirs experts du programme vers les dispositifs et les lois de la physique permet de constater que l'étude des fluides doit être fusionnée avec les notions de mécanique plus conventionnelles au lieu d'être traitée à part comme c'est généralement le cas dans les ouvrages de référence en physique (Hecht, 2006; Benson *et al.*, 2009).

La fusion de ces deux thèmes pour appliquer les lois de la physique à la circulation de l'eau dans les conduites amène la transformation de certaines lois physiques. L'annexe suivante présente ces transformations.

ANNEXE E

Transposition des lois de la physique

Cette annexe s'adresse aux personnes ayant de solides bases en physique puisqu'elle présente les transformations mathématiques que doivent subir les lois conventionnelles de la mécanique pour s'appliquer à la circulation des fluides dans le réseau d'aqueduc.

1. DÉFINITIONS

Masse volumique (kg/m^3) : masse divisée par le volume soit $\rho = m/V$

Débit (m^3/s): Volume de fluide circulant dans une conduite par rapport au temps soit $Q = V/t$ et $Q = Av$ où A est la section (m^2) et v , la vitesse ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

Accélération (m/s^2): variation de la vitesse en fonction du temps soit $\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t}$

Pression (Pa) : force exercée par un fluide par unité de surface soit $P = F_p/A$

Hauteur de charge (m) : énergie par unité de poids soit $H = \text{énergie}/mg$. L'énergie peut être potentielle, cinétique ou provenir du travail effectué par les forces de pression, du frottement ou d'une pompe.

H_{pompe} (m) : gain de charge fourni par une pompe.

H_f (m): perte de charge due au frottement.

Cette valeur peut être déterminée à partir des dimensions, des matériaux et des autres caractéristiques de la conduite. Elle peut être évaluée à environ 0,2 m à chaque 100 m de conduite pour la résolution de problèmes dans le cours de physique.

F_{conduite} (N): force exercée par la conduite sur le fluide.

Sens du courant : l'eau circule toujours de l'**amont** vers l'**aval**.

2. DEUXIÈME LOI DE NEWTON

Les équations de cinématique restent les mêmes que pour une masse en mouvement. La circulation de l'eau représente un mouvement rectiligne uniforme à l'intérieur d'une conduite donnée même si elle est en pente et ce n'est que lors de la transition d'une conduite à une autre qu'il y a une accélération. L'utilisation d'un cône tel qu'illustré à la figure E₁ permet d'obtenir un mouvement rectiligne uniformément accéléré à l'intérieur de celui-ci alors que celle d'un coude permet d'introduire le mouvement en deux dimensions.

Les forces agissant sur l'eau à l'intérieur d'un cône sont illustrées à la figure E₁. La force gravitationnelle est souvent négligeable dans cette situation et n'est donc pas illustrée. Ces forces restent similaires pour le passage de l'eau à travers un coude ou d'une conduite d'aqueduc à une autre bien que leurs directions changent.

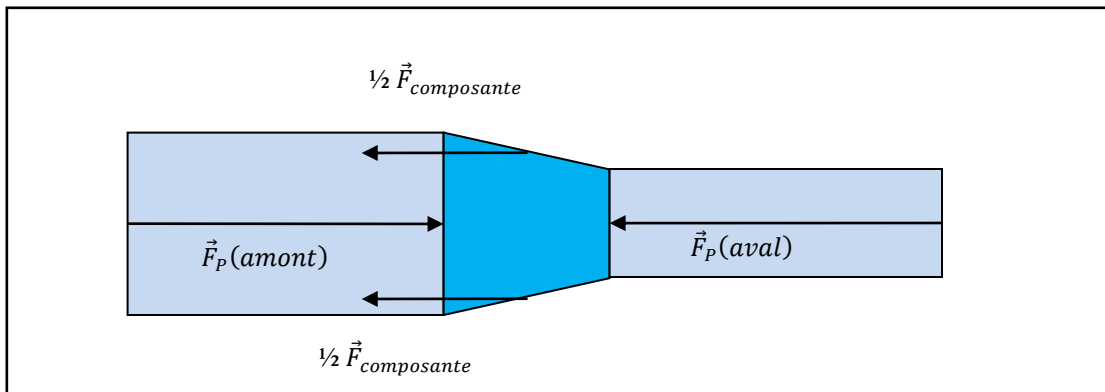


Figure E₁ : Circulation l'eau à travers un cône

La 2^e loi de Newton, $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$ devient, pour de l'eau circulant dans une conduite :

$$\vec{F}_P(\text{amont}) + \vec{F}_P(\text{aval}) + \vec{F}_{\text{composante}} = (\rho V) \left(\frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t} \right) = \rho Q (\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$$

En remplaçant m par ρV , V/t par Q et \vec{a} par $\frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t}$

3. CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

L'équation de Bernoulli est généralement utilisée dans l'étude des fluides en physique. Bien qu'elle permette de déterminer la pression à divers endroits dans les conduites, cette équation ne tient pas compte du frottement ni de la contribution des pompes dans le réseau.

C'est pourquoi il est préférable de transformer le principe de conservation de l'énergie en principe de conservation de la hauteur de charge en divisant chaque terme d'énergie par le poids.

L'énergie potentielle gravitationnelle devient la hauteur de charge due à la gravité soit y .

L'énergie cinétique devient la hauteur de charge due à la vitesse soit $v^2/2g$

La vitesse en amont comme celle en aval est constante à l'extérieur de la composante.

Le travail effectué par les forces de pression étant :

$$W = \vec{F}_p \cdot \Delta \vec{s} = \pm(PA)(vt)$$

La hauteur de charge due au travail fait par la pression devient :

$$H = W/mg = \pm P(Av)t / \rho Vg = \pm PQ / \rho Qg = \pm P / \rho g$$

En tenant compte du gain de charge dû aux pompes et à la perte de charge due au frottement, le principe de conservation de la hauteur de charge découlant directement du principe de conservation de l'énergie s'écrit :

$$\frac{v_1^2}{2g} + y_1 + \frac{P_1}{\rho g} - H_f + H_{pompe} = \frac{v_2^2}{2g} + y_2 + \frac{P_2}{\rho g}$$

À partir de cette équation, il est possible de déterminer la puissance requise pour les pompes.

$$Puissance = \frac{\text{énergie}}{\text{temps}} = \frac{mgH_{pompe}}{t} = \frac{\rho VgH_{pompe}}{t} = \rho gQH_{pompe}$$