

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉLABORATION D'UNE ÉPREUVE DIAGNOSTIQUE COGNITIVE POUR DÉPISTER LES DIFFICULTÉS
D'APPRENTISSAGE DES ÉLÈVES DE 5E SECONDAIRE EN PHYSIQUE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

MAITRISE EN ÉDUCATION

PAR

GENEVIÈVE ST-ONGE-ROSS

AOÛT 2024

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.12-2023). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée grâce à la collaboration de plusieurs individus et organisations dont je tiens à remercier chaleureusement.

En premier lieu, je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers la directrice de mon mémoire, Dan Thanh Duong Thi. Dès notre première rencontre, tu as saisi mon besoin de mener une recherche ancrée dans la pratique professionnelle et tu m'as guidée vers la création d'un outil que je pourrais réutiliser dans ma carrière. Ton expertise m'a initiée à la recherche universitaire de deuxième cycle et à l'approche diagnostique cognitive, deux domaines qui m'étaient jusqu'alors inconnus. Je te suis reconnaissante pour le temps que tu as généreusement consacré à me guider, à me soutenir et à enrichir mes travaux par tes lectures (et rerelectures) et tes précieuses rétroactions à chaque étape de mon parcours. Tu m'as appris ce que sont la rigueur et la précision et je suis fière du travail que nous avons accompli ensemble. C'est un honneur d'avoir été ta première étudiante en maîtrise.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers mes deux experts et amis, Patricia Poirier et Antoine Schérer, dont les conseils avisés et les réflexions ont grandement contribué à la réalisation de cette recherche. Malgré nos agendas chargés, vous avez été disponibles et engagés lors de ces multiples soirées de travail. Vos contributions ont été essentielles à l'élaboration de l'épreuve diagnostique cognitive sur laquelle j'ai travaillé pendant des années et qui n'aurait peut-être jamais vu le jour sans vous.

Je tiens à souligner le précieux soutien de Geneviève Proulx, enseignante et amie, qui m'a sans aucune hésitation accueillie dans sa classe pour que je puisse prévalider mon épreuve auprès de ses élèves. Sa confiance et son ouverture d'esprit ont facilité cette étape importante de ma recherche. Je remercie également ses élèves qui ont volontairement répondu à une évaluation facultative alors qu'habituellement, leur participation est fortement corrélée à la réponse à la question : Madame, est-ce que ça compte?

Un grand merci à Carla Barroso da Costa et à Serigne Ben Moustapha Diédhiou d'avoir accepté de faire partie de mon jury de mémoire. Vos commentaires attentifs et pertinents m'ont permis d'améliorer la qualité de mon travail et de préciser mes arguments.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers les membres du comité de sélection de la Bourse Denise-Véronneau et de l'Équipe de recherche en éducation scientifique et technologique (EREST) pour leur soutien financier et leur reconnaissance de l'importance de mon travail dans le domaine de l'éducation scientifique et technologique. Un merci particulier aux membres du comité du Concours de vulgarisation (CVRE) et leurs juges qui m'ont donné l'occasion de vulgariser ma recherche et de répondre à l'éternelle question : Quel est le sujet de ton mémoire déjà?

Je suis reconnaissante envers le Collège Letendre et toute son équipe pédagogique pour leur soutien et leur accueil chaleureux lors de la prévalidation de mon épreuve dans leur établissement. Je vous remercie pour toute la confiance que vous avez eue en moi tout au long de ma recherche.

Mes remerciements vont également aux professeurs et aux chargés de cours de l'Université du Québec à Montréal que j'ai rencontrés durant mon parcours et qui ont, chacun à leur façon, permis de cheminer à travers le processus de la recherche. Plus particulièrement, je souligne l'influence de Marthe Hurteau, Carla Barroso da Costa, Pascal Ndinga et Denise Bergeron qui ont contribué à me former en tant que chercheuse universitaire.

Un immense merci à mes amis maîtres universitaires de tout domaine, notamment Benoît Loyer et Marilou Boivin, qui ont partagé avec moi leur expérience, leurs inquiétudes ainsi que leurs réussites durant leur parcours au deuxième cycle universitaire. Votre vécu et votre écoute ont été un soutien moral à travers chaque étape de mon parcours.

Je remercie aussi mes amis loin du monde de la recherche qui, par leur présence, leur bienveillance et leur amitié inconditionnelle, m'ont permis d'avancer dans mon parcours avec un peu plus de légèreté. Je peux témoigner que ces moments passés en votre compagnie ont une part dans la réalisation de mon projet de maîtrise.

Au terme de ce parcours, mes plus sincèrement remerciements à mon conjoint, Ludovic Choinière, qui m'a accompagné tout au long de cette folle aventure sans que nous sachions réellement dans quel projet nous nous embarquions. Ta présence a été précieuse et essentielle pour la réussite de ma recherche. Merci à mes parents, Roger Ross et Denise St-Onge, et à mes sœurs, Stéphanie St-Onge-Ross et Karine St-Onge-Ross, qui, au cours de ces dernières années, ont été de mes plus grands supporteurs. Votre écoute et vos

encouragements m'ont permis d'affronter les obstacles rencontrés afin de terminer avec succès cette étape exigeante de ma vie.

Finalement, merci à tous mes élèves qui, de près ou de loin, ont donné un sens à cette recherche.

À Ludovic, mon fan #1.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX	xiii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	xiv
RÉSUMÉ.....	xvi
CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE	1
1.1 Introduction	1
1.2 Réforme de l'Éducation du Québec et son impact sur les finalités de l'évaluation	3
1.3 Programme d'étude de physique de 5 ^e secondaire.....	4
1.3.1 Importance de la réussite du cours en physique en 5 ^e année du secondaire.....	4
1.3.2 Processus de sélection pour le cours de physique de 5 ^e secondaire.....	6
1.3.3 Faiblesses du processus de sélection pour le cours de physique basé sur les résultats scolaires.....	8
1.4 Diagnostic des difficultés en sciences et en physique pour des élèves du secondaire	10
1.4.1 Conceptions spontanées ou alternatives lors de l'apprentissage de la science.....	10
1.4.2 Transfert des apprentissages scientifiques et mathématiques lors de l'apprentissage de la physique.....	11
1.4.3 États des lieux des épreuves utilisées à visée diagnostique en sciences.....	12
1.5 Approche diagnostique cognitive (ADC) et les épreuves développées sous la lumière de cette approche	14
1.5.1 Approche diagnostique cognitive (ADC).....	15
1.5.2 Synthèse des recherches réalisées avec l'approche diagnostique cognitive	16
1.5.3 Manque d'épreuves diagnostiques cognitives en sciences et en physique	17
1.6 Objectifs et questions de recherche	19
1.7 Pertinence scientifique et sociale de la recherche	20
1.7.1 Pertinence sociale.....	20
1.7.2 Pertinence scientifique	22
CHAPITRE 2 CADRE CONCEPTUEL	23
2.1 Programme de physique de 5 ^e secondaire	23
2.1.1 Disciplines et domaines d'apprentissages pour le cours de physique	23
2.1.2 Compétences disciplinaires du domaine de la physique	26
2.2 Étapes d'élaboration d'une épreuve basée sur l'approche diagnostique cognitive (ADC)	27
2.2.1 Étape 1 : Identification des attributs	29
2.2.2 Étape 2 : Élaboration des items	31
2.2.3 Étape 3 : Élaboration de la matrice Q.....	32
2.2.4 Étape 4 : Prévalidation et administration de l'épreuve.....	34
2.2.5 Étape 5 : Analyse des résultats et rétroactions diagnostiques.....	35

2.3	Directives des démarches du développement d'une épreuve	36
2.3.1	Planification générale de l'épreuve	38
2.3.2	Rédaction des items.....	40
2.3.3	Assemblage du test.....	42
2.3.4	Administration, notation et validation d'une épreuve	43
2.3.5	Analyse des résultats, la production de rapports finaux et de la documentation et Révision de l'épreuve	44
2.4	Validation	45
2.4.1	Définition de la validité	45
2.4.2	Différents types de preuves de validité	47
2.4.3	Processus de la validation du contenu et de construit.....	48
2.4.3.1	Processus de la validation du contenu	48
2.4.3.2	Processus de la validation de construit	49
2.4.4	Validation d'une épreuve diagnostique cognitive	51
	CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE.....	54
3.1	Phase 1 : Développement de l'épreuve avec le panel d'experts	55
3.1.1	Choix des participants.....	55
3.1.2	Déroulement du développement de l'épreuve	56
3.1.2.1	Identification des attributs	57
3.1.2.2	Élaboration des items	58
3.1.2.3	Élaboration de la matrice Q initiale.	60
3.2	Phase 2 : Prévalidation de l'épreuve auprès des élèves	60
3.2.1	Choix des participants.....	60
3.2.2	Déroulement de la prévalidation.....	63
3.2.3	Analyse des résultats	64
3.3	Considérations éthiques	66
	CHAPITRE 4 RÉSULTATS.....	68
4.1	Résultats de la phase 1 : Développement de l'épreuve avec le panel d'experts.....	68
4.1.1	Première rencontre avec le panel d'experts.....	68
4.1.2	Consensus sur les attributs	69
4.1.2.1	Attribut (1) Tracer un DCL en fonction du système de référence fourni.....	71
4.1.2.2	Attributs (2), (4), (6) et (7) concernant la force de gravité, la force de frottement, la force normale et la force de rappel.....	73
4.1.2.3	Attribut (3) Déterminer la FR (norme et orientation).....	75
4.1.2.4	Retrait des attributs ressortis par la chercheuse en lien avec la force gravitationnelle	77
4.1.3	Attentes de la réussite de chaque attribut modifié.....	78
4.1.4	Hiérarchisation des <i>Attributs modifiés</i>	84
4.1.5	Processus d'élaboration des items	88
4.1.6	Rencontre individuelle avec les experts	89
4.1.7	Révision des items	90
4.1.7.1	Révision de la présentation et de la mise en forme des énoncés et des choix de réponses ...	91
4.1.7.2	Révision des énoncés des items en lien avec la physique mécanique	95
4.1.7.3	Révision des choix de réponses des items en lien avec la physique mécanique.....	106

4.2 Résultats de la phase 2 : Prévalidation de l'épreuve auprès des élèves.....	112
4.2.1 Validation des processus cognitifs utilisés pour chacun des items	112
4.2.2 Validation du contenu pour chacun des items	130
CHAPITRE 5 Interprétation, discussion et conclusion	133
5.1 Choix des experts et du contenu.....	134
5.2 Processus d'identification des attributs selon la méthode MACB.....	136
5.3 Processus de hiérarchisation des attributs selon la méthode MACB	138
5.4 Élaboration de l'épreuve.....	141
5.4.1 Nombre d'items	141
5.4.2 Ressources pour l'écriture des items et répartition des items entre les experts.....	143
5.5 Prévalidation du contenu.....	145
5.6 Prévalidation des attributs prévus et ceux utilisés	146
5.6.1 Prévalidation des choix de réponses et des combinaisons.....	149
5.7 Recommandations pour une prévalidation subséquente à la suite des constats et des limites.....	152
5.7.1 Recommandations d'ordre méthodologique	153
5.7.2 Recommandations concernant le domaine de la physique de 5e secondaire	158
CONCLUSION	161
ANNEXE A Lettre d'informations et formulaire de consentement pour le recrutement des experts	165
ANNEXE B Lettre d'autorisation à la direction pédagogique pour la participation des élèves de 5e secondaire	172
ANNEXE C Lettre d'autorisation à l'adjoint(e) à la direction pour la participation des élèves de 5e secondaire	174
ANNEXE D Document Rencontre 1 : Présentation du projet et préparation à la tâche individuelle d'attribution de valeur aux attributs.....	176
ANNEXE E Document de compilation des valeurs attribuées par les experts	179
ANNEXE F Rencontre 2 - Phase 1 - Hiérarchisation des attributs et élaboration des items	180
ANNEXE G Rencontre 3 - Phase 1 - Révision des items.....	185
ANNEXE H Lettre d'informations et formulaire de consentement pour la participation des élèves à la séance d'informations.....	188
ANNEXE I Document – Tâche de l'élève.....	196
ANNEXE J Validation du contenu des items	200
ANNEXE K Lettre de candidature non retenue pour les élèves participants	201

ANNEXE L Document – Tâche de l'élève202

RÉFÉRENCES230

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Synthèse du parcours de formation scientifique général optionnel et de la sélection pour l'admission au cours de physique et aux programmes postsecondaires résumée à partir du Programme de formation de l'école québécoise (MELS, 2007b, 2007c, 2007d)	5
Figure 1.2 Synthèse du parcours de formation scientifique et mathématique général obligatoire et optionnel préalable au cours de physique résumée à partir du Programme de formation de l'école québécoise (MELS, 2007b, 2007c, 2007d).....	7
Figure 2.1 Synthèse des divisions du programme de physique selon ses deux thèmes et ses quatre orientations résumée du Programme de formation de l'école québécoise (MELS, 2007d)	24
Figure 2.2 Les cinq étapes d'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive adaptées selon Lee et Sawaki (2009).	28
Figure 2.3 Exemple de matrice Q inspirée de recherches et d'études dans le domaine du diagnostic cognitif (Loye, 2008, 2009, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016).....	33
Figure 3.1 Phases et étapes du développement de l'épreuve diagnostique cognitive et de sa prévalidation	54
Figure 4.1 Représentation d'une force dans un système de référence cartésien	79
Figure 4.2 Formules pour passer de sa norme et de son orientation à ses composantes et exemple numérique:	79
Figure 4.3 - Exemple de démarche de résolution d'une question portant sur la force gravitationnelle (F_g)	80
Figure 4.4 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force de frottement à l'horizontale dans une situation d'équilibre	81
Figure 4.5 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force de frottement à la verticale dans une situation de déséquilibre	81
Figure 4.6 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force normale	82
Figure 4.7 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force de rappel à la verticale nécessitant d'autres forces.....	82
Figure 4.8 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force de rappel à l'horizontale d'autres forces.....	83
Figure 4.9 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force de rappel à l'aide de la loi de Hooke.....	83
Figure 4.10 Révision de l'énoncé de l'item 12	91

Figure 4.11 Révision de l'énoncé de l'item 13	93
Figure 4.12 Révision de la disposition des choix de réponses de l'item 4	94
Figure 4.13 Révision de la disposition des choix de réponses de l'item 14	95
Figure 4.14 Révision de l'énoncé de l'item 11 en lien avec l'utilisation d'un attribut non sollicité	97
Figure 4.15 Représentation de l'item 8 avec l'ajout de la flèche de la force de gravité lorsque la norme et l'orientation de la force de gravité étaient données dans l'énoncé.	98
Figure 4.16 Révision des choix de la valeur de la norme de la force normale à la suite de la modification de l'énoncé de l'item 11	99
Figure 4.17 Révision de l'énoncé et des choix de réponses de l'item 1 en raison de sa complexité	101
Figure 4.18 Révision de l'énoncé de l'item 12 en raison de sa complexité	102
Figure 4.19 Révision de l'énoncé de l'item 15 en raison de sa complexité	103
Figure 4.20 Révision des choix et des combinaisons des choix pour l'item 15	105
Figure 4.21 Représentation de ce qui est attendu d'un élève lors de la résolution d'un problème sur la force gravitationnelle (F_g) et les deux possibilités d'erreurs faites par les élèves selon les experts.	106
Figure 4.22 Révision du choix de réponses en lien avec l'orientation de la force gravitationnelle et la force normale pour l'item 10.....	107
Figure 4.23 Révision du choix de réponse d) de l'item 3 ayant une norme négative	109
Figure 4.24 Exemple de retrait des orientations dans la valeur des forces pour l'item 6	110
Figure 4.25 Exemple de choix de réponses variés selon la cause de la difficulté combinant la norme et l'orientation pour l'attribut 6 sur la maîtrise de la force de gravité pour l'item 4.....	111
Figure 4.26 Résolutions obtenues pour l'item 1	114
Figure 4.27 Résolution attendue pour l'item 2 et les grandes erreurs de résolution.....	115
Figure 4.28 Résolution attendue pour l'item 3 et les grandes erreurs de résolution.....	116
Figure 4.29 Résolution attendue pour l'item 4 et les grandes erreurs de résolution.....	117
Figure 4.30 Résolution attendue pour l'item 5 et les grandes erreurs de résolution.....	118
Figure 4.31 Résolution attendue pour l'item 6 et les grandes erreurs de résolution.....	119
Figure 4.32 Résolution attendue pour l'item 7	120
Figure 4.33 Résolution attendue pour l'item 8 et les grandes erreurs de résolution.....	121

Figure 4.34 Résolution attendue pour l'item 9 et les grandes erreurs de résolution.....	122
Figure 4.35 Résolution attendue pour l'item 10	123
Figure 4.36 Résolution attendue pour l'item 11 et les grandes erreurs de résolutions	124
Figure 4.37 Résolution attendue pour l'item 12 et les grandes erreurs de résolutions	125
Figure 4.38 Résolution attendue pour l'item 13 et les grandes erreurs de résolutions	126
Figure 4.39 Résolution attendue pour l'item 14 et les grandes erreurs de résolutions	127
Figure 4.40 Résolution attendue pour l'item 15 et les grandes erreurs de résolutions	128
Figure 0.1 Exemple du tableau à remplir par chacun des experts	179
Figure 0.2 Exemple du tableau de compilation des valeurs accordées par chacun expert ainsi que la moyenne des valeurs.....	179

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Le développement d'une épreuve en six étapes générales synthétisées des cadres de références (AERA <i>et al.</i> , 2014; Irwing et Hughes, 2018; Lane <i>et al.</i> , 2016)	37
Tableau 2.2 Directives synthétisées pour la rédaction des items et les choix de réponses	41
Tableau 3.1 Tableau de spécifications de l'épreuve portant sur la physique mécanique dynamique basé sur les documents de référence ministériels (MELS, 2007d, 2011a, 2011b)	56
Tableau 3.2 Répartition des items à développer avec combinaison des attributs	59
Tableau 3.3 - Matrice initiale des attributs contenus dans chacun des items élaborés par les experts	60
Tableau 4.1 Concepts prescrits, savoir-faire, <i>Attributs initiaux</i> et <i>Attributs modifiés</i> obtenus lors de la première rencontre	71
Tableau 4.2 Valeurs initiales accordées pour chacun des <i>Attributs modifiés</i> par les experts et moyenne des valeurs	85
Tableau 4.3 Valeurs finales accordées pour chacun des <i>Attributs modifiés</i> par les experts et moyenne des valeurs	88
Tableau 4.4 Répartition des items à développer avec combinaison des attributs	89
Tableau 4.5 Choix de réponses pour chacun des 15 items de l'épreuve	113
Tableau 4.6 Synthèse du taux de réussite des items des participants.....	129
Tableau 4.7 Nombre de participants ayant mentionné que la masse était en équilibre à cause de l'immobilité ou de la vitesse constante de la masse pour chacun des items.....	131
Tableau 0.1 Tableau de spécifications de l'épreuve portant sur la physique mécanique dynamique basé sur les documents de référence ministériels (MELS, 2007d, 2011a, 2011b)	177
Tableau 0.2 Tableau de spécifications de l'épreuve portant sur la physique mécanique dynamique basé sur les documents de référence ministériels (MELS, 2007d, 2011a, 2011b)	180

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ADC : Approche diagnostique cognitive

AERA : American Educational Research Association

APA : American Psychological Association

CD1 : Compétence disciplinaire 1

CD2 : Compétence disciplinaire 2

DCL : Diagramme de corps libre

GDM Québec : Groupe des didacticiens des mathématiques du Québec

IVC : Indice de validation du contenu

MACB : Multi Attribute Consensus Building

MEERS : Ministère de l'Éducation, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

MEES : Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur

MELS : Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport

MEQ : Ministère de l'Éducation du Québec

NCME : National Council on Measurement in Education

NRC : National Research Council

PFEQ : Programme de formation de l'école québécoise

SN : Sciences Naturelles

SRACQ : Service régional d'admission au collégial de Québec

SRAM : Service régional d'admission du Montréal métropolitain

ST : Sciences et technologies

STE : Sciences et technologies de l'environnement

TCT : Théorie classique des tests

TRI : Théorie de réponse à l'item

TS : Technico-sciences

RÉSUMÉ

La réussite du cours de physique de 5e secondaire est un prérequis essentiel pour de nombreux programmes postsecondaires scientifiques contingentés. Cependant, le processus d'admission basé sur les résultats scolaires des deux premières étapes de 4e secondaire ne garantit pas la maîtrise des préalables nécessaires à ce cours. Les principales difficultés rencontrées par les élèves proviennent de la difficulté à transférer les concepts prescrits ainsi que les conceptions alternatives ou spontanées lors de l'apprentissage de la physique.

L'approche diagnostique cognitive (ADC) permet d'identifier les forces et les faiblesses des apprenants concernant leurs processus cognitifs. Une évaluation en physique de 5e secondaire fondée sur cette approche pourrait aider à repérer les processus maîtrisés et ceux en difficulté, dans le but de maximiser la réussite de tous. Malgré les études portant sur des évaluations en lien avec l'ADC, elles ont généralement été élaborées à partir d'autres approches ou portent sur les domaines des langues et des mathématiques.

Dans le cadre de notre recherche, nous avons répondu à la question suivante : Quel est le processus pour élaborer une épreuve diagnostique cognitive permettant d'identifier les forces et les faiblesses des élèves suivant le cours de physique de 5^e secondaire? Notre démarche a consisté à élaborer une épreuve diagnostique cognitive portant sur la physique mécanique dynamique, conformément au programme de formation québécois. Notre cadre théorique s'appuie sur l'ADC, ainsi que sur des recherches et tests existants dans ce domaine. Pour renforcer notre méthodologie, nous nous sommes référés à trois cadres de référence en développement d'épreuves : les Standards for Educational and Psychological Testing (AERA, APA, NCME, 2014), The Wiley Handbook of Psychometric Testing (Irwing et Hughes, 2018), et le Handbook of Test Development (Lane et al., 2016). À chaque étape, nous avons détaillé le processus d'élaboration. Dans un premier temps, à l'aide d'un panel de trois experts, dont la chercheuse, nous avons identifié une liste initiale de 10 attributs en physique mécanique dynamique, puis nous avons conçu 15 items sous forme de questions à choix multiples (QCM). Ensuite, nous avons prévalidé l'épreuve auprès de 12 élèves de 5e secondaire en recueillant leurs réponses écrites et les protocoles verbaux de leurs raisonnements cognitifs.

Nos objectifs ont été atteints, car le contenu ainsi que les processus cognitifs mobilisés par les élèves pour résoudre les items ont été validés par une méthode de validation basée sur l'accumulation de preuves. Cependant, certaines limites ont été identifiées, notamment l'absence de prise en compte du concept d'équilibre dans la majorité des réponses, les difficultés rencontrées pour proposer des combinaisons de choix de réponses, ainsi que les nuances dans la compréhension de la relation entre la force normale et la force de gravité et l'orientation de cette dernière.

Cette recherche a contribué à enrichir et approfondir les connaissances dans le domaine de l'ADC ainsi que dans l'élaboration d'épreuves basées sur cette approche. En somme, il s'agit de la première épreuve conçue à des fins diagnostiques cognitives dans le domaine spécifique de la physique mécanique dynamique, conformément au programme de formation de l'école québécoise.

Mots clés : *Approche diagnostique cognitive, Évaluation, Physique, Attribut, Outil diagnostic cognitif*

CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE

1.1 Introduction

Le cheminement scolaire des élèves est relativement semblable jusqu'au deuxième cycle du secondaire (Hasni et Potvin, 2015; Langlais, 2020; Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS), 2007b). À partir de la troisième année de leur secondaire, les élèves devront réfléchir au parcours postsecondaire qu'ils désirent suivre et choisir les cours préalables à réussir pour atteindre leurs aspirations. Parmi les possibilités offertes en 4^e secondaire, deux décisions auront une plus grande influence que les autres pour leur futur : le choix de leur séquence mathématique ainsi que celui d'ajouter le parcours enrichi au programme scientifique régulier.

Ces deux choix auront un impact sur la poursuite de leurs études en dernière année au secondaire, car certaines options contingentées de 5^e secondaire, telles que le cours de physique, nécessitent la réussite de préalables précis de 4^e secondaire (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur (MEES), 2019; MELS, 2007a, 2007b, 2007c, 2007d, 2007e, 2011b). Le premier critère pour accéder au cours de physique est la réussite de la séquence mathématique *Sciences Naturelles* (SN) ou *Technico-Sciences* (TS) ainsi que du parcours enrichi de sciences en 4^e secondaire, soit la réussite du cours optionnel *Sciences et technologies de l'environnement* (STE) et du cours obligatoire *Sciences et technologies* (ST) (MEES, 2019; MELS, 2007a, 2007b, 2007c, 2007d, 2007e, 2011b). Le deuxième critère est l'excellence des résultats scolaires obtenus pour le cours de physique de 5^e secondaire à au moment de la sélection.

La réussite et le résultat final obtenu au cours de physique représentent des enjeux importants sur le cheminement scolaire postsecondaire d'un élève puisque ce cours est un préalable obligatoire pour plusieurs programmes postsecondaires (MEES, 2017b; Service régional d'admission du Montréal métropolitain (SRAM), 2020, 2021). Toutefois, le contenu des cours de sciences est construit en continuum et les lacunes accumulées au cours des années précédentes influencent les résultats scolaires obtenus et la réussite des années ultérieures (Champagne *et al.*, 2016; Chapel et Kroiss, 2020; Langlais, 2020; MEES, 2016; MELS, 2007d, 2007e, 2011b; Morissette, 2015; Potvin et Thouin, 2003; Raouf, Belazzaar, Radi, Moussetad et Talbi, 2016; Samson, 2003). Ces lacunes sont difficiles à identifier parce qu'elles se situent généralement au niveau des processus cognitifs et nécessitent d'être diagnostiquées pour pouvoir être

remédié par la suite (Bertrand et Blais, 2004; Borsboom et Mellenbergh, 2007; Chapel et Kroiss, 2020; Loye, 2008, 2009; Samson, 2003).

Ces lacunes non remédié exerceront une influence à trois moments dans le cheminement scolaire des élèves : au cours de la sélection des élèves qui accéderont au cours de physique de 5e secondaire, durant l'année scolaire pour des apprentissages qui nécessitent la maîtrise de concepts préalables précis et au moment de leur demande d'admission au niveau collégial.

En revanche, il n'existe aucune épreuve pour dépister les processus cognitifs en difficultés des élèves liées aux apprentissages préalables du cours de physique. L'approche diagnostique cognitive (ADC), dont l'intérêt se fait ressentir depuis plus de trois décennies (Nichols, 1994), pourrait être une solution à cette situation problématique. Cependant, les épreuves basées sur cette approche sont dans la majorité des cas élaborées relativement au domaine des langues ou des mathématiques, ce qui entraîne une insuffisance d'épreuves dans le domaine des sciences, plus particulièrement au Québec (Loye et Lambert-Chan, 2016). Cette recherche a pour but de documenter les démarches d'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive portant sur la physique mécanique afin d'identifier les difficultés d'apprentissage des élèves et d'y remédier avec cohérence. Afin de bien cerner le contexte et les obstacles rencontrés par les élèves, il devient essentiel d'explorer les différents aspects à considérer durant l'apprentissage de la physique dans le programme éducatif du Québec.

Ce chapitre commencera par la présentation des finalités de l'évaluation définie par la Réforme de l'éducation du Québec des années 2000, soit l'aide à l'apprentissage et la reconnaissance des acquis, ainsi que de l'incidence de la première finalité dans le processus de l'apprentissage (MELS, 2005). Par la suite, il sera question du programme d'étude pour le cours de physique de 5e secondaire, de son influence dans le cheminement scolaire postsecondaire, du processus de sélection pour être admis à ce cours optionnel et finalement, des faiblesses et impacts que ce processus engendre. Puis, nous aborderons la nature des difficultés d'apprentissages rencontrés en sciences et l'importance de les identifier pour établir l'état des lieux sur les épreuves diagnostiques existantes. Finalement, l'ADC sera brièvement abordée dans ce chapitre et une synthèse des recherches existantes basées sur cette approche sera proposée afin de démontrer un manque d'épreuves diagnostiques cognitives en science. De ce contexte spécifique découleront les objectifs et les questions de recherche. Ce chapitre se conclura sur la pertinence sociale et scientifique que cette recherche apporte.

1.2 Réforme de l'Éducation du Québec et son impact sur les finalités de l'évaluation

Au tournant des années 2000, le ministère de l'Éducation du Québec (MEQ) a mis en place sa réforme de l'éducation, nommée le Renouveau pédagogique, basée sur le développement de compétences (Ministère de l'Éducation du Québec, 2003). Depuis, l'apprentissage n'est plus vu comme une suite d'objectifs à atteindre préconisée par le programme-cadre des années 1980, mais plutôt comme le développement de compétences dans des situations complexes par la mobilisation de savoirs, savoir-faire et savoir-être (Durand et Chouinard, 2006; Fontaine, Savoie-Zajc et Cadieux, 2013). Vu le caractère évolutif des compétences, la vision de l'évaluation s'est vue transformée. Dans sa *Politique d'évaluation des apprentissages*, le MEQ (2003) définit l'évaluation comme : « le processus qui consiste à porter un jugement sur les apprentissages, à partir de données recueillies, analysées et interprétées, en vue de décisions pédagogiques et administratives » (p.29). L'évaluation doit par conséquent porter un jugement du point de vue administratif et pédagogique correspondant respectivement aux deux fonctions principales de l'évaluation : reconnaissance des acquis et aide à l'apprentissage (MEQ, 2003).

Lorsqu'une situation évaluative a comme finalité la reconnaissance des acquis, elle consiste à récolter des informations afin de prendre des décisions qui pourront influencer le parcours scolaire (De Ketele, 2010; Fontaine *et al.*, 2013; MEQ, 2003). Elle est généralement réalisée à la fin de la séquence d'apprentissage pour assurer que le niveau attendu a été atteint et peut parfois mener à une certification telle que la réussite d'une année, l'obtention du diplôme d'études secondaires, collégiales ou universitaires, etc. (Fontaine *et al.*, 2013; MEQ, 2003).

En revanche, lorsqu'une situation évaluative vise l'aide à l'apprentissage, elle a pour objectif de connaître le niveau de maîtrise des connaissances, concepts et compétence de l'élève, sa progression ainsi que de déceler ses forces et faiblesses, afin de lui apporter des mesures de remédiation appropriées en vue d'une reconnaissance des acquis (De Ketele, 2010; Fontaine *et al.*, 2013; MEQ, 2003). Une évaluation en aide à l'apprentissage peut être formative ou diagnostique. Lorsqu'elle est définie comme formative, elle se traduit par un bilan provisoire par rapport au niveau attendu (De Ketele, 2010; Fontaine *et al.*, 2013; Marcoux, Fagnant, Loye et Ndinga, 2014; MEQ, 2003). Lorsqu'elle est diagnostique, elle est réalisée au début ou en cours d'une séquence d'apprentissage dans un but de déceler les acquis des élèves maîtrisés, en voie de maîtrise ou présentant de grandes difficultés (Brienza et Mèche, 2012; Davidson, 2010; De Ketele, 2010; Lee et Sawaki, 2009; Loye, 2005; Loye et Lambert-Chan, 2016; Marcoux *et al.*, 2014; Nichols, 1994; Yang et Embretson, 2007). Cette finalité met en évidence l'importance de dépister les difficultés des

élèves au cours de leur apprentissage, car si la base de savoirs et savoir-faire nécessaires est absente ou comporte des lacunes, il est alors plus ardu pour l'apprenant d'intégrer de nouvelles connaissances ou concepts. Cette problématique est constatée chez les élèves de 5^e secondaire suivant au cours de physique, car leurs concepts prescrits s'appuient sur les acquis des cours de sciences et technologies et de mathématiques des années précédentes pour structurer et assimiler les nouvelles notions. Par conséquent, la section suivante portera sur le programme de physique, l'importance du contenu et les liens entre les apprentissages des années précédentes et ceux de la 5^e année du secondaire, le processus de sélection au cours et des faiblesses de ce processus.

1.3 Programme d'étude de physique de 5^e secondaire

À la différence d'autres disciplines qui ne requièrent pas la maîtrise nécessairement des contenus des années précédentes, le programme de physique de 5^e secondaire fait suite à la formation scientifique entamée lors des quatre années précédentes du secondaire. Son importance et son impact sur le parcours scolaire postsecondaire des élèves sont indéniables et seront élaborés dans la section qui suit.

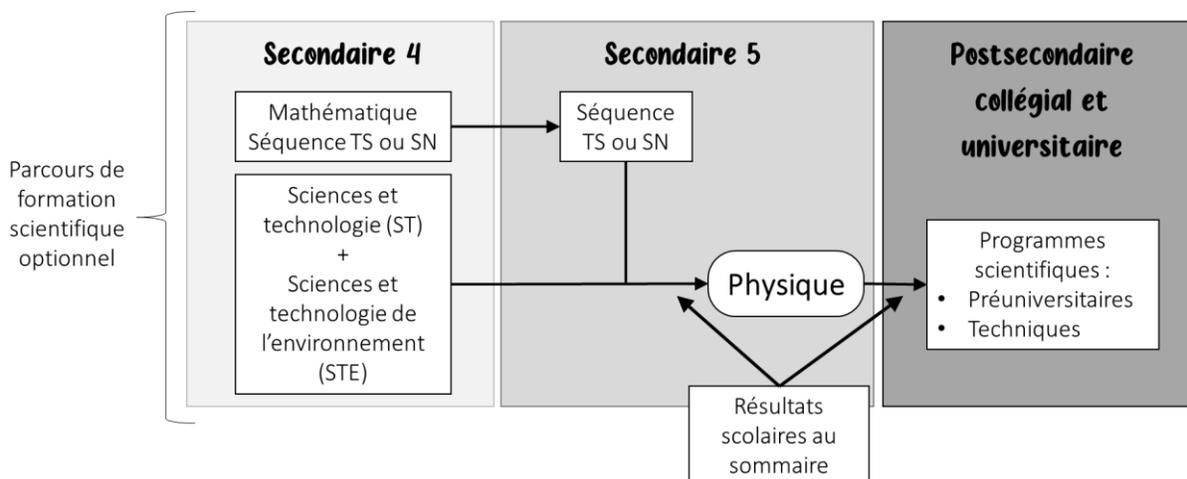
1.3.1 Importance de la réussite du cours en physique en 5^e année du secondaire

Le cours de physique s'inscrit dans la liste des cours optionnels de secondaire 5. En revanche, la décision de suivre ce cours et sa réussite peut avoir une incidence sur le cheminement scolaire des élèves, car il est prérequis pour plusieurs programmes postsecondaires (MELS, 2007c; MEES, 2017, 2020a; Ordre des conseillers et conseillères d'orientation du Québec, 2020; SRAM, 2020, 2021). Ces programmes collégiaux se divisent en deux parcours : le parcours des programmes préuniversitaires (Sciences de la Nature, Sciences informatiques et mathématiques, Sciences, lettres et arts et certains doubles DEC contenant des cours de Sciences de la nature) et le parcours des programmes techniques (la technique en denturologie, en biomédical, en physiothérapie, en génie, en avionique, etc.) (MELS, 2007c; MEES, 2017, 2020a; Ordre des conseillers et conseillères d'orientation du Québec, 2020; SRAM, 2020, 2021). Même si les places dans ses programmes collégiaux préuniversitaires sont limitées, les étudiants inscrits sont en nombre considérable. Par exemple, selon les données recueillies en août 2020 par la Fédération des cégeps du Québec, comprenant les 48 cégeps publics du Québec, 46,5% des étudiants étaient inscrits dans un programme préuniversitaire (Fédération des cégeps, 2020). Également, le programme Sciences de la Nature représentait à lui seul jusqu'à 16,1% des étudiants inscrits au niveau collégial ainsi que jusqu'à 33% des étudiants inscrits dans un programme préuniversitaire pour la région métropolitaine (Cormier et Pronovost, 2016; SRAM, 2020). Par conséquent, le nombre d'étudiants nécessitant le cours de physique

de 5e secondaire comme préalable est substantiel et tend à augmenter dans les prochaines années (Gouvernement du Québec; 2020a, 2020b; MEESR, 2020). En ce qui concerne la provenance des étudiants nouvellement inscrits au postsecondaire, le SRAM (2020) rapportait qu'environ 90% de ses étudiants venaient directement du secondaire et étaient en train de compléter leur cours de physique de 5e secondaire. Considérant le nombre important d'étudiants qui nécessitent le cours de physique de 5e secondaire pour la poursuite de leurs études postsecondaires et que la majorité des étudiants proviennent directement du secondaire, on constate l'influence non négligeable de ce cours dans leur cheminement scolaire et carrière future. Cette influence se fera ressentir à deux moments dans le cheminement scolaire postsecondaire: lors de la demande d'admission au collégial et universitaire de ces étudiants.

Le premier moment est lors de la demande d'admission au collégial dans des programmes préuniversitaires et techniques scientifiques (voir Figure 1.1). Deux conditions sont requises pour être admis : la réussite (ou en voie de réussir) des préalables requis pour les programmes tels que la réussite du cours de physique de 5e secondaire (MEES, 2021) et l'obtention de résultats scolaires suffisamment élevés pour combler les places limitées. Cette dernière condition dépend de la combinaison de la moyenne générale ainsi que des résultats scolaires obtenus pour chaque matière lors de leur 4e année du secondaire ainsi que des deux premières étapes de la 5e secondaire (Cormier et Pronovost, 2016; Gouvernement du Québec, 2020a; Service régional d'admission au collégial de Québec (SRACQ), 2021; SRAM, 2020). La réussite du cours de physique de 5^e secondaire et les résultats scolaires obtenus représentent alors un élément déterminant pour l'admission des élèves dans le programme collégial désiré.

Figure 1.1 Synthèse du parcours de formation scientifique général optionnel et de la sélection pour l'admission au cours de physique et aux programmes postsecondaires résumée à partir du Programme de formation de l'école québécoise (MELS, 2007b, 2007c, 2007d)



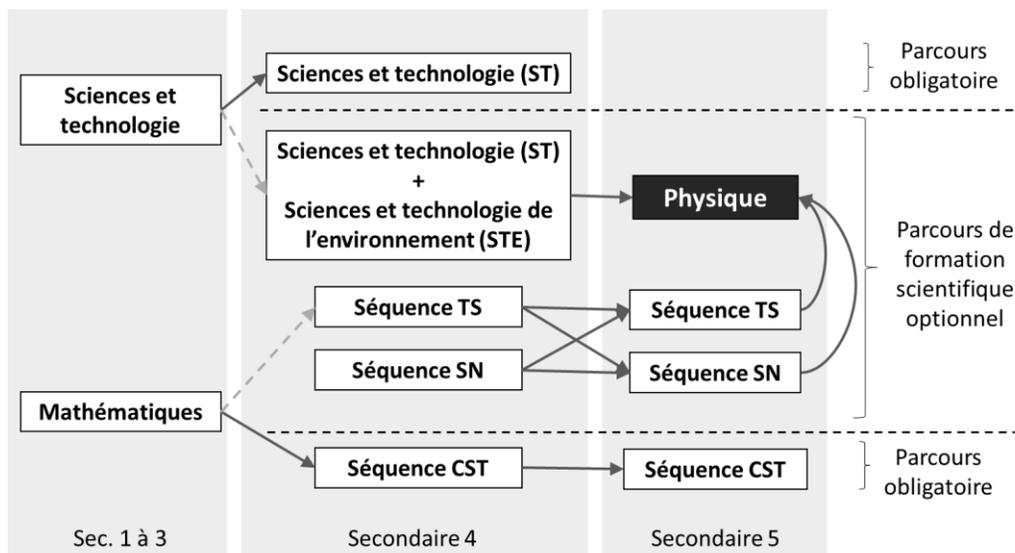
Le deuxième moment où le cours de physique de 5e secondaire exerce une influence est lors de la demande d'admission des élèves dans un programme universitaire (voir Figure 1.1). Les programmes postsecondaires scientifiques ont comme prérequis le cours ST et STE de 4^e secondaire et le cours de physique de 5^e secondaire (MEES, 2017). Les acquis de ces cours sont la base des concepts et des notions vus dans les trois cours de physique collégiaux que les étudiants doivent réussir dans leur cursus scolaire (MEES, 2017). En conséquence, un excellent résultat final pour le cours de physique de 5e secondaire leur permettra d'avoir les connaissances et compétences de bases solides sur lesquelles viendront s'ajouter celles vues lors de leur programme au collégial (MELS, 2011b). Enfin, la réussite de ses cours et le résultat final obtenu pourront influencer, à long terme, leur demande d'admission à l'université.

En résumé, la réussite ou l'échec du cours de physique et les difficultés accumulées peuvent avoir un impact considérable sur un groupe substantiel d'étudiants, que ce soit à court terme lors de leur demande d'admission collégiale ou, à long terme, sur leur demande d'admission universitaire. Considérant l'importance du cours, il est intéressant de connaître le processus d'admission pour suivre ce cours de 5e secondaire.

1.3.2 Processus de sélection pour le cours de physique de 5e secondaire

Pour être admis dans le cours de physique de 5e secondaire, les élèves doivent réussir trois cours : le cours de mathématique de 4e secondaire, séquence SN ou TS, le cours obligatoire de sciences ST et le cours optionnel de sciences STE (voir Figure 1.2). Par la suite, le rendement scolaire est considéré pour déterminer les élèves qui seront acceptés. Ce processus de sélection basé sur la réussite de ces cours pose cependant deux grands problèmes en ce qui concerne la garantie de maîtrise des préalables au cours de physique : les préalables mathématiques inégaux dépendamment de la séquence mathématique de 4^e et de 5^e secondaire et l'absence d'attestation de la maîtrise des apprentissages antérieurs spécifiques au cours de physique.

Figure 1.2 Synthèse du parcours de formation scientifique et mathématique général obligatoire et optionnel préalable au cours de physique résumée à partir du Programme de formation de l'école québécoise (MELS, 2007b, 2007c, 2007d)



Tout d'abord, le cours préalable de mathématiques de 4^e secondaire (SN ou TS) porte sur des notions qui sont la base mathématique de la physique de 5^e secondaire tel que l'étude d'une quadratique (De Ketele, 2010; Marcoux *et al.*, 2014; MELS, 2007e; MEQ, 2003; Roegiers, 2004). Bien qu'une certaine partie de leur programme scolaire respectif soit semblable et qu'à la fin de leur secondaire, ces deux séquences seront équivalentes, plusieurs notions ne sont pas vues au même moment (MELS, 2007e). Ainsi, des notions traitées dans la séquence mathématique SN de 4^e secondaire sont étudiées en 5^e secondaire dans la séquence mathématique TS (MEES, 2016). Cette différence dans les programmes pose un problème de taille en ce qui concerne l'équité lorsque vient le temps d'évaluer les élèves de physique vu que certains d'entre eux auront les prérequis mathématiques contrairement à d'autres dépendamment de leur séquence mathématique (MEES, 2016; MELS, 2007e).

Par la suite, pour ce qui est des cours de sciences de 4^e secondaire (ST et STE), ils s'inscrivent dans un continuum de notions scientifiques entamé dès l'entrée au secondaire dans l'intention de créer une base solide de connaissances et de concepts pour les apprentissages des années suivantes (MELS, 2007d). Le cours obligatoire ST de 4^e secondaire constitue le dernier cours de sciences obligatoire du secondaire et de ce fait, l'obtention du diplôme d'études secondaires dépend de la réussite de ce cours (Marcoux *et al.*, 2014; MEQ, 2003; Roegiers, 2004). Le cours optionnel STE de 4^e secondaire est un cours complémentaire au cours ST permettant de consacrer plus d'heures à la science et à la technologie dans le but

d'approfondir considérablement les notions de base pour les cours optionnels de physique et de chimie de 5e secondaire (MELS, 2011b). En revanche, la réussite de ces cours n'est pas garante de la maîtrise des prérequis pour le cours de physique étant donné que seulement une portion des concepts prescrits en ST et STE seront utilisés l'année suivante. De ce fait, les élèves peuvent réussir les cours ST et STE même s'ils ne possèdent pas les préalables pour le cours de physique vu que la maîtrise des concepts non nécessaires peut venir balancer le résultat final en 4^e secondaire. Une vérification adéquate du portrait des élèves par rapport à la maîtrise des notions, habiletés et processus essentiels est primordiale en début d'année par souci de mettre en place le plus tôt possible des mesures de remédiation.

Nonobstant la réussite de ces préalables, c'est aussi le rendement à ces trois cours (mathématiques SN ou TS, le cours ST et le cours STE) qui est pris en compte considérant que le nombre de places est généralement limité et qu'un certain niveau minimal de compréhension est nécessaire (Langlais, 2020; Roegiers, 2004; Samson, 2003). Même si aucune base uniforme de sélection n'existe entre les différents établissements scolaires, le rendement est généralement établi par les évaluations sommatives réalisées durant les deux premières étapes de la 4^e année du secondaire et parfois, ceux de la troisième étape incluant les résultats aux épreuves uniques. Cependant, des faiblesses majeures dans le processus de sélection surviennent lorsque les élèves sont choisis par leurs résultats et elles seront abordées dans la section suivante (Durand et Chouinard, 2006; Laurier, Tousignant et Morissette, 2005; Marcoux *et al.*, 2014; MEQ, 2003; Roegiers, 2004).

1.3.3 Faiblesses du processus de sélection pour le cours de physique basé sur les résultats scolaires

Le processus d'admission en physique de 5e secondaire est généralement basé sur le rendement scolaire des élèves (Langlais, 2020; Roegiers, 2004; Samson, 2003). Cela engendre deux faiblesses : l'évaluation des préalables basés davantage sur des connaissances et l'évaluation d'apprentissages non essentiels au cours de physique.

Premièrement, les résultats finaux aux cours de mathématiques et de sciences et technologies dépendent en partie de l'école et ainsi que du MEES. Ce partage des responsabilités permet d'assurer que globalement, l'élève maîtrise les acquis prescrits dans le cours et de le certifier du point de vue de la société (Durand et Chouinard, 2006; Fontaine *et al.*, 2013; MEES, 2020a). Pourtant, même si les épreuves uniques ministérielles de mathématiques et de sciences et technologies représentent un condensé des apprentissages faits durant l'année scolaire, ils ne sont aucunement une garantie de la maîtrise des

préalables pour le cours de physique de 5e secondaire. Étant à grande échelle, leur contenu est généralement sur des savoir-faire automatisables inédits, mais simples en ce qui concerne la résolution et, par conséquent, simple du point de vue cognitif (Durand et Chouinard, 2006; MEES, 2019; 2020a). Selon le document d'information de l'épreuve unique ministérielle de sciences ST de 4e secondaire, 60% de l'examen porte sur la maîtrise de connaissances reliées aux concepts prescrits (MEES, 2020a). Comme le mentionnent plusieurs auteurs, une évaluation permettant de certifier la maîtrise de compétences et des notions qui y sont reliées devrait inclure des questions dont le niveau cognitif évolue progressivement vers un niveau complexe (Durand et Chouinard, 2006; Fontaine *et al.*, 2013). On pense par exemple à des questions qui nécessitent un raisonnement et une réponse avec développement. Ce ne sont donc pas des compétences avec un niveau cognitif élevé qui sont finalement évaluées dans les épreuves uniques ministérielles, ce qui ne permet pas d'attester la maîtrise des compétences préalables au cours de physique de 5e secondaire (Rey, 2016).

Deuxièmement, les résultats finaux évaluent la maîtrise des notions et concepts de l'année entière et peuvent inclure des notions qui ne sont pas essentielles à la physique (MEES, 2019, 2020a; MELS, 2007b, 2007c, 2007d, 2011b). Par exemple, le programme du cours STE comporte une partie importante sur la structure de la matière (neutrons, modèles atomiques, ions polyatomiques, notions de moles) alors que le programme ST comporte une partie importante sur l'électricité et le magnétisme (MELS, 2007b, 2007c, 2007d). Toutes ces notions influencent les résultats finaux, mais ne sont pas considérées comme des préalables au cours de physique (MEES, 2020a). Par conséquent, bien que les cours préalables soient pertinents pour le cours de physique, il convient néanmoins de constater qu'ils ne sont aucunement garants de la maîtrise de processus cognitifs complexes nécessaire au cours optionnel de secondaire 5.

Ces deux faiblesses vis-à-vis du processus de sélection par résultat scolaire ne permettent pas d'assurer la maîtrise des apprentissages à la fin de la 4e année du secondaire qui seront essentiels pour leur cours de physique (Polo Riveros, 2010). Les lacunes des élèves en ce qui concerne les notions préalables ne sont alors pas identifiées et s'amplifieront au courant de l'année scolaire à venir pouvant, comme nous l'avons vu précédemment, influencer leur demande d'admission collégiale et universitaire (Cormier et Pronovost, 2016; SRACQ, 2021; SRAM, 2020).

1.4 Diagnostic des difficultés en sciences et en physique pour des élèves du secondaire

Afin de minimiser l'impact du processus de sélection pour le cours de physique de 5^e secondaire sur le cheminement scolaire des élèves ainsi que l'accumulation des lacunes, il est primordial d'identifier les sources des difficultés des élèves avant ou pendant la séquence d'apprentissage. Dans le domaine des sciences, elles proviennent principalement de la résistance à modifier les conceptions spontanées ou alternatives ainsi que de la complexité à transférer les apprentissages faits préalablement. La section suivante abordera ces deux sources de difficultés et proposera une recension des épreuves utilisées pour identifier ses obstacles.

1.4.1 Conceptions spontanées ou alternatives lors de l'apprentissage de la science

L'apprentissage des sciences et de la technologie, dont la physique est comprise, se heurte à une première grande difficulté que sont les conceptions spontanées ou alternatives. Cet aspect a pris une si grande importance depuis les années 1980 qu'elle est désormais un sujet d'étude incontournable en recherche sur l'enseignement des sciences (Rai et Kumar, 2019; Taber, 2013). Une conception spontanée ou alternative peut être définie comme une idée sur un concept spécifique dont le raisonnement est erroné (National Research Council (NRC), 1997; Potvin et Thouin, 2003; Rai et Kumar, 2019). Ces conceptions prennent racine dès le plus jeune âge, car les élèves voient constamment autour d'eux des phénomènes scientifiques et n'ayant pas de réponse immédiate à leur questionnement, leur cerveau aura tendance à créer une raison logique derrière le phénomène observé (NRC, 1997; Potvin et Thouin, 2003; Taber, 2013). Si cette conception est fautive ou incomplète, elle sera identifiée comme conception alternative ou spontanée (Rai et Kumar, 2019; Taber, 2013). Par exemple, une conception alternative fréquente en physique mécanique concerne la première loi de Newton, soit le principe de l'inertie. Cette conception erronée se base sur l'observation des objets en mouvement sur Terre et consiste à ce qu'un objet doit avoir une force constante pour pouvoir continuer à être en mouvement. En réalité, dès qu'un objet est mis en mouvement par une force, il le restera tant et aussi longtemps qu'aucune autre force ne vient contrer le mouvement. Ainsi, lorsqu'un objet glisse sur le sol après avoir été poussé, il s'arrête non pas parce que la force de poussée n'est plus exercée sur lui, mais vu qu'une force de frottement vient le ralentir. En revanche, la force de frottement étant invisible à l'œil nu, la première idée spontanée d'un étudiant sera que l'objet ralentit, car la force de poussée n'est plus exercée sur lui.

Ce phénomène touche les élèves de tout niveau scolaire, car ces conceptions resteront tant et aussi longtemps que le phénomène ne leur sera pas expliqué (Rai et Kumar, 2019; Taber, 2013). Il a même été

démontré qu'elles sont persistantes et pourront remplacer l'explication scientifique apprise si cette dernière n'est plus sollicitée par la suite, car à leurs yeux, cette conception alternative est pour eux logique (NRC, 1997; Taber, 2013). Potvin et Thouin (2003), dans leur étude portant sur l'évolution des conceptions d'élèves québécois au secondaire, mentionnent que la formation d'un enseignant nécessite de considérer les conceptions des élèves lors de l'apprentissage de nouvelles notions. Au début d'une nouvelle séquence d'apprentissage, il est nécessaire de comprendre et d'identifier les conceptions spontanées ou alternatives afin d'y remédier avant de nouveaux apprentissages (NRC, 1997; Rai et Kumar, 2019; Taber, 2013), car celles-ci pourront par la suite être transférées et nuire aux futurs apprentissages. Ces transferts seront abordés dans la section suivante.

1.4.2 Transfert des apprentissages scientifiques et mathématiques lors de l'apprentissage de la physique

À l'instar de la formation scientifique au secondaire, chacune des notions abordées dans le programme de physique constitue un continuum : les notions apprises précédemment sont la base du chapitre suivant (MELS, 2007d, 2011a, 2011b). De plus, les liens qui unissent la science et la technologie et les mathématiques sont depuis plusieurs décennies prouvées, ce qui explique le regroupement des mathématiques et des sciences et technologies sous un même domaine d'apprentissage lors de la *Réforme pédagogique* des années 2000 (MELS, 2005; MEQ, 2006; NRC, 1997; Potvin, Riopel et Masson, 2007; Rai et Kumar, 2019; Taber, 2013). Les élèves doivent alors faire ce qu'on appelle un transfert des apprentissages : une réutilisation de concepts et d'apprentissages dans des contextes similaires (Chapel et Kroiss, 2020; Groupe des didacticiens des mathématiques du Québec (GDM Québec) 2008; Raouf *et al.*, 2016). Ces transferts peuvent se faire dans une même matière ou être pluridisciplinaires, tel qu'entre les mathématiques et la science, tant horizontaux, soit dans la même année scolaire, ou verticaux, soit entre deux années scolaires différentes (Chapel et Kroiss, 2020; GDM Québec, 2008; Péladeau, Forget, Gagné, 2005; Raouf *et al.*, 2016). Lors du cours de physique de 5^e secondaire, les élèves réutiliseront ce qu'ils ont vu lors des années précédentes en sciences et en mathématique ainsi que les apprentissages faits précédemment lors de leur année en cours en physique (Péladeau *et al.*, 2005; Samson, 2003).

Cette difficulté à faire les transferts nécessaires vient généralement de leur raisonnement cognitif. Cela influence leur reconnaissance de situations semblables (Raouf *et al.*, 2016), d'aspects mathématiques dans un problème de physique (Chapel et Kroiss, 2020; Raouf *et al.*, 2016) et l'utilisation des lois, règles et langage symbolique à appliquer (Polo Riveros, 2010). La modélisation d'un phénomène observé à l'aide

de notions de scientifique peut aussi être affectée même si les notions mathématiques sont maîtrisées (Chapel et Kroiss, 2020). Finalement, les obstacles en ce qui concerne leur raisonnement cognitif peuvent fragiliser leur assimilation et leur maîtrise des apprentissages d'un niveau cognitif plus complexe tels que le raisonnement logico-mathématique qui consiste à être l'un des plus difficiles à comprendre (Kamii, 1996; Polo Riveros, 2010; Samson, 2003).

Selon leur nature, les difficultés résultent de différents processus cognitifs non maîtrisés et les méthodes de remédiation à mettre en place sont par conséquent différentes. L'identification au préalable des processus cognitifs en cause est nécessaire pour favoriser la réussite de tous, principalement pour le domaine de la Mécanique qui est le thème du cours de physique ayant le plus d'influence sur les résultats obtenus.

Les recherches démontrent que le cours de physique est considéré comme difficile par les élèves (Chapel et Kroiss, 2020) et qu'une perte de facilité en science se fait ressentir dès la fin du primaire (Hasni et Potvin, 2015). Sans identifications des difficultés et sans mise en place de mesures d'aide appropriées, les lacunes ne font que s'accumuler au courant des années (Cormier et Pronovost, 2016; Hasni et Potvin, 2015; Truchon, 1999) provoquant de plus en plus de difficultés à maîtriser de nouveaux apprentissages et à développer leurs compétences disciplinaires (MELS, 2007d, 2011b). Considérant le contenu du programme d'études de physique et que ses difficultés se situent fondamentalement au niveau cognitif lors de la résolution de problème, il est crucial de mettre en place des outils et moyens permettant de déceler les forces et faiblesses dans les processus de raisonnement cognitifs. Ces mesures d'aide devront être déployées avant l'évaluation finale afin d'aider l'élève dans le développement de son apprentissage, soit l'une des deux finalités de l'évaluation mise en avant-scène avec le Renouveau pédagogique établi au début années 2000 (MEQ, 2003). Cependant, malgré la nécessité d'identifier les forces et faiblesses, peu d'épreuves ont été développées à visées diagnostiques.

1.4.3 États des lieux des épreuves utilisées à visée diagnostique en sciences

Le programme de physique de 5^e secondaire se base sur le développement de deux compétences disciplinaires qui sont la continuité de celles en sciences et technologies des années précédentes : *Chercher des réponses ou des solutions à des problèmes relevant de la physique (CD1)* et *Mettre à profit ses connaissances en physique (CD2)* (MELS, 2007d). La deuxième compétence est celle dont la pondération au bulletin est la plus grande soit équivalant à 60% du résultat scolaire en physique

de 5e secondaire et est souvent reliée au volet théorique du cours (MELS, 2011a, 2011b). Elle est généralement évaluée en classe, tout au long de l'année par la résolution de problèmes dans un examen à l'aide d'un raisonnement écrit, tel qu'un texte, ou mathématique, telle qu'une résolution algébrique.

Les évaluations sont généralement créées par les enseignants ou les établissements scolaires selon la planification annuelle établie en début d'année. En revanche, chaque maison d'édition propose dans le guide de l'enseignant un document pouvant servir d'évaluation de la compétence à chaque chapitre (Champagne *et al*, 2016; Morissette, 2015). Les évaluations peuvent aussi être une combinaison de problèmes créés par les enseignants et ceux des maisons d'édition. Le choix reste à la discrétion de l'équipe enseignante et de l'équipe-école selon son jugement professionnel (MEQ, 2003).

Le format des évaluations est généralement semblable : il s'agit d'une suite de questions, allant d'un niveau cognitif simple à complexe, dont la majorité porte sur une résolution de problèmes où les élèves doivent mettre en applications leurs connaissances, notions, concepts et lois appris. Par exemple, l'évaluation pourrait commencer par des questions à choix multiples, suivies de questions à réponses courtes et finirait par des questions nécessitant une réponse à développement. C'est sur les questions à développement que le niveau cognitif est le plus complexe, car il nécessite une étape de compréhension en ce qui concerne la physique, ses lois et ses concepts, puis deuxièmement, une étape de résolution mathématique appliquant les concepts (Samson, 2003). Les mathématiques sont alors un aspect très important en physique, car les étapes de modélisation d'une situation en sciences passent par des étapes mathématiques (Chapel et Kroiss, 2020; MELS, 2007d; NRC, 1997; Rai et Kumar, 2019; Samson, 2003; Taber, 2013). Nous pensons alors à des résolutions algorithmiques, à une suite de procédures algébriques, à l'utilisation d'un système de représentation tel que le plan cartésien, etc. (Polo Riveros, 2010). Il ne s'agit donc pas d'accumuler des notions et des savoirs qui seront retranscrits tels quels (Polo Riveros, 2010), mais de les relier à des savoir-faire, à des habiletés et à des stratégies. C'est finalement par leur raisonnement fait qu'il sera possible de déduire la maîtrise ou non leur compétence et la nature des difficultés rencontrées.

Pourtant, en ayant un temps limité pour faire l'examen, généralement restreint en une période de cours (50 à 75 minutes), il est très ardu d'inclure dans une épreuve plusieurs questions sur une même notion tout en évaluant l'ensemble des concepts de la séquence d'apprentissage. Les examens sont alors généralement construits de telle sorte que chaque question reprend une ou quelques notions qui ne

seront évaluées qu'une ou deux fois chacune lors de l'épreuve. Rey (2016) ainsi que Yang et Embretson (2007) affirment que la validation de la maîtrise d'une compétence se fait par l'accumulation de ses réalisations. La maîtrise ou non avec certitude des concepts et des liens les unissant est par conséquent laborieuse vu que le constat ne repose que sur un nombre limité de questions. L'identification de la nature de la difficulté devient alors ardue compte tenu de la multitude d'obstacles possibles à savoir entre autres le manque de temps, les notions et concepts non acquis, l'incompréhension de la question ou de la méthode de résolution mathématique à appliquer, et ce, parfois malgré la maîtrise des concepts. De ce fait, le diagnostic des sources de difficultés rencontrées par les élèves reliées à leurs processus cognitifs dans la résolution de problème en physique est insuffisant pour mettre en place une remédiation de ces difficultés.

Considérant l'enjeu du cours de physique dans le cheminement scolaire, l'importance de remédier aux lacunes avant l'assimilation de nouveaux apprentissages, la nature des difficultés rencontrées en physique de 5^e secondaire et le manque d'épreuves permettant de répondre à la demande des intervenants en éducation, l'élaboration d'une épreuve répondant à ces besoins s'impose. Pour qu'un tel outil soit pertinent pour les enseignants, élèves et intervenants, il doit être simple d'utilisation, d'une durée raisonnable et permettant une correction objective et rapide, et doit permettre l'identification de forces et de difficultés significatives pour la réussite du cours de physique.

1.5 Approche diagnostique cognitive (ADC) et les épreuves développées sous la lumière de cette approche

L'évaluation diagnostique dans le domaine de l'éducation est originaire des travaux de Bloom *et al.* au début des années 70 (Marcoux *et al.*, 2014). Selon Legendre (2001), « [l'évaluation diagnostique] sert à préciser un état, une situation » (p.397). Cependant, la nature des difficultés rencontrées par les élèves est variée, telle que des troubles d'apprentissage, des facteurs environnementaux, des facteurs familiaux, des difficultés non remédié ou peuvent tout simplement venir d'un manque de temps investi par l'élève lors de l'apprentissage. Pour assurer la mise en place de moyens et d'outils de remédiation efficaces, les sources de ces difficultés doivent être identifiées (De Ketele, 2010; Huff et Goodman, 2007; Leighton et Gierl, 2007; Loye, 2009; Ministère de l'Éducation de l'Ontario, 2013). Parmi celles qui influencent les apprentissages des élèves, on retrouve les difficultés reliées aux processus cognitifs.

Un processus cognitif est défini comme un savoir ou savoir-faire (Loye, 2008), comme une stratégie ou une technique (Nichols, 1994) ou encore comme une aptitude ou une habileté permettant de répondre

une tâche (Durand et Chouinard, 2006; Rey, 2016). Étant invisible à l'œil nu, un processus cognitif ne peut pas être évalué directement : ce sont ses conséquences ou démonstrations qui permettent de valider la maîtrise ou non des processus cognitifs demandés (Borsboom et Mellenbergh, 2007). L'évaluation diagnostique ayant pour but de détecter ces processus cognitifs peut se baser sur différentes approches dont l'ADC qui sera explorée dans la prochaine section.

1.5.1 Approche diagnostique cognitive (ADC)

L'approche diagnostique cognitive a pour but de détecter les forces et faiblesses au niveau des processus mentaux (Lee et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Loye, 2005; Loye et Lambert-Chan, 2016; Marcoux *et al.*, 2014; Ministère de l'Éducation de l'Ontario, 2013; Rey, 2016; Tjoe et de la Torre, 2013; Yang et Embretson, 2007). Elle est la combinaison de la science cognitive et de la psychométrie (Lee et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Loye, 2008; Loye et Lambert-Chan, 2016; Nichols, 1994) ce qui la caractérise comme une approche mixte. Elle est quantitative par la psychométrie, car elle peut prédire la probabilité qu'un processus cognitif soit maîtrisé ou non (Loye, 2005, 2008). Elle est aussi qualitative par la science cognitive, car elle porte sur des variables invisibles que sont les processus cognitifs (Loye, 2005, 2008; Chipman, Nichols et Brennan, 1995).

L'approche diagnostique cognitive a connu un vif intérêt dès la fin des années 2000 en Europe ainsi qu'aux États-Unis et la méthode d'élaboration d'une épreuve basée sur cette approche s'est développée au fur et à mesure des recherches dans ce domaine (Loye, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016). Le diagnostic peut être réalisé selon la méthode inductive ou déductive. Dans le premier cas, les recherches se basent sur des épreuves existantes élaborées à partir de méthodes diverses (Huff et Goodman, 2007; Lee et Sawaki, 2009; Loye, 2005, 2008, 2009, 2010). Elles n'ont donc pas été créées au départ dans une optique de diagnostic cognitif. En revanche, l'analyse des données permet d'aller plus loin dans le résultat global en identifiant les attributs nécessaires pour répondre aux items. Un attribut consiste en une habileté, une stratégie ou un processus cognitif qui est essentiel de maîtriser pour répondre à un item donné (Embretson, 1998; Lee et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Loye et Lambert-Chan, 2016; Nichols, 1994; Turcotte et Talbot, 2017; Yang et Embretson, 2007). Lorsque les attributs sont identifiés pour chaque item, il est alors possible de ressortir les attributs maîtrisés ou non à l'aide de la résolution des participants et par le fait même, leurs forces et faiblesses. Pourtant, le diagnostic ressorti selon cette méthode peut porter sur des attributs non recherchés par les intervenants, tels que les enseignants, ce qui rend le pouvoir diagnostique de

l'épreuve peu pertinent et/ou significatif. L'identification des difficultés devient plus ardue, ce qui diminue l'impact d'une remédiation en lien avec le diagnostic ressorti.

Dans la méthode déductive, les chercheurs élaborent une nouvelle épreuve en se basant sur des modèles cognitifs (Lee et Sawaki, 2009; Loye, 2005, 2008, 2009, 2010). Quoique plus longue que la méthode inductive, cette méthode permet de baser le développement de l'épreuve sur attributs recherchés dès le départ en identifiant ceux qui sont le plus déterminants et puis en développement des items en lien avec ces attributs. C'est ce que Tjoe et de la Torre (2013) et Loye et Lambert-Chan (2016) exposent dans leur étude en présentant une évaluation diagnostique cognitive en mathématiques élaborées à partir de la méthode déductive. Les recherches basées sur cette méthode sont cependant peu nombreuses et les connaissances reliées au développement d'épreuves diagnostiques cognitives selon cette méthode sont insuffisantes (Loye, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016; Polo Riveros, 2010; Turcotte et Talbot, 2017). La prochaine section exposera la synthèse des recherches reliée à l'ADC afin de justifier le manque d'épreuves basées sur cette approche.

1.5.2 Synthèse des recherches réalisées avec l'approche diagnostique cognitive

Malgré le développement de l'intérêt des chercheurs pour l'ADC au fil des ans (Nichols, 1994; Yang et Embretson, 2007), et ce, pour tous les niveaux du système éducatif (Loye et Lambert-Chan, 2016), les recherches dans ce champ sont encore peu nombreuses (Loye, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016; Polo Riveros, 2010; Turcotte et Talbot, 2017). Celles qui existent sont insuffisantes ou présentent des faiblesses significatives. Le diagnostic ressorti est généralement trop complexe ou trop long à comprendre par les élèves ainsi que pour les intervenants scolaires et les résultats qui en découlent sont peu utilisables dans la vie pratique des enseignants (Brienza et Mèche, 2012; Chenevotot-Quentin, Grugeon-Allys, Pilet et Delozanne, 2012; Davidson, 2010; Delozanne, Prévité, Grugeon, Chenevotot, 2010; Huff et Goodman, 2007; Loye, 2008, 2010; Nichols, 1994; Yang et Embretson, 2007). De plus, lorsque le diagnostic est réalisé par la méthode inductive, les données ressorties portent sur des études simulées et non réelles (Loye et Lambert-Chan, 2016) ne suivant pas nécessairement les concepts voulus et prescrits. Pareillement, la méthode inductive implique généralement peu dans la démarche les apprenants alors que ce sont leurs processus qui sont évalués (Lee et Sawaki, 2009).

Afin d'élaborer une épreuve permettant de diagnostiquer les difficultés cognitives rencontrées par les élèves en cohérence avec le programme éducatif et d'être utile tant pour les élèves que les enseignants,

il est nécessaire de suivre le programme de formation ainsi que d'intégrer les élèves dans la réalisation du diagnostic. De ce fait, la méthode déductive est à privilégier afin de pouvoir identifier les attributs en lien avec les notions ciblées dès le départ et de construire des items à l'aide de l'implication des élèves qui pourront participer à la validation des attributs identifiés.

1.5.3 Manque d'épreuves diagnostiques cognitives en sciences et en physique

Les épreuves diagnostiques cognitives existantes se concentrent en premier lieu dans le domaine des langues (Polo Riveros, 2010; Turcotte et Talbot, 2017) et, en deuxième rang, en mathématiques (Loye et Lambert-Chan, 2016; Tjoe et de la Torre, 2013). Celles élaborées dans le domaine des mathématiques peuvent grandement servir lors du développement d'épreuve dans le domaine des sciences et technologie vu que ses deux champs d'apprentissages sont interreliés, contrairement au domaine des langues qui comporte des disparités considérables par rapport à la science. En revanche, les épreuves élaborées dans le domaine des langues peuvent fournir des indications dans les étapes du développement d'une épreuve dite diagnostique cognitive.

Tjoe et de la Torre (2013) ont élaboré leur épreuve diagnostique cognitive portant sur la multiplication croisée et le raisonnement proportionnel. À l'aide de la méthode déductive, ils ont développé leurs items selon les difficultés conceptuelles et théoriques pour une clientèle d'élèves allant de 11 à 18 ans. Le développement de ces items s'est déroulé en trois étapes: la création des items, sélections des items et révision des items retenus et de leurs choix multiples. Premièrement, quatre chercheurs et professeurs de mathématiques ont créé individuellement des items en se basant sur les difficultés que leurs élèves rencontraient obtenant ainsi 25 items. Deuxièmement, deux chercheurs ont identifié 13 items parmi ceux créés et les ont soumis à 19 étudiants. Pour s'assurer que les processus cognitifs utilisés pour répondre aux items étaient bel et bien ceux attendus par les chercheurs, le protocole verbal sur le raisonnement cognitif des participants a été enregistré. Troisièmement, six chercheurs et professeurs de mathématiques ont révisé les items afin d'assurer la cohérence avec les solutions des élèves observées lors de la prévalidation ainsi que les difficultés rencontrées pour confirmer les leurs dans les choix de réponses. Bien que les items étaient à réponses choisies, une résolution écrite était nécessaire afin d'obtenir davantage d'informations sur les processus utilisés en plus des protocoles verbaux. L'étude démontre l'importance qu'une évaluation diagnostique cognitive dans l'identification des forces et des faiblesses des élèves. Étant basée sur des processus ciblés au départ, l'épreuve met de l'avant l'avantage d'utiliser la méthode déductive lors de la réalisation du diagnostic. De plus, l'utilisation à des choix multiples en lien

avec les principales difficultés facilite la mise en application de l'épreuve et le diagnostic des problématiques rencontrées par les élèves. Finalement, la combinaison des protocoles verbaux avec une résolution écrite a permis de confirmer ou d'infirmer le recours aux processus cognitifs prévus.

Loye et Lambert-Chan (2016) abordent leur élaboration préliminaire en trois phases d'une épreuve diagnostique cognitive en mathématiques en contexte québécois. Ils ont choisi comme population les nouveaux étudiants à la formation professionnelle dans le domaine de la construction. Lors de la première phase, une enseignante de mathématiques a créé 9 items en plus d'identifier les attributs essentiels pour répondre correctement à ces items. Deux étudiants de niveau collégial ont par la suite révisé les 8 items retenus par les chercheuses. La prévalidation de ces items s'est réalisée à l'aide de 13 élèves sur une durée de 2 heures durant lesquelles les participants devaient résoudre les items tout en exprimant leur raisonnement à haute voix. Des cartes conceptuelles ont été réalisées à l'aide des résolutions manuscrites et des protocoles verbaux pour chacun des participants. Lors de la deuxième phase, deux didacticiennes ont composé 25 nouveaux items à partir de la liste d'attributs élaborée durant la phase 1 ainsi qu'à l'aide des cartes conceptuelles. De ces items, 6 ont été retenus et combinés à 6 items de la phase 1 pour obtenir 12 items dont 11 items à choix multiples comprenant 4 à 6 options et 1 item à réponse courte afin d'obtenir une correction rapide et objective. Un total de 14 attributs étaient inclus dans les 12 items et devaient être résolus pour une durée de 1h à 1h30. La résolution manuscrite et les protocoles verbaux des résolutions ont été obtenus à la suite de la passation de 25 élèves dans le but de créer des cartes conceptuelles des résolutions. Lors de la troisième phase, en se basant sur la liste d'attributs ressortis de la phase 1, deux enseignants de mathématiques ont créé 10 nouveaux items qui ont été combinés à 10 items de la phase 2. À la suite de la recherche, les chercheuses ont suggéré quelques recommandations par rapport à l'identification des attributs, des items et le choix des experts. En ce qui concerne les attributs et les items, chacun des items devrait contenir entre 1 et 6 attributs et que chaque attribut devrait être inclus à l'intérieur de 3 à 12 items. Elles ont aussi constaté que pour faciliter le diagnostic, chacun des attributs devrait être le seul dans au moins un item si la durée de passation le permettait ou qu'une grande variation des combinaisons des attributs devrait être privilégiée. De plus, lorsque le contenu est identifié et qu'une liste d'attributs est fournie, il est plus facile pour les experts de créer les items. En ce qui concerne les experts, il est préférable de recourir à des experts du contenu et du domaine pour déterminer les attributs à diagnostiquer ainsi que pour élaborer des items plausibles et réalistes.

De ce fait, le domaine des sciences et de la technologie n'est pratiquement pas exploré et plus particulièrement en physique. Il convient tout de même de souligner une première expérimentation d'épreuve diagnostique cognitive en sciences présentée lors du 79e congrès de l'Acfas en 2011 (Loye et Laveault, 2011). Ces deux auteurs ont présenté les résultats préliminaires de la modélisation du raisonnement scientifique des élèves réalisant une expérimentation en sciences et technologies pour des élèves du premier cycle. Cette expérimentation avait pour but de créer un cadre théorique pour une évaluation diagnostique cognitive dans le domaine scientifique portant sur la CD1 (*Chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifiques ou technologiques*) et la CD3 (*Communiquer à l'aide des langages utilisés en science et en technologie*). Cette ébauche a permis de visualiser le potentiel d'une évaluation diagnostique cognitive (Loye et Laveault, 2011). Cependant, aucune épreuve finalisée ne semble disponible au grand public.

En résumé, la recherche, la méthodologie et les conclusions des recherches de Tjoe et De la Torre (2013), et Loye et de Lambert-Chan (2016) seront grande contribution à l'élaboration d'une épreuve diagnostique en physique compte tenu des liens entre le domaine de la science et des mathématiques.

1.6 Objectifs et questions de recherche

Le cours de physique de 5e secondaire est un cours crucial pour les élèves désirant poursuivre leurs études dans un programme scientifique. La réussite de ce cours dépend entre autres des apprentissages faits précédemment durant le cours combinés aux acquis des années précédentes. Ces derniers sont cependant difficiles à diagnostiquer lorsqu'il s'agit des processus cognitifs, soit ce qui est le plus utilisé en physique. Par conséquent, la réussite et le résultat final des cours préalables ne certifient pas la maîtrise des processus cognitifs essentiels au cours de physique de 5^e secondaire. Les lacunes font obstacle aux nouveaux apprentissages garantissant l'aggravation des difficultés tout au long de l'année. Sans mesures de remédiations adéquates, les difficultés des élèves peuvent influencer la réussite de ce cours de 5e secondaire, leur demande d'admission au niveau collégial ainsi qu'au niveau universitaire. La nécessité d'élaborer une épreuve diagnostique permettant d'identifier leurs forces et les faiblesses dès le début de leur 5e année du secondaire devient cruciale afin de mettre en place des mesures de remédiation précises. Étant donné que les apprentissages faits pour le cours de physique relèvent principalement des processus cognitifs et que ceux-ci sont invisibles à l'œil nu, une épreuve basée sur l'ADC pourrait répondre à cette difficulté. Cette approche permet d'identifier de manière précise les forces et faiblesses en ce qui concerne les processus cognitifs dans le but d'élaborer un plan d'action pour de remédier aux difficultés ressorties.

Pourtant, cette approche est peu utilisée au Québec et les épreuves disponibles sont généralement dans le domaine du français et des mathématiques laissant vide la recherche concernant des évaluations en sciences et plus précisément, en physique. Un besoin se fait entendre tant en ce qui concerne la pertinence scientifique que sociale. Sur le plan scientifique, il existe un manque de recherches basées sur l'ADC, plus particulièrement selon la méthode déductive. Au niveau social, les résultats obtenus à la suite d'une épreuve DC pourraient venir en aide aux apprenants ainsi qu'aux différents intervenants en éducation.

Ce projet de recherche tentera ainsi de répondre à la question suivante :

Comment peut-on développer une épreuve diagnostique cognitive qui permettra de dépister les difficultés des élèves en physique de 5e secondaire?

L'atteinte de l'objectif général de ce mémoire s'appuie sur trois sous-objectifs : (1) ressortir les processus cognitifs, aussi appelés attributs, utilisés lors de la résolution de problème relevant de la physique dynamique, (2) composer des items, représentant adéquatement le domaine de la physique dynamique, pouvant être résolus avec les attributs ressortis et (3) prévalider l'épreuve auprès d'un groupe d'élèves.

1.7 Pertinence scientifique et sociale de la recherche

1.7.1 Pertinence sociale

Premièrement, du point de vue de la pertinence sociale, l'apport de cet outil diagnostique sera indéniable en ce qui concerne l'aide à l'apprentissage des élèves, soit la première finalité de l'évaluation selon le Renouveau Pédagogique des années 2000. Le développement d'un outil procurant des informations en lien avec les forces et faiblesses d'un élève permettra d'informer en premier lieu l'élève de l'état de sa maîtrise des concepts ciblés. Étant au cœur de ses apprentissages, l'élève pourra connaître l'écart entre ceux-ci et les buts à atteindre pour mettre en place, avec l'aide d'enseignants et de différents intervenants scolaires, des moyens de remédiation pour atteindre ces buts.

Deuxièmement, cette vision de rétroaction et remédiation des difficultés est en cohérence les trois valeurs fondamentales de la Politique d'évaluation des apprentissages : l'équité, l'égalité et la justice (MEQ, 2003). Elle permettra une équité dans l'évaluation, car elle tient compte des caractéristiques spécifiques de chaque élève, soit les forces et faiblesses. Cela engendrera une égalité entre les élèves vus que chacun

aura « des chances égales de démontrer ses apprentissages » (MEQ, 2003, p.8). Finalement, en assurant une équité et une égalité, l'évaluation des élèves sera juste.

Troisièmement, même si l'élève joue un rôle central dans ses apprentissages dans le paradigme de l'enseignement, le développement de celui-ci se fait conjointement avec ses enseignants ainsi qu'avec les différents intervenants scolaires. Dans ce paradigme, l'enseignant, en association avec les différents intervenants gravitant autour de l'élève, a pour rôle de soutenir l'élève dans le développement de ses apprentissages en l'aidant et le guidant dans sa progression. En connaissant les acquis et les difficultés de l'élève de façon claire et précise, cela facilitera la mise en place des méthodes de remédiations par l'enseignant en cohérence avec les difficultés ciblées avant l'apprentissage de nouveaux concepts, connaissances ou notions.

Quatrièmement, cette épreuve diagnostique offrira la possibilité d'identifier spécifiquement les difficultés en ce qui concerne les processus cognitifs. Étant invisibles à l'œil nu, ces processus peuvent être ardues à être identifiés facilement et à grande échelle. L'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive procurera aux intervenants scolaires un outil simple et efficace pour identifier ces processus.

Finalement, l'outil élaboré aidera les élèves vers la réussite du cours de physique ainsi que l'atteinte des objectifs des élèves dans leur cheminement postsecondaire. Le programme scientifique au secondaire étant construit en continuum se base sur les acquis précédents pour construire les nouveaux apprentissages. En décelant avant ou en cours d'apprentissages les acquis et les difficultés des élèves, il y aura une garantie de maîtrise des préalables au cours de physique et, par le fait même, une optimisation de la réussite de ce cours par une base solide de connaissances. L'admission dans certains programmes collégiaux étant tributaire des résultats finaux du cours de physique de 5e secondaire, la réussite de ce cours avec le plus grand résultat assurera l'admission de l'élève dans le cheminement scolaire postsecondaire voulu ainsi que la réussite des cours de physique collégiaux. Ces derniers, influençant les résultats finaux collégiaux, influenceront positivement la demande d'admission universitaire étant donné que les lacunes des années précédentes auront été remédié.

La pertinence de l'épreuve favorisera la réussite de tous, une préoccupation au cœur de la réforme en fournissant un outil supplémentaire d'aide à l'apprentissage. Elle viendra en aide tant aux élèves qu'aux enseignants et intervenants dans l'identification de forces et de faiblesses en ce qui a trait aux processus

cognitifs, dans l'établissement d'un plan d'action pour remédier aux difficultés identifiées et dans la progression de l'élève dans le cheminement scolaire postsecondaire désiré.

1.7.2 Pertinence scientifique

En plus de sa pertinence sociale, cette recherche représente plusieurs contributions sur le plan scientifique. Premièrement, cette recherche se basera sur l'ADC qui possède un grand potentiel d'aide et de remédiation. En revanche, peu d'épreuves ont été développées sous la lumière de cette approche, principalement au Québec, décelant un manque à combler du point de vue des connaissances scientifiques. Cette recherche fournira des éléments méthodologiques qui pourront enrichir le développement de tests fondés sur l'ADC, notamment en physique.

Deuxièmement, en plus du manque criant d'épreuves diagnostiques cognitives, la majorité des épreuves existantes n'ont pas été basées dès le début de leur élaboration sur l'ADC, soit selon la méthode inductive. Les chercheurs ont utilisé une démarche rétroactive pour déterminer les processus évalués par des items déjà existants. Lors d'une telle méthode, les processus cognitifs à dépister peuvent être manquants, alors que certains non désirés peuvent être présents, ce qui diminue le pouvoir diagnostique de l'épreuve. Étant donné que cette recherche sera développée en basant le diagnostic sur la méthode déductive, elle permettra de créer une épreuve que sur les processus cognitifs identifiés au départ, qui seront établis à l'aide du programme de physique de 5e secondaire au Québec.

Troisièmement, la majorité des épreuves se fondant sur l'ADC porte sur le domaine des langues et sur le domaine des mathématiques. Le domaine des sciences et de la technologie est encore peu exploité, principalement en physique. Cette épreuve permettra d'enrichir les connaissances de cette approche en tout en s'inspirant des démarches de développement d'épreuves créées dans le domaine des mathématiques.

En conclusion, ce mémoire contribuera à améliorer les connaissances en ce qui concerne l'ADC, ainsi que pour l'élaboration d'une épreuve basée sur cette approche. Ce test comblera aussi un manque d'épreuve dans le domaine de la science et de la technologie, principalement en physique.

CHAPITRE 2

CADRE CONCEPTUEL

Ce présent chapitre consistera à présenter le cadre conceptuel de cette recherche. Il sera divisé en trois sections : la présentation du programme de physique de 5^e secondaire, les étapes d'élaboration d'une épreuve fondée sur l'ADC et le processus général de développement des épreuves. La première section concernant le programme de physique permettra tout d'abord d'exposer la place du cours de physique au travers du système éducatif québécois ainsi que ses liens avec les autres disciplines. Il sera par conséquent possible de ressortir le contenu et les concepts prescrits du programme de physique ainsi que leurs liens avec les préalables scientifiques de la 4^e secondaire. Finalement, les compétences disciplinaires à évaluer seront identifiées ainsi que de leur importance sur le résultat final des élèves. La deuxième section détaillera les cinq étapes d'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive adaptées des quatre étapes exposées par Lee et Sawaki (2009). La dernière section abordera le développement d'outils ainsi que le processus de validation.

2.1 Programme de physique de 5e secondaire

Avant d'aborder le contenu du programme et les compétences disciplinaires à évaluer, il convient de situer le cours de physique dans le cursus scolaire québécois pour comprendre les liens déterminants entre les préalables scientifiques et mathématiques des années précédentes et le cours de physique de 5^e secondaire.

2.1.1 Disciplines et domaines d'apprentissages pour le cours de physique

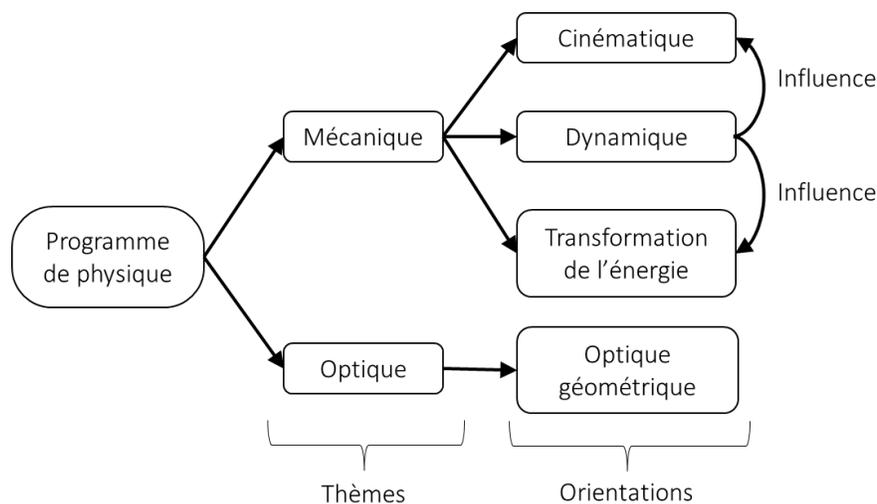
Le programme de formation de l'école québécoise (PFEQ) est séparé en 5 domaines d'apprentissage : domaine des langues (d'enseignement et seconde), domaine des mathématiques, des sciences et de la technologie, domaine de l'univers social, domaine du développement personnel et domaine des arts (MELS, 2005). Lors du deuxième cycle du secondaire, un sixième domaine d'apprentissage s'ajoute : domaine du développement professionnel (MELS, 2007b).

Le cours de physique s'inscrit ainsi dans le domaine des mathématiques, de la science et de la technologie (MELS, 2005). Nécessitant les concepts, notions, habiletés et stratégies développées tant en mathématique qu'en sciences et technologies, le cours de physique démontre le lien fort existant entre

les mathématiques et la science (Chapel et Kroiss, 2020; Samson, 2003). On pense alors aux résolutions algébriques et algorithmiques, au système de représentation, à la géométrie et aux manipulations de fonctions qui sont essentielles en physique de 5^e secondaire. C'est par les mathématiques qu'il est possible de modéliser les concepts et théories d'une situation relevant de la physique (Chapel et Kroiss, 2020; Samson, 2003). Considérant que les cours de sciences et de la technologie ainsi que ceux de mathématique se regroupent sous le même domaine, il est logique que les deux cours prérequis pour accéder au cours optionnel de physique de 5^e secondaire soient la réussite de cours de mathématiques (TS ou SN) et de sciences et technologie (ST et STE) 4^e secondaire.

De ce fait, le cours de physique de 5^e secondaire s'inscrit dans le continuum des cours de sciences et de technologies de la 1^{ère} à la 4^e année du secondaire tout en nécessitant le transfert des acquis des cours de mathématiques du secondaire 1 à 5 (MELS, 2007d, 2011b). Il est composé de deux grands thèmes : soit l'optique et la mécanique (MELS, 2011b). Le premier thème comprend l'orientation de l'optique géométrique incluant les ondes et la lumière, les miroirs plats et courbes, la réfraction et les lentilles (MELS, 2007d, 2011a, 2011b). Le deuxième thème inclut trois orientations : la *Cinématique*, soit l'étude du mouvement des objets, la *Dynamique*, soit l'étude des forces, et la *Transformation de l'énergie*, selon la position, la vitesse et l'état de l'objet (MELS, 2007d, 2011a, 2011b). La Figure 2.1 qui suit résume les divisions en thèmes et en orientation du programme de physique. C'est ce deuxième thème qui sera prédominant dans le programme du cours de physique de 5^e secondaire.

Figure 2.1 Synthèse des divisions du programme de physique selon ses deux thèmes et ses quatre orientations résumée du Programme de formation de l'école québécoise (MELS, 2007d)



L'importance du thème de la *Mécanique* est considérable en comparaison de celui de *l'Optique* vu qu'il contient trois des quatre orientations du programme de physique de 5^e secondaire. De plus, parmi les trois orientations de la mécanique, celle de la *Dynamique* est déterminante, car elle influence la première et la troisième orientation du thème de la mécanique (voir Figure 2.1) (MELS, 2007d). En effet, l'orientation de la *Dynamique* permet d'identifier les causes générant des variations du mouvement, soit l'orientation de la *Cinématique*. De plus, la *Dynamique* est la base de la *Transformation de l'énergie* et du travail (MELS, 2007d). Finalement, le premier cours collégial de physique est généralement celui portant sur la physique mécanique et aura comme base de connaissance la physique de 5^e secondaire, donc l'orientation de la mécanique dynamique.

D'autre part, le thème de la mécanique est la suite d'apprentissages faits tout au long du secondaire, principalement lors de la 4^e année du secondaire. C'est pour cette raison que les prérequis pour suivre le cours de physique nécessitent la réussite du cours optionnel STE en plus du cours obligatoire ST (MELS, 2007b, 2007c; Ordre des conseillers et conseillères d'orientation du Québec, 2020; SRAM, 2020). Le cours STE se concentre principalement sur l'univers matériel, soit l'univers des notions, concepts et apprentissages à la base de l'étude de la physique, contrairement au cours ST qui approfondit plusieurs thèmes scientifiques généraux non prérequis en physique (MEES, 2020a; MELS, 2007b, 2007c, 2007d). La maîtrise des apprentissages faits durant le cours STE est primordiale pour garantir la réussite du cours de physique l'année suivante. Cependant, seul le cours ST est soumis à un examen ministériel composé principalement de choix multiples et de réponses courtes qui équivaldra à 30% de la note finale du cours ST (MEES, 2020a; MELS, 2007c). L'univers matériel ne représente qu'une portion de l'examen et il est évalué que dans les questions à réponses choisies et à réponses courtes portant sur des connaissances ne permettant pas l'évaluation des processus cognitifs (MEES, 2020a; MELS, 2007c).

Ainsi, outre la mention réussite pour le cours de ST et pour le cours STE, le résultat scolaire pour ces cours ne permet pas d'affirmer la maîtrise des préalables pour le cours de physique venant essentiellement de l'univers matériel. Considérant que ces préalables concernent généralement les processus cognitifs, il est laborieux d'évaluer la maîtrise de processus cognitifs seulement par des questions à choix de réponses ou par des questions à réponses courtes portant sur des connaissances où les notions ne se retrouvent qu'une seule fois dans l'examen. Pour déterminer si un processus cognitif est acquis avec validité, il convient d'accumuler suffisamment de preuves permettant de conclure la maîtrise ou non de ce processus (Almakari, 2021; Bertrand et Blais, 2004; De la Torre et Minchen, 2014; Lane, Raymond, Haladyna et

Downing, 2016; Marcoux *et al.*, 2014; Rey, 2016; Haynes, Richard et Kubany, 1995; Yang et Embretson, 2007). Par conséquent, l'examen ministériel ne permet pas de déterminer avec certitude la maîtrise ou non des processus cognitifs mobilisés.

En conclusion, la dynamique, faisant partie du thème de la mécanique, est une orientation majeure du programme de physique. Ses concepts et notions, venant de l'univers matériel, influenceront la compréhension future des élèves et des liens qu'ils pourront faire en physique. Malgré l'importance de diagnostiquer les difficultés des élèves sur les prérequis, aucune épreuve ne permet de jouer ce rôle pour le cours de physique, principalement pour le diagnostic des processus cognitifs. De plus, les résultats scolaires obtenus lors des deux cours de sciences préalables (ST et STE) ne garantissent pas la maîtrise des prérequis pour le cours de physique. La mise en application et la mobilisation des apprentissages en difficulté viendront fragiliser le développement des trois compétences disciplinaires en physique abordées dans la section suivante.

2.1.2 Compétences disciplinaires du domaine de la physique

Tout au long de leur secondaire, les élèves doivent développer trois compétences disciplinaires reliées à la science et à la technologie. Arrivés en secondaire 5, les élèves continuent le développement de ces trois compétences disciplinaires scientifiques, toutefois en focalisant leur maîtrise dans la discipline de la physique (MELS, 2007b, 2007d).

La première compétence disciplinaire (*CD1 - Chercher des réponses ou des solutions à des problèmes relevant de la physique*) est considérée comme le volet *pratique* du programme de physique (MEES, 2020b; MELS, 2007d, 2011a, 2011b, 2011c). Elle correspond à la démarche de résolution d'une problématique relevant du domaine de la physique. Dans le bulletin, elle équivaudra à 40% de la note pour le cours de physique (MEES, 2020b).

La deuxième compétence disciplinaire (*CD2 - Mettre à profit ses connaissances en physique*) est considérée comme le volet *théorique* du programme de physique et équivaudra à 60% du résultat final pour le cours de physique (MEES, 2020b; MELS, 2007d, 2011a, 2011b, 2011c). Elle correspond à l'application de connaissances et de notions relevant de la physique dans des contextes spécifiques généralement plus petits que ceux de la CD1 (MELS, 2007d). Les trois composantes de cette compétence (*Examiner un phénomène ou une application, Comprendre des principes de physique liés au phénomène ou à*

l'application et Expliquer un phénomène ou une application sous l'angle de la physique (MELS, 2007d)) exposent entre autres les trois grandes étapes du processus cognitif réalisé lors de la résolution problème. Les traces récoltées par la suite à l'aide des résolutions et explications écrites sont le produit de cette réflexion et exposent indirectement les acquis et les difficultés reliées à ces processus cognitifs.

La troisième compétence disciplinaire (*CD3 - Communiquer sur des questions de physique à l'aide des langages utilisés en science et en technologie*) (MEES, 2020b; MELS, 2007d, 2011a, 2011b, 2011c) correspond à l'utilisation de la terminologie et des normes appropriées permettant l'élaboration, la production et la transmission d'explications et de résolutions. Elle est directement liée aux deux premières compétences disciplinaires, car c'est par l'utilisation d'un langage relevant de la physique que les élèves pourront développer ces deux compétences disciplinaires (MELS, 2007d). Elle est évaluée à travers les deux autres compétences disciplinaires (MEES, 2020b).

En résumé, parmi les trois compétences disciplinaires présentées, c'est la CD2 qui se distingue des deux autres. Premièrement, la CD1 se développera à partir de la CD2 vu que la maîtrise de la pratique se base en premier lieu sur la maîtrise de la théorie. Deuxièmement, elle est prédominante dans le résultat final du cours de physique. Finalement, les difficultés soulevées lors du développement de la CD2 se produisent principalement au niveau cognitif, car les élèves seront amenés à analyser et à expliquer des phénomènes et des applications en lien avec la physique. Une épreuve diagnostique cognitive dans le domaine de la physique, plus spécifiquement pour l'orientation de la dynamique, permettra d'identifier les forces et les faiblesses avant l'évaluation de la CD2 et de mettre en place des mesures de remédiations appropriées et en cohérence avec les difficultés.

En ayant maintenant exploré le programme de physique de 5^e secondaire et en ayant identifié les thèmes, les contenus et la compétence posant le plus de difficultés d'apprentissage aux élèves, il convient maintenant d'explorer le processus d'élaboration d'un outil qui nous permettra de ressortir les forces et les faiblesses des élèves en ce qui concerne l'orientation de la dynamique lors du développement de la CD2.

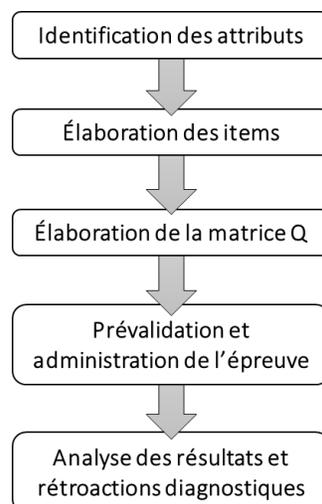
2.2 Étapes d'élaboration d'une épreuve basée sur l'approche diagnostique cognitive (ADC)

Cette section présente les différentes étapes d'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive. Une épreuve basée sur l'ADC permet l'identification des processus cognitifs maîtrisés et ceux en difficulté (Lee

et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Loye, 2005; Loye et Lambert-Chan, 2016; Marcoux *et al.*, 2014; Ministère de l'Éducation de l'Ontario, 2013; Rey, 2016; Tjoe et de la Torre, 2013; Yang et Embretson, 2007). En connaissant les faiblesses des apprenants en ce qui concerne leurs processus cognitifs, les différents intervenants seront en mesure de mettre en place des moyens de remédiations appropriés et précis afin d'assurer la réussite de l'élève (Bertrand et Blais, 2004; Borsboom et Mellenbergh, 2007; Chapel et Kroiss, 2020; Loye, 2008, 2009; Samson, 2003).

Lee et Sawaki (2009) présentent un cadre de référence en 4 étapes pour ressortir un diagnostic cognitif : *Identification des attributs, Élaboration de la matrice Q, Analyse de données et Compte-rendu des résultats et rétroactions diagnostiques*. Bien que les quatre étapes de Lee et Sawaki (2009) nous semblent pertinentes, elles s'appliquent davantage lorsque le diagnostic est réalisé selon la méthode inductive, soit lorsque les données sont collectées à partir des épreuves existantes qui n'ont pas été conçues avec une visée de diagnostic au départ. Étant donné que notre épreuve est basée sur la méthode déductive, notre cadre conceptuel proposera une adaptation du processus d'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive présenté par Lee et Sawaki (2009) en ajoutant une étape sur l'Élaboration des items (voir Figure 2.2). Cette étape est d'une importance cruciale dans notre recherche, car nous devons créer des items basés sur les attributs identifiés préalablement afin de ressortir un diagnostic fiable. De ce fait, les cinq étapes exposées dans cette recherche seront les suivantes : *Identification des attributs, Élaboration des items, Élaboration de la matrice Q, Prévalidation et administration de l'épreuve et Analyse des résultats et rétroactions diagnostiques* (voir Figure 2.2).

Figure 2.2 Les cinq étapes d'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive adaptées selon Lee et Sawaki (2009).



2.2.1 Étape 1 : Identification des attributs

La première étape consiste à identifier les attributs dont la maîtrise est primordiale pour la réussite du cours de physique de 5^e secondaire. Les attributs peuvent être définis comme les stratégies, habiletés et processus cognitifs sous-jacents à la réussite des concepts prescrits et compétences visées (Embretson, 1998; Lee et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Loye et Lambert-Chan, 2016; Nichols, 1994; Turcotte et Talbot, 2017; Yang et Embretson, 2007).

L'identification des attributs est une étape importante du processus, car elle est la base des rétroactions diagnostiques qui seront ressorties à la fin (Loye, 2005, 2008). Si la sélection du contenu n'est pas fondée adéquatement, cela va influencer la validité de la recherche et par le fait même, les résultats obtenus (Chipman *et al.*, 1995). De plus, si les attributs définis ne sont pas valides, la mise en place de remédiations en cohérence avec les attributs en difficulté sera en vain.

L'identification des attributs se fonde premièrement sur le contenu nécessitant un diagnostic cognitif (Leighton et Gierl, 2007; Nichols, 1994). Celui-ci est sélectionné en se basant sur les difficultés soulevées dans la littérature telle que sur la théorie cognitive (Loye, 2010), sur la manière dont les mécanismes cognitifs se développent (Nichols, 1994) sur les connaissances et sur les compétences essentielles (Leighton et Gierl, 2007; Nichols, 1994) et sur les obstacles que les répondants rencontrent lors de l'apprentissage du contenu comme les difficultés de transferts de connaissances et de compétences ou les conceptions spontanées et alternatives (Chapel et Kroiss, 2020; GDM Québec, 2008; NRC, 1997; Rai et Kumar, 2019; Raouf *et al.*, 2016; Taber, 2013). Le contenu à diagnostiquer peut aussi venir de l'expérience des experts travaillant étroitement avec les élèves (El Hassouny, Kaddari, Elachqar, Habibi et Barouaca, 2016; Lee et Sawaki, 2009; Loye, 2008, 2009, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016; Nichols, 1994). À partir de l'expérience des enseignants travaillant en étroite collaboration avec les élèves en physique de 5^e secondaire, il sera possible d'identifier le contenu en difficulté et d'inférer les attributs en lien avec ce contenu et de les relier dans un tableau de spécifications.

Selon les diverses méthodes d'identification des attributs ressorties dans la recension des écrits, l'apport de l'expertise individuelle et collective est prédominant dans chaque étude. C'est le cas de la méthode présentée par Loye (2008) dans sa thèse. Appelée *Multi-Attribute Consensus Building (MACB)*, cette méthode développée par le National Center on Educational Outcomes (NCEO) se sépare en trois étapes afin de tirer profit de l'expertise individuelle de chaque expert tout en garantissant le consensus de groupe

(Loye, 2008; Shyyan, Christensen, Thurlow et Lazarus, 2013; Vanderwood, Ysseldyke et Thurlow, 1993). Elle permet de hiérarchiser divers éléments tels que des stratégies, des décisions, des recommandations ou des priorités selon leur niveau d'importance (Shyyan *et al.*, 2013; Vanderwood et Erickson, 1994). La première étape consiste à demander aux experts d'identifier les attributs déterminants en lien avec les concepts et notions prescrites du programme (Loye, 2008; Shyyan *et al.*, 2013; Vanderwood et Erickson, 1994). Leur expertise individuelle est ainsi maximisée. Lors de la deuxième étape, les experts doivent se réunir afin d'obtenir un consensus sur la compréhension de chaque énoncé et de hiérarchiser ces attributs selon leur importance (Loye, 2008; Shyyan *et al.*, 2013; Vanderwood et Erickson, 1994). Durant la troisième étape, les experts classent les attributs selon leur contenu similaire et sélectionnent les attributs qui seront contenus dans l'épreuve en tenant compte de la hiérarchie précédente (Loye, 2008; Shyyan *et al.*, 2013; Vanderwood et Erickson, 1994). Dans le cadre de cette recherche, cette méthode sera adaptée, car les attributs auront été préalablement identifiés par la chercheuse et classés par thème. Les experts devront par la suite les classer par ordre d'importance comme l'a présenté Loye (2008).

Bien qu'ils n'aient pas utilisé spécifiquement la méthode MACB, Tjoe et de la Torre (2014) ont tout de même mis en application un processus utilisant l'apport quasi individuel et collectif des experts. Cette recherche explore le processus d'identification et de validation des attributs nécessaires aux élèves de 13-14 ans lors du raisonnement proportionnel en mathématiques. Pour identifier les attributs, Tjoe et de la Torre ont séparé les experts par petites équipes composées de 3 ou 4 chercheurs et d'enseignants en mathématiques. Chaque équipe a dû trouver une liste d'attributs importants au raisonnement proportionnel de 8^e année pour la présenter aux autres équipes. Les experts ont par la suite discuté et questionné afin de raffiner la liste d'attributs et d'arriver à un consensus d'experts (Tjoe et de la Torre, 2014). L'apport de l'expertise collective est nécessaire, car l'accord de tous les experts permet d'utiliser le groupe comme référence sur laquelle l'expertise individuelle pourra se comparer.

En conclusion, l'identification des attributs sera basée sur la littérature à l'aide du programme de physique pour cibler les notions prescrites en 5^e secondaire ainsi que sur les études scientifiques pour déterminer les modèles cognitifs en lien avec l'apprentissage et les difficultés du domaine de la physique. L'expertise individuelle et collective des différents experts assurera la sélection des attributs posant le plus de difficultés et nécessitant un diagnostic.

2.2.2 Étape 2 : Élaboration des items

La deuxième étape du processus de conception d'une épreuve diagnostique cognitive consiste à élaborer les items. Un item peut être défini comme une tâche nécessitant des attributs spécifiques, tels que des connaissances, compétences, stratégies ou processus, pour être résolue (Ammar et Houssein, 2018; Lee et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Loye, 2008; Nichols, 1994). Le nombre d'items varie d'une épreuve à l'autre : Chenevotot-Quentin, Grugeon-Allys et Delozanne (2009) avaient 22 items au début de l'élaboration de leur épreuve diagnostique cognitive portant sur l'algèbre élémentaire, mais seulement 10 items à la fin alors que Loye (2008) a proposé 20 items dans son épreuve. Selon les recherches, il est possible de ressortir une tendance d'avoir au minimum deux fois plus d'items dans l'épreuve que d'attributs (Loye, 2008). Cette mesure permet tout d'abord d'inclure de 1 à 6 attributs dans chacun des items afin que les attributs soient évalués seuls ainsi qu'en combinaison avec les autres attributs (Loye et Lambert-Chan, 2016; Sia et Lim, 2018). De plus, afin d'obtenir un nombre de preuves suffisantes de la maîtrise ou non de l'attribut, cet attribut doit être contenu dans 3 à 12 items (Loye et Lambert-Chan, 2016; Sia et Lim, 2018). Une telle disposition soutient la présence d'un nombre satisfaisant de liens entre les attributs et les items afin de ressortir une corrélation entre la maîtrise d'un attribut et la réussite ou non d'items contenant cet attribut.

Lors de l'élaboration d'un test, les types de questions des items peuvent être variés : vrai ou faux, à choix multiples, courtes ou réponses longues (Ammar et Houssein, 2018; Chenevotot-Quentin *et al.*, 2012; Delozanne *et al.*, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016; Nasser, El Khouzai et Taoufik, 2018; Ricard, 2007). Les questions à choix multiples (QCM) offrent plusieurs avantages tels que leur facilité à être administrées, corrigées et analysées, ce qui offre une communication rapide des résultats obtenus aux divers répondants (Ammar et Houssein, 2018; Delozanne *et al.* 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016; Morissette, 1997; Ricard, 2007). De plus, les leurres sont directement déterminés selon les principales difficultés des élèves. Dans le cadre d'une épreuve diagnostique cognitive, les leurres sont constitués des réponses inexactes obtenues par les élèves lors de l'application erronée des attributs, ce qui suggère le dépistage de ces processus en difficulté (Loye et Lambert-Chan, 2016).

Les QCM posent cependant trois désavantages pour concevoir une épreuve : (1) les élèves peuvent avoir répondu par hasard (Turcotte et Talbot, 2007), (2) les élèves peuvent avoir été influencés par les choix multiples à l'aide de liens artificiels (Morissette, 1997; Turcotte et Talbot, 2007) et (3) le processus d'élaboration de l'épreuve est plus long (Morissette, 1997). Ces trois désavantages seront approfondis

dans le paragraphe suivant, car ils peuvent poser un problème de validité de l'épreuve et du diagnostic ressorti (Davidson, 2010; Leighton et Gierl, 2007; Nichols, 1994; Tjoe et de la Torre, 2013). Une épreuve est valide si elle évalue réellement ce qu'elle désire évaluer (Bertrand et Blais, 2004; Borsboom et Mellenbergh, 2007, Loye, 2008, 2009, 2010; Nichols, 1994; Marcoux *et al.*, 2014; Yang et Embretson, 2007). Ainsi, si un élève réussit une épreuve, mais en utilisant l'effet du hasard pour choisir sa réponse, l'épreuve ne sera pas considérée comme valide vu qu'elle ne permet pas d'affirmer la maîtrise des attributs évalués.

Tout d'abord, pour inhiber l'effet du hasard, il est important d'avoir un nombre important de choix de réponses (Morissette, 1997). Aussi, pour diminuer l'influence de liens artificiels possiblement présents dans les choix de réponses, plusieurs directives d'écriture développées par des experts dans le domaine de l'évaluation et de la mesure doivent être prises en compte. Elles seront présentées ultérieurement dans la section 2.3.2 concernant la rédaction des items et de leur choix de réponses. Également, pour restreindre l'effet du hasard et l'influence des liens artificiels dans les choix multiples, chaque attribut doit être évalué dans plusieurs items. Plus l'attribut se retrouve dans plusieurs items, plus l'effet du hasard et l'influence des choix multiples sont amoindris, car lors de la correction, il devra maîtriser l'attribut pour plusieurs items afin de confirmer sa maîtrise. Les deux premiers désavantages surviennent, peu importe l'approche sur laquelle est basée l'épreuve. Ce qui diffère pour une épreuve basée sur l'ADC, c'est la lourdeur non négligeable du processus pour établir les leurres dans les choix multiples. Ceux-ci doivent être en cohérence avec les difficultés soulevées lors de l'identification des attributs. Durant la prévalidation des items, les répondants doivent expliquer les processus cognitifs derrière leur résolution, car étant invisibles à l'œil nu, la maîtrise des processus ne peut être confirmée que par ces effets ou par démonstration (Borsboom et Mellenbergh, 2007). Ce processus de prévalidation a pour objectif d'assurer les réponses exactes ainsi que les difficultés menant aux réponses erronées (Morissette, 1997; Tjoe et de la Torre, 2013; Turcotte et Talbot, 2007). En connaissant les difficultés derrière chaque choix erroné, il sera plus facile par la suite d'établir une remédiation précise en cohérence avec les difficultés du répondant.

2.2.3 Étape 3 : Élaboration de la matrice Q

Lorsque les attributs et les items sont déterminés, les experts ont à élaborer la matrice Q. Cette matrice permet d'exposer les liens entre les attributs et les items à l'aide des chiffres binaires (0 et 1) (Lee et Sawaki, 2009; Loye, 2008, 2009, 2010). Le chiffre 1 signifie que l'attribut doit être maîtrisé pour résoudre l'item. Le chiffre 0 indique que l'attribut n'est pas exigé pour répondre correctement à l'item (Lee et Sawaki, 2009; Loye, 2008, 2009). La Figure 2.3 donne un exemple de matrice Q contenant 6 items (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5

et Q6) ainsi que 5 attributs (A1, A2, A3, A4 et A5). Dans cet exemple, pour répondre à la question 1 (Q1), il faut maîtriser les attributs 2 et 5 (A2 et A5) (Loye, 2008, 2009, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016). C'est à l'aide de cette matrice qu'il sera possible de déduire la maîtrise des attributs 2 et 5 si l'item 1 a été maîtrisé. Dans le cas contraire, si l'item 1 n'est pas réussi, soit un des deux attributs n'est pas maîtrisé ou les deux attributs sont en difficulté.

Figure 2.3 Exemple de matrice Q inspirée de recherches et d'études dans le domaine du diagnostic cognitif (Loye, 2008, 2009, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
A1	0	1	0	1	1	0
A2	1	0	1	0	1	0
A3	0	1	1	0	0	1
A4	0	0	1	1	0	0
A5	1	1	0	1	0	1

Lorsque le diagnostic est réalisé selon la méthode inductive, les items sont déjà construits. Les experts ont alors à ressortir les attributs nécessaires pour répondre aux items de l'épreuve. Par la suite, ils établissent les liens entre les attributs et les items de sorte à définir quels attributs sont nécessaires pour résoudre chacun des items (Loye, 2008). Ces liens sont illustrés par la matrice Q (Loye, 2008, 2009, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016). En revanche, quand l'épreuve est élaborée afin de réaliser un diagnostic selon la méthode déductive, les items doivent être élaborés à partir d'une liste d'attributs cognitifs préalablement dressée, soit par les experts ou soit en se basant sur les résultats des études précédentes (Loye, 2008; Loye et Lambert-Chan, 2016; Tjoe et de la Torre, 2013). Les experts élaborent de ce fait les items selon les exigences de l'épreuve tels que le nombre d'items au total, le nombre d'attributs par items, le nombre d'items contenant chacun des attributs, etc. (Loye, 2008; Tjoe et de la Torre, 2013).

Généralement, une première matrice Q est élaborée par les experts avant la prévalidation de l'épreuve auprès des élèves. Elle se raffine ensuite en fonction des constats ressortis lors du processus d'élaboration et de validation de l'épreuve (Lee et Sawaki, 2009; Loye, 2008, 2009, 2010). Pour pouvoir créer et raffiner cette matrice, les experts doivent arriver à un consensus en ce qui concerne les attributs et les items. Cette

étape peut être ardue et nécessite des balises strictes lors de la phase d'élaboration et de prévalidation de la matrice Q (Loye, 2008). Ainsi, plusieurs facteurs peuvent influencer la création de la matrice dont entre autres les données fournies aux experts lors de création des items, l'accès ou non à liste d'attributs au départ ou le choix d'une méthode de travail individuelle en équipe (Lee et Sawaki, 2009; Loye, 2008). Lorsque la création de la matrice Q est terminée, il convient de mettre l'épreuve à l'essai afin de s'assurer de sa validité. Cette mise à l'essai sera exposée dans la section suivante.

2.2.4 Étape 4 : Prévalidation et administration de l'épreuve

La quatrième étape consiste à prévalider les items élaborés précédemment auprès d'un petit groupe d'élèves afin de récolter des preuves pour soutenir ou remettre en question le diagnostic ressorti de l'épreuve (Bertrand et Blais, 2004; Lee et Sawaki, 2009; Nichols, 1994). La validité d'une épreuve correspond à sa capacité à évaluer ce qu'elle désire évaluer (Bertrand et Blais, 2004; Borsboom et Mellenbergh, 2007, Loye, 2008, 2009, 2010; Nichols, 1994; Marcoux *et al.*, 2014; Yang et Embretson, 2007). Ainsi, un item contenu dans une épreuve diagnostique cognitive est valide si sa réussite permet de prédire la maîtrise de l'attribut nécessaire pour résoudre l'item (Borsboom et Mellenbergh, 2007).

En cas de résultats divergents ou anormaux, une révision des attributs, des items et de la matrice Q s'impose (Lee et Sawaki, 2009; Loye et Lambert-Chan, 2016; Nichols, 1994; Turcotte et Talbot, 2017). La matrice Q sera peut-être soumise à des changements et à des améliorations, faisant ainsi raffiner la matrice de départ (Loye, 2008). Des recherches plus poussées peuvent être même nécessaires pour expliquer et remédier aux problématiques soulevées qui jusqu'alors n'auraient pas été identifiées, par exemple lorsqu'un attribut ressorti dans les résolutions n'aurait pas été identifié préalablement par les experts (Nichols, 1994). Après cette prévalidation, il sera possible d'affirmer si l'épreuve soutient ou non le modèle ou la théorie sur lesquels celle-ci se base, confirmant ou non son pouvoir diagnostique en vue de prendre des décisions relatives à la remédiation des difficultés (Lee et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Loye et Lambert-Chan, 2016).

Pour effectuer cette prévalidation, les recherches se basent généralement sur un enregistrement de leurs protocoles verbaux (Loye et Lambert-Chan, 2016; Turcotte et Talbot, 2017). Le répondant est invité à expliquer à voix haute les processus cognitifs et le raisonnement faits au moment du passage de l'épreuve (Ericsson, 2002; Potvin et Thouin, 2003; Tjoe et de la Torre, 2013). Les processus cognitifs sont enregistrés généralement afin de faire l'objet d'une transcription en verbatim pour une consultation ultérieure.

Ensuite, les experts analysent les verbatims et les résolutions écrits pour connaître les processus cognitifs utilisés par chaque répondant, faire des cartes conceptuelles du raisonnement cognitif, vérifier s'ils sont cohérents avec ceux attendus pour chaque item et confirmer le choix des leurres en lien avec les difficultés des répondants. La prévalidation par l'analyse de protocoles verbaux a comme avantage de nécessiter de peu de matériel et de pouvoir se faire simultanément pour chaque répondant.

La dernière partie de cette étape consiste à mettre à l'essai l'épreuve auprès d'un grand groupe de répondants pour modéliser les données ainsi que de stabiliser l'épreuve (Lee et Sawaki, 2009; Loye et Lambert-Chan, 2016). Selon les constatations de Loye (2008), une mise à l'essai à grande échelle s'oriente vers la participation d'un échantillon de 300 à 400 de sujets alors que la recherche de Loye et Lambert-Chan (2016) avance un minimum de 500 répondants afin que les données soient modélisées dans les modèles de classification diagnostique développés depuis les années 1990. Ces modèles de classifications seront abordés dans la section 2.2.5 concernant l'analyse des résultats obtenus à la suite de la prévalidation de l'épreuve. Les conditions de validation auprès d'un grand groupe sont identiques à celles du petit groupe de la prévalidation.

Après avoir prévalidé l'épreuve auprès d'un grand groupe, les démarches obtenues sont analysées par les élèves pour raffiner la matrice Q. Les réponses sont par la suite codées à l'aide de la notation dichotomique 1 et 0, respectivement pour une bonne réponse et une réponse erronée, afin de ressortir les profils diagnostiques des répondants, soit l'étape 5 qui sera présentée dans la partie suivante.

2.2.5 Étape 5 : Analyse des résultats et rétroactions diagnostiques

Lors de cette dernière étape, une grille de correction de l'épreuve est élaborée à l'aide des bonnes réponses, des variances acceptées ainsi que des réponses refusées (Turcotte et Talbot, 2017). En revanche, les réponses non admises servent généralement lors du choix des leurres afin que chacune corresponde à une difficulté rencontrée par les élèves (Chenevotot-Quentin *et al.*, 2012; Leighton et Gierl, 2007; Loye et Lambert-Chan, 2016). Pour ce faire, un aller-retour constant entre les verbatims, les cartes conceptuelles du raisonnement cognitif et du cahier de réponses des répondants est nécessaire (Loye et Lambert-Chan, 2016). Par la suite, les réponses sont modélisées à l'aide de modèles de classification diagnostique qui consistent en des modèles probabilistes statistiques représentant la probabilité de maîtrise ou de non-maîtrise de variables latentes dans l'objectif de classer les répondants dans des catégories spécifiques (Rupp et Templin, 2008; Rupp, Templin et Henson, 2010). Ces modèles probabilistes statiques relient la

théorie cognitive et les propriétés psychométriques des items (Gorin, 2007). Ainsi, tous les individus classés dans même un profil ont les mêmes forces ainsi que les mêmes faiblesses. En connaissant le profil de chaque individu, soit le diagnostic final, il sera alors possible d'appliquer des méthodes de remédiation en cohérence avec chaque profil. Par exemple, deux élèves ayant le même profil peuvent maîtriser les processus cognitifs essentiels pour résoudre algébriquement un item portant sur la vitesse moyenne, mais peuvent avoir des faiblesses lors d'une résolution relevant de l'accélération moyenne. Un troisième élève ayant un profil différent peut au contraire avoir de la difficulté avec les processus cognitifs reliés à la vitesse moyenne, mais maîtriser ceux de l'accélération moyenne. Une remédiation différenciée sera nécessaire pour les deux profils, soit une aide en lien avec l'accélération moyenne pour les deux premiers élèves alors que pour le troisième, c'est une intervention portant sur la vitesse moyenne qui lui sera requis.

En résumé, l'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive dont le diagnostic est réalisé selon la méthode déductive définit dès le départ les attributs à évaluer en cohérence avec le programme éducatif du Québec. Pour élaborer une telle épreuve, les chercheurs doivent réaliser cinq grandes étapes, soit *l'Identification des attributs, l'Élaboration des items, l'Élaboration de la matrice Q, la Prévalidation et administration de l'épreuve et l'Analyse des résultats et rétroactions diagnostiques*. Lors de cette recherche, nous réaliserons les quatre premières étapes de cette démarche. La section suivante abordera les étapes de développement général d'une épreuve ressorties du cadre de références qui viendront compléter le processus d'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive.

2.3 Directives des démarches du développement d'une épreuve

Le développement de tests a été considéré comme un art relevant davantage de la pratique que de faits théoriques jusqu'à la fin du XXe siècle (Lane *et al.*, 2016). Désormais, des normes et des pratiques étudiées et approuvées par la recherche sont nécessaires pour élaborer des épreuves valides et ce, dans une multitude de domaines tels que la psychologie, l'éducation ou la physique. Les chercheurs ont, au courant des dernières années, développé différents cadres de références permettant d'appuyer le processus d'élaboration de tests sur la base commune de démarches reconnues. Dans le cadre de notre recherche, nous développerons une épreuve diagnostique cognitive selon les cinq étapes présentées dans la section précédente adaptées du cadre de référence de Lee et Sawaki (2009). Cependant, les directives qui guident la démarche d'élaboration des épreuves diagnostique cognitive sont actuellement peu explorées et expérimentées. Il est alors nécessaire de s'appuyer sur des cadres de référence connus et appropriés par différents chercheurs, praticiens et spécialistes de renom de la recherche, des statistiques ainsi que de la

mesure et de l'évaluation en éducation. Au cours de nos lectures, trois cadres de développement d'une épreuve reconnus par les pairs ont été retenus sur la base de l'expertise des collaborateurs aussi bien que des renseignements et des indications fournies : les *Standards for educational and psychological testing* (American Educational Research Association (AERA), American Psychological Association et National Council on Measurement in Education, 2014), *The Wiley handbook of psychometric testing* (Irwing et Hughes, 2018) et le *Handbook of test development* (Lane *et al.*, 2016). Bien que chacun énonce un processus d'élaboration d'une épreuve qui semble diverger les uns des autres, il est généralement possible de les regrouper en six étapes : (1) la planification générale de l'épreuve, (2) la rédaction des items, (3) l'assemblage du test, (4) l'administration, notation et validation d'une épreuve, (5) le développement de rapports finaux, sécurité du test et développement de la documentation ainsi que (6) la révision du test (AERA *et al.*, 2014; Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016). Le Tableau 2.1 présente ces six étapes du développement d'une épreuve avec leurs sous-étapes (AERA *et al.*, 2014; Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016).

Tableau 2.1 Le développement d'une épreuve en six étapes générales synthétisées des cadres de références (AERA *et al.*, 2014; Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016)

Six étapes du développement d'une épreuve :	
1. Planification générale de l'épreuve	<ul style="list-style-type: none"> a) Domaine et contenu b) Format du test et des items c) Système de notation d) Administration du test e) Communication des résultats f) Intentions et utilisation envisagées
2. Rédaction des items	<ul style="list-style-type: none"> a) Identification du contenu b) Élaboration des items c) Révision des items d) Prétest des items
3. Assemblage du test	<ul style="list-style-type: none"> a) Regroupement de la documentation b) Vérification finale
4. Administration, notation et validation d'une épreuve	<ul style="list-style-type: none"> a) Administration b) Notation c) Propriétés psychométriques : Validité et fidélité
5. Développement de rapports finaux, sécurité du test et développement du document	
6. Révision du test	

Dans le cadre de cette recherche, ce seront les quatre premières étapes, soit (1) la Planification générale de l'épreuve, (2) la Rédaction des items, (3) l'Assemblage du test ainsi que (4) l'Administration, notation et validation d'une épreuve qui seront réalisées. L'étape 5 soit le Développement de rapports finaux, la sécurité du test et le développement de la documentation, et l'étape 6 soit la Révision du test ne seront abordées que sommairement vu qu'elles seront absentes de notre présente recherche. Vu que l'épreuve sera prévalidée par un petit groupe d'élèves, nous définirons ensuite le concept de la validité et les deux types de preuves permettant de la soutenir que nous expérimenterons dans cette recherche, soit la validité du contenu et de construit. La validité de contenu assurera que les notions et concepts ciblés seront présents alors que la validité de construit confirmera que les processus cognitifs envisagés pour la résolution des items sont bien ceux mobilisés par les répondants. Elles sont donc les deux types de preuves prédominantes dans la validation d'une épreuve (AERA *et al.*, 2014; Irwing et Hughes, 2018; Yusoff, 2019). Finalement, nous exposerons les processus de la validation de ces deux types de preuves tout en tenant compte des aspects distinctifs à considérer pour une épreuve diagnostique cognitive.

2.3.1 Planification générale de l'épreuve

La première étape du développement d'un test est la conception d'un plan global et la spécification des différentes caractéristiques du test. Elle comprend la description des éléments significatifs et importants du test pour mettre en place un plan de développement qui viendra garantir la validité de l'épreuve développée (AERA *et al.*, 2014; Campion, 2015; Irwing et Hughes, 2018; Lane et Iwatani, 2015; Lane *et al.*, 2016; Perie et Huff, 2015; Rodriguez, 2015; Wise et Plake, 2015; Zenisky et Hambleton, 2015). Ces éléments portent sur le domaine et le contenu, le format du test, des items, des choix de réponse et du système de notation, l'administration du test et la communication des résultats ainsi que les intentions liées au développement du test et les différentes utilisations envisagées (AERA *et al.*, 2014; Campion, 2015; Irwing et Hughes, 2018; Lane et Iwatani, 2015; Lane *et al.*, 2016; Perie et Huff, 2015; Rodriguez, 2015; Wise et Plake, 2015; Zenisky et Hambleton, 2015).

Tout d'abord, la qualité de la définition du domaine et de son contenu va influencer la suite des activités d'élaboration de l'épreuve, car plus précise est cette délimitation, plus il est efficace de cibler les compétences recherchées et les processus attendus. Par conséquent, cela contribue à augmenter la validité de l'interprétation, vu qu'il est possible de relier facilement les réponses de l'épreuve aux attributs recherchés (AERA *et al.*, 2014; Gierl et Lai, 2015; Jang, 2005; Irwing et Hughes, 2018; Kane, 2015; Lane et Iwatani, 2015; Lane *et al.*, 2016; Perie et Huff, 2015; Wise et Plake, 2015). Cette délimitation du domaine

peut se faire à l'aide de références, telles que des programmes d'apprentissages définissant les concepts prescrits, ainsi qu'à l'aide d'une recension des études et travaux existants qui pourront servir de base pour le développement de futurs tests (Irwing et Hughes, 2018; Jang, 2005; Kane, 2015; Perie et Huff, 2015; Raymond, 2015; Tjoe et de la Torre, 2014).

À la suite de la planification générale vient la précision des éléments spécifiques du test tels que l'identification du format du test, des items et des réponses attendues, le nombre d'items requis pour représenter le contenu et la durée de l'épreuve. Chacun des choix doit être en cohérence avec les objectifs du test, les utilisations ultérieures ainsi qu'avec le domaine de contenu défini préalablement (AERA *et al.*, 2014; Irwing et Hughes, 2018; Kane, 2015; Lane et Iwatani, 2015; Lane *et al.*, 2016; Perie et Huff, 2015; Rodriguez, 2015; Wendler et Walker, 2015; Wise et Plake, 2015).

Le choix de la notation ainsi que les caractéristiques psychométriques découlent des décisions faites précédemment (AERA *et al.*, 2014; Champion, 2015; Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016; Wendler et Walker, 2015; Wise et Plake, 2015). Ce choix de notation comprend l'échelle utilisée, les scores individuels et sommaires du test ainsi que la procédure de notation (AERA *et al.*, 2014; Champion, 2015; Lane *et al.*, 2016; Irwing et Hughes, 2018; Wendler et Walker, 2015; Wise et Plake, 2015). Les caractéristiques psychométriques, quant à elles, correspondent entre autres à la difficulté et à la discrimination de chacun des items ainsi qu'à la difficulté et à la précision du test (AERA *et al.*, 2014; Gierl et Lai, 2015; Lane *et al.*, 2016; Irwing et Hughes, 2018; Perie et Huff, 2015; Wendler et Walker, 2015).

La planification de l'administration du test inclut le format dans lequel les candidats passeront l'épreuve (format papier crayon ou informatisé), les instructions à donner, le matériel à fournir et les procédures lors de la passation du test (AERA *et al.*, 2014; Champion, 2015; Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016; Wendler et Walker, 2015; Wise et Plake, 2015). Cette passation doit assurer une équité envers les candidats et un contrôle de qualité pour assurer un traitement juste des participants. Un processus équitable minimise l'impact de biais ou de validité différentielle pour certains sous-groupes et ainsi, maximise la validité des interprétations ressorties par le test et des conclusions générées (AERA *et al.*, 2014; Kane, 2015; Lane *et al.*, 2016; Wise et Plake, 2015; Zieky, 2015). Il est ainsi important de s'assurer que l'information et l'aide nécessaires sont fournies aux répondants pour garantir un traitement impartial tout au long de leur participation (Wise et Plake, 2015; Zieky, 2015). *L'Educational Testing Service* (2016)

a développé un manuel d'instructions contenant les principales règles à suivre pour élaborer un test maximisant l'équité entre les participants :

- Évitez une syntaxe ou un vocabulaire difficile si cela n'est pas pertinent pour les objectifs de l'évaluation
- Évitez la connaissance de concepts non pertinents pour les interprétations ressorties
- Évitez d'utiliser des sujets dérangeants, controversés ou reliés aux problèmes familiaux
- Assurez un traitement respectueux et une terminologie objective et appropriée
- Utilisez une mise en forme de police claire et lisible
- Évitez tout ce qui peut être décoratif et non pertinent (par exemple une image ayant que pour but d'embellir)

Bien que des décisions liées à l'élaboration sont planifiées au départ lors de cette première partie, un ajustement doit être fait tout au long du processus de développement de l'épreuve. Lorsque cette partie est complétée, il est alors possible d'élaborer les items de l'épreuve, étape qui sera explorée dans la section suivante.

2.3.2 Rédaction des items

La création des items contenus dans l'épreuve comporte quatre sous-étapes : Identification du contenu, Élaboration des items, Révision des items et l'Expérimentation des items. L'identification du contenu consiste à établir plus finement les connaissances, compétences et capacités que l'on désire mesurer à l'aide d'experts en la matière, d'un groupe d'élèves ainsi que de sources pertinentes tel que les encyclopédies, les dictionnaires et les programmes éducatifs (Campion, 2015; Gierl et Lai, 2015; Irwing et Hughes, 2018; Jang, 2005; Kane, 2015; Lane et Iwatani, 2015; Lane *et al.*, 2016; Tjoe et de la Torre, 2014; Perie et Huff, 2015; Rodriguez, 2015; Wise et Plake, 2015).

À partir du contenu identifié, il est possible d'élaborer des items de différents formats : question par vrai ou faux, à choix multiples, à réponse courte ou longue (Ammar et Houssein, 2018; Chenevotot-Quentin *et al.*, 2012; Delozanne *et al.*, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016; Nasser *et al.*, 2018; Ricard, 2007). Le format des items dépend des objectifs de l'étude ainsi que du contexte, soit le coût, la disponibilité des répondants, la durée du test, etc. (AERA *et al.*, 2014). Les questions à choix multiples sont généralement privilégiées vu qu'elles sont faciles à administrer et à corriger permettant un grand nombre de données

(Ammar et Houssein, 2018; Loye et Lambert-Chan, 2016; Morissette, 1997; Ricard, 2007). Lors de leur élaboration, certaines directives de rédaction des questions et des choix de réponses doivent être suivies. Le Tableau 2.2 fait la synthèse des différentes directives selon Durand et Chouinard (2006), Fontaine, Savoie-Zajc et Cadieux (2020), Fortin et Gagnon (2016), Gauthier (2003), Moreno, Martínez, Muñiz (2006), Noyé et Piveteau (2018) et Van der Maren, (1996).

Tableau 2.2 Directives synthétisées pour la rédaction des items et les choix de réponses

Directives pour l'écriture des énoncés des items en format choix multiples	Directives pour l'écriture des choix de réponse
<ul style="list-style-type: none"> – Regrouper les mêmes types de questions ensemble – Mettre en ordre du plus simple au plus complexe – S'assurer que les consignes sont claires et précises sur ce qui est attendu du répondant – Exprimer qu'une seule idée dans chaque item – Définir le vocabulaire technique – Éviter d'écrire les items par une phrase négative. Privilégier les phrases interrogatives, impératives ou à compléter. – Écrire le plus d'informations dans les items pour minimiser l'information dans les choix de réponses – S'assurer que les items ne fournissent aucun indice 	<ul style="list-style-type: none"> – Écrire entre 3 et 5 choix de réponses – S'assurer d'avoir des réponses concises, simples et homogènes (même longueur, même forme) – Éviter tout lien artificiel (féminin/masculin, singulier/pluriel)¹ – S'assurer de l'indépendance des réponses entre elles et avec les autres items (fournir indice à un item suivant) – Avoir une réponse indéniablement bonne, mauvaise ou meilleure que les autres – Proposer des leurres plausibles – Placer les leurres de façons aléatoires – Éviter les choix « Aucune de ses réponses »² et « Toutes ses réponses »³ ou à utiliser avec précaution

¹ Prenons l'exemple suivant : « Compléter la phrase suivante avec le bon mot : Les _____ de l'eau sont l'Hydrogène et l'Oxygène. A) Molécule B) Élément C) Produits D) Réactif. » Cette question insinue que le mot à choisir doit être au pluriel. La bonne réponse est B) Élément, mais vu que le mot est mis au singulier, l'élève peut être tenté de choisir la seule réponse au pluriel C) Produit afin de suivre la logique de la phrase. Ceci constitue un lien artificiel. Dans cet exemple, il serait nécessaire de mettre tous les choix de réponse au pluriel.

² Ce choix est à éviter, car il permet difficilement de déterminer ce que l'élève maîtrise ou non (Durand et Chouinard, 2006).

³ Un sujet peut avoir tendance à choisir l'option « Toutes ces réponses » lorsqu'ils croient avoir identifié un minimum de deux bonnes réponses dans les choix de réponses (Fontaine, Savoie-Zajc et Cadieux (2020)). Dans l'exemple suivant : « Quelle(s) variable(s) influence(nt) la force gravitationnelle entre deux corps? A) La masse B) La distance C) Le poids D) Toutes ces réponses », les bonnes réponses sont A) et B). En revanche, un élève rencontrant des difficultés peut être susceptible de choisir l'option D), car 2 des 3 premiers choix de réponses sont bons.

La révision des items est généralement faite par des experts en la matière et en mesure et en évaluation (AERA *et al.*, 2014; Campion, 2015; Haladyna, 2015; Irwing et Hughes, 2018; Lane et Iwatani, 2015; Lane *et al.*, 2016; Tjoe et de la Torre, 2014; Perie et Huff, 2015; Rodriguez, 2015; Wise et Plake, 2015). Les experts en la matière analysent la validité des items et les biais que ceux-ci peuvent générer tels que les concepts nécessaires pour répondre aux items ou le choix des leurres. Les experts en mesure et en évaluation évaluent la conformité des items selon les règles acceptées dans l'élaboration des items tels que l'absence de liens artificiels reliant la question et les choix de réponses (selon le genre et le nombre), le regroupement des questions de même format ou mise en forme de la police et de la taille adéquate pour la lecture. Étant donné que les enseignants sont à la fois des experts en la matière enseignée et qu'ils maîtrisent les normes et pratiques liées à l'élaboration d'items contenus dans une évaluation au niveau enseigné, ils sont les experts à la fois en la matière et en mesure et en évaluation.

Lors de l'expérimentation, les items sont administrés à un échantillon de candidats de la population visée par l'épreuve, qui correspond dans notre recherche aux élèves. Cette expérimentation des items a pour objectif de vérifier la qualité du contenu et la clarté des items en plus de ressortir des propriétés psychométriques (AERA *et al.*, 2014; Campion, 2015; Haladyna, 2015; Irwing et Hughes, 2018; Lane et Iwatani, 2015; Lane *et al.*, 2016; Tjoe et de la Torre, 2014; Perie et Huff, 2015; Rodriguez, 2015; Wise et Plake, 2015). Elle peut se faire premièrement par des entretiens cognitifs tels que des protocoles verbaux. Deuxièmement, il est possible de faire des expériences aléatoires entre sous-groupes tels que de faire passer différentes combinaisons d'items à des sous-groupes pour ressortir les meilleurs items. Troisièmement, l'expérimentation peut se faire par des groupes de discussion afin de favoriser l'échange d'idées (AERA *et al.*, 2014; Jang, 2005; Lane *et al.*, 2016; Tjoe et de la Torre, 2014).

En définitive, chacune des quatre sous-étapes influence directement la qualité et la validité des conclusions et interprétations ressorties. Dès lors, le contenu ciblé est adéquatement couvert, les énoncés des items respectent les directives d'écriture appropriée et les informations ressorties permettent d'effectuer les interprétations recherchées, soit le diagnostic des processus cognitifs dans le cas de l'ADC. À la suite de cette étape vient l'assemblage de l'épreuve qui sera décrite dans la section qui suit.

2.3.3 Assemblage du test

Lors de l'assemblage du test, l'ensemble des éléments de l'épreuve (les documents ou formulaires nécessaires, les items élaborés, les directives, etc.) sont regroupés par souci de les uniformiser et de les

réviser pour optimiser la validité de l'épreuve (AERA *et al.*, 2014; Campion, 2015; Lane *et al.*, 2016). La vérification finale de l'homogénéité de la mise en forme est réalisée par des experts en la matière ainsi que par des experts en mesure et évaluation (Campion, 2015; Graf et van Rijn, 2015; Jang, 2005; Lane et Iwatani, 2015; Lane *et al.*, 2016; Tjoe et de la Torre, 2014; Perie et Huff, 2015; Rodriguez, 2015; Wise et Plake, 2015). Notamment, il est important de vérifier l'utilisation de la même police et de la même taille des caractères dépendamment de leur section tout au long des documents, la visibilité et la nécessité des schémas, tableaux et images dans l'épreuve, l'usage de marges et d'interlignes de grandeur adéquate pour faciliter la lisibilité du texte. C'est à la suite de l'assemblage du test que vient l'administration, la notation et la validité et la fidélité de l'épreuve.

2.3.4 Administration, notation et validation d'une épreuve

La quatrième étape est composée de trois sous-étapes : l'administration de l'épreuve, la notation et l'analyse des propriétés psychométriques de la validité et de la fidélité. Premièrement, l'administration consiste à établir et respecter les procédures de la passation et de la récolte des résultats (Lane et Iwatani, 2015; Lane *et al.*, 2016; Rodriguez, 2015; Wise et Plake, 2015).

Deuxièmement, la notation comprend le développement d'une procédure permettant d'assurer l'intégrité du processus d'évaluation des réponses. Cela inclut la vérification de la grille de correction, l'identification des résultats limites tels que la note de passage ou les niveaux de maîtrise, la révision de la correction, l'analyse des réponses manquantes et la vérification des scores attendus et inattendus (Lane *et al.*, 2016; Wise et Plake, 2015). Cette procédure peut aussi s'appuyer sur un modèle de notation comme la théorie de réponse à l'item (TRI) ou la théorie classique des tests (TCT) (Irwing et Hughes, 2018; Wendler et Walker, 2015; Wise et Plake, 2015; Zenisky et Hambleton, 2015).

Finalement, la troisième sous-étape fait l'analyse de deux propriétés psychométriques, soit la validité et la fidélité (Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016). La validité d'un instrument est sa capacité de mesurer les variables qu'il est censé mesurer (AERA *et al.*, 2014; Bertrand et Blais, 2004; Borsboom et Mellenbergh, 2007; Lane *et al.*, 2016; Loye, 2008; Nichols, 1994; Yang et Embretson, 2007). Pour assurer la validité d'une épreuve, un processus de validation qualitatif ou quantitatif doit être mis en place de façon rigoureuse. Le thème de la validité sera exploré plus précisément dans la section 2.4 compte tenu de son importance dans le développement d'une épreuve et dans l'interprétation des résultats ressortis. Quant à la fidélité d'un instrument, elle est sa propriété à mesurer le même résultat pour des conditions d'expérimentation

similaires (Durand et Chouinard, 2006; Fontaine *et al.*, 2020; Fortin et Gagnon, 2016; Loye, 2008; Wallen et Fraenkel, 2013). La fidélité se mesure quantitativement entre autres par un test-retest, par sa cohérence interne ou par l'erreur type-mesure (Fortin et Gagnon, 2016; Gauthier, 2003; Wallen et Fraenkel, 2013).

C'est à la suite de l'administration de l'épreuve et de la cueillette des résultats selon l'échelle de notation établie qu'il sera possible de ressortir des rapports de résultats, d'établir un manuel d'instructions qui présente toutes les étapes du test élaboré pour faciliter l'utilisation de ce test et d'établir une révision régulière. Vu que ces étapes ne seront pas réalisées dans le cadre de notre recherche, elles ne seront expliquées que sommairement.

2.3.5 Analyse des résultats, la production de rapports finaux et de la documentation et Révision de l'épreuve

La cinquième étape correspond à l'analyse des résultats, la production de rapports finaux et de la documentation et est séparée en trois sous-étapes : l'élaboration de rapports finaux, la sécurité du test et les mesures qui doivent être mises en place pour l'assurer et la production des documents liés à l'épreuve (AERA *et al.*, 2014; Campion, 2015; Haladyna, 2015; Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016; Wise et Plake, 2015; Zenisky et Hambleton, 2015). Les rapports finaux contiennent les spécifications définitives du test ainsi que tout ce qui est lié à la conception de l'épreuve. Les documents liés à l'épreuve comprennent les instructions pour la mise en place de l'épreuve et pour son utilisation, les informations et la formation des administrateurs du test, les différentes procédures liées à l'administration de l'épreuve, à sa correction, à son suivi ainsi qu'à son entreposage.

La sixième étape est la révision et elle est obligatoire pour l'utilisation d'une épreuve à long terme. Malgré un processus rigoureux de développement d'une épreuve, la recherche évolue rapidement et les normes et procédures prescrites peuvent se modifier dans le temps. Il est donc nécessaire de vérifier et de réviser périodiquement l'épreuve dûment élaborée si de nouvelles données viennent changer significativement les interprétations ressorties, les conditions d'utilisation, l'équité ou la validité remettant en question certains choix faits préalablement (AERA *et al.*, 2014).

En somme, plusieurs cadres de références existent concernant l'élaboration d'une épreuve, mais il est possible de regrouper les différents processus en six étapes : (1) la planification générale de l'épreuve, (2) la rédaction des items, (3) l'assemblage du test, (4) l'administration, notation et validation d'une épreuve, (5) le développement de rapports finaux, sécurité du test et développement de la documentation, (6) la

révision du test. Chacune des étapes comporte des directives précises à suivre afin de garantir la validité et la fidélité de l'épreuve. Si l'épreuve est considérée comme valide et fidèle, les interprétations ressorties le seront aussi. Étant un concept crucial dans le développement d'une épreuve, la validation sera présentée en profondeur dans la section suivante et les directives spécifiques à tenir compte pour la validation d'une épreuve se basant sur l'ADC seront par la suite abordées.

2.4 Validation

Au début des années 2000, dans son nouveau programme de formation de l'école québécoise, le MEQ (2003) identifiait trois valeurs instrumentales indispensables dans sa politique d'évaluation : rigueur, transparence et cohérence. La dernière valeur instrumentale, soit la cohérence, garantit qu'il existe des liens étroits entre ce qui est évalué et ce qui doit être évalué (Durand et Chouinard, 2006; Fontaine *et al.*, 2020; MEQ, 2003). De ce fait, la cohérence relie les documents officiels du MEQ tels que le cadre d'évaluation, le programme de formation et la progression des apprentissages avec les stratégies et les activités d'évaluation (Fontaine *et al.*, 2020). Cette liaison assemble le contenu, principalement relié aux concepts prescrits et aux compétences à développer, et leur format tel que, le type de questions posées, le contexte dans lequel se fait l'apprentissage ou l'évaluation (Fontaine *et al.*, 2020). Par conséquent, il est possible de considérer qu'une évaluation cohérente sera aussi une évaluation valide (Durand et Chouinard, 2006; Fontaine *et al.*, 2020; MEQ, 2003). En revanche, malgré des mesures méticuleuses et précises de validation, aucune épreuve ne peut être valide intégralement et il convient d'en maximiser la validité tout en gardant sa faisabilité (AERA *et al.*, 2014; Fontaine *et al.*, 2020; Irwing et Hughes, 2018). Ainsi, le temps alloué pour l'élaboration de l'instrument, la durée permise aux répondants lors de la passation, les coûts et les experts disponibles doivent être pris en considération lors de la validation. Cette section abordera le concept de validité d'une épreuve, les différents types de validité, les processus retenus pour établir la validité d'une épreuve et le rôle des experts tout au long du processus de validation.

2.4.1 Définition de la validité

Un instrument valide permet de mesurer les variables pour lesquelles il a été élaboré (AERA *et al.*, 2014; Bertrand et Blais, 2004; Borsboom et Mellenbergh, 2007; Lane *et al.*, 2016; Loye, 2008; Nichols, 1994; Yang et Embretson, 2007). Les variables peuvent être qualitatives ou quantitatives. Les savoirs, savoir-faire, savoir-être ou compétences sont des variables qualitatives. Par exemple, la méthode pour résoudre un problème relevant de la physique est un ensemble de savoir-faire, car elle comporte une résolution en plusieurs étapes combinant la physique et les mathématiques que l'élève doit déployer. En revanche, les

variables peuvent aussi être quantitatives telles que la valeur de la masse, de la hauteur ou de la pression. Peu importe le type de variables, la validité peut être affirmée seulement lorsqu'il y a une accumulation d'observations empiriques suffisantes démontrant la corrélation entre les résultats produits et les hypothèses avancées lors de l'élaboration de l'épreuve et des items (Bertrand et Blais, 2004; De la Torre et Minchen, 2014; Lane *et al.*, 2016; Marcoux *et al.*, 2014; Rey, 2016; Haynes *et al.*, 1995; Yang et Embretson, 2007). Dans le cas d'une épreuve diagnostique cognitive, les hypothèses avancées sont celles qu'il faut maîtriser les attributs spécifiques déterminés au départ lors de la résolution de chacun des items.

Quant à elle, la validation est le processus par lequel la validité s'effectue et se réalise par l'accumulation de preuves basées entre autres sur le contenu et le construit (AERA *et al.*, 2014; Bertrand et Blais, 2004; Lane *et al.*, 2016; Li et Suen, 2013; Marcoux *et al.*, 2014; Yusoff, 2019). La validité est ainsi une qualité de l'épreuve et la validation est le processus pour atteindre cette qualité. Au fur et à mesure que les preuves confirment ce qui était prévu, la validité des interprétations et de l'utilisation de l'épreuve est solidifiée (AERA *et al.*, 2014; Lane *et al.*, 2016). La qualité et la quantité de preuves nécessaires concordent avec la complexité de l'épreuve et des interprétations. Par conséquent, un test à enjeux élevés devrait nécessiter un plus grand nombre de preuves ainsi que des exigences plus élevées sur la nature de ces preuves (AERA *et al.*, 2014; Lane *et al.*, 2016; Haynes *et al.*, 1995).

La validité d'une épreuve permet trois grands avantages : le premier est la transférabilité des résultats, soit de pouvoir généraliser les résultats à des populations, des conditions ou des contextes en lien avec ceux de l'étude. Le deuxième avantage est la crédibilité du jugement, soit faisant référence à la fiabilité et à l'exactitude des interprétations. Finalement, le troisième avantage est la stabilité dans le temps, soit l'obtention de résultats semblables, peu importe à quel moment le test est effectué (Lane *et al.*, 2016; Marcoux *et al.*, 2014; Yang et Embretson, 2007). Pour arriver à ces trois avantages, un processus de validation rigoureux doit être mis en place tant pour la validité du contenu que pour la validité du construit, soient les deux validités que nous analyserons à la suite de la passation de notre épreuve. La validité de contenu est reliée à la présence dans un test des différents concepts et notions que l'on désire mesurer. La validité de construit quant à elle fait référence à la nécessité de mettre en application des attributs, variables et concepts spécifiques pour réussir des items. Par exemple, un item nécessitant le calcul de la force gravitationnelle entre deux corps peut être valide en ce qui a trait à son construit si l'élève doit appliquer correctement la formule de la gravitation universelle en utilisant les variables appropriées à la situation afin de réussir l'item. Dans la section suivante, nous approfondirons les deux types de validités

incluses dans notre recherche et nous exposerons leurs étapes de validations respectives que nous mettrons en application.

2.4.2 Différents types de preuves de validité

La validité du contenu analyse la relation entre le contenu d'un test et le construit qu'il est censé mesurer (AERA *et al.*, 2014; Cronbach et Meehl, 1955; Cureton, 1951; Delacroix, Jolibert, Monnot et Jourdan, 2021; Demeuse et Henry, 2004; DeVellis, 2011; Durand et Blais, 2009; Giordano et Jolibert, 2012; Haynes *et al.*, 1995; Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016; Yusoff, 2019). Le construit peut-être défini comme un ou plusieurs concepts, attributs, variables ciblées ainsi que par les inférences que l'on désire ressortir (AERA *et al.*, 2014; Cronbach et Meehl, 1955; Haynes *et al.*, 1995; Yang et Embretson, 2007; Yusoff, 2019). Le contenu de l'épreuve doit ainsi être représentatif du construit ciblé selon la proportion de chacune de ses composantes (AERA *et al.*, 2014; Haynes *et al.*, 1995; Yusoff, 2019; Yang et Embretson, 2007). De plus, il doit se faire tant superficiellement qu'en profondeur dans le contenu (AERA *et al.*, 2014; Haynes *et al.*, 1995; Yusoff, 2019; Yang et Embretson, 2007). Par exemple, en physique mécanique, les élèves de 5^e secondaire explorent le concept de force d'une manière générale par sa définition et par ses conséquences sur les objets puis, abordent spécifiquement chacune des grandes forces dont la force gravitationnelle, la force de frottement, la force normale et la force centripète. De plus, l'accent lors de l'apprentissage des forces est davantage mis sur la force gravitationnelle et de frottement que sur la force normale ou la force centripète. De ce fait, une épreuve basée sur les forces contiendrait des items sur le concept général de force ainsi que des items sur chacune des forces prescrites dans le programme éducatif. Aussi, les items portant sur la force gravitationnelle et de frottement seraient plus nombreux que ceux sur la force normale et la force centripète. Ainsi, si la base théorique et empirique en lien avec le construit est solide, plus il est facile de créer un test à partir de ce contenu et d'en tirer des inférences correctes exempt de biais (Irwing et Hughes, 2018). En éducation, le contenu correspond aux normes d'apprentissages en ce qui concerne les domaines d'apprentissage, la matière, et le niveau attendu d'exigences cognitives selon l'âge de l'élève (AERA *et al.*, 2014). Par exemple, le contenu pour une évaluation sur les atomes et les éléments de 2^e secondaire est cognitivement plus simple qu'une évaluation portant aussi sur les atomes et les éléments, mais en 4^e secondaire (MELS, 2011b).

Finalement, tous les éléments d'un test tels que le format de réponses des items, les instructions, les paramètres d'échantillonnage, les observations faites de même que l'administration et la notation du test peuvent influencer la validité du contenu (AERA *et al.*, 2014; Durand et Blais, 2009; Haynes *et al.*, 1995).

Ainsi, il ne sera pas possible de confirmer la validité d'une épreuve évaluant la maîtrise d'un raisonnement cognitif si la réponse ne nécessite qu'un savoir au lieu d'un savoir-faire.

La validité de construit permet d'affirmer que l'épreuve mesure réellement et seulement le construit pour lequel il a été élaboré (AERA *et al.*, 2014; Bertrand et Blais, 2004; Borsboom et Mellenbergh, 2007; Bortevrou, Rasclé, Bruchon-Schweitzer et Collomb, 2006; Cook, et Beckman, 2006; Cronbach et Meehl, 1955; Delacroix *et al.*, 2021; DeVellis, 2011; Durand et Blais, 2009; Giordano et Jolibert, 2012; Haynes *et al.*, 1995; Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016; Loye, 2008; Nichols, 1994; Yang et Embretson, 2007; Yusoff, 2019). Dans le cadre de notre recherche, ce construit correspond aux processus cognitifs reliés à la physique mécanique dynamique de 5^e secondaire. Cette validité peut se faire en ce qui concerne l'item lorsque l'on vérifie que le construit ciblé doit réellement être maîtrisé pour répondre à un item. De plus, la validité de construit peut se réaliser en comparant plusieurs items nécessitant le même construit. Par exemple, si plusieurs items nécessitent d'être capable de bien orienter la force gravitationnelle, les résolutions de ces items par les élèves pourraient être comparées pour confirmer qu'un élève pouvant bien résoudre ces items maîtrise ce processus cognitif.

2.4.3 Processus de la validation du contenu et de construit

Dans le cadre de notre recherche, nous garderons dans le processus de validation que les types de preuves pouvant être obtenus et pertinents dans notre démarche soient la validité du contenu et du construit.

2.4.3.1 Processus de la validation du contenu

Plusieurs méthodes existent afin de confirmer la validité du contenu d'une épreuve allant de la validation qualitative à la validation quantitative des experts. La validation qualitative assure, par déduction, que tous les éléments du contenu ont bel et bien été inclus (Cronbach et Meehl, 1955; Ricard, 2007). La validation quantitative du contenu consisterait à calculer l'indice de validation du contenu (IVC) (Haynes *et al.*, 1995; Lynn, 1986; Yusoff, 2019). En revanche, que la validation soit qualitative ou quantitative, il est possible de regrouper les processus en trois grandes étapes communes soit (1) la définition du domaine (contenu) et du construit (attribut) à mesurer (2) l'élaboration de l'épreuve et des items et (3) la validation du contenu à l'aide d'experts du domaine, d'un tableau de spécifications et d'échelle de mesure (Haynes *et al.*, 1995; Lynn, 1986; Ricard, 2007; Yusoff, 2019). Les étapes 1 et 2 sont similaires aux étapes du développement d'une épreuve abordé précédemment dans ce chapitre. Les consignes énoncées pour leur réalisation peuvent donc être utilisées. Dans le cadre de notre recherche, les deux premières étapes de la

validation du contenu se feront précédemment lors de la deuxième étape, soit la *Rédaction des items*. Pour l'étape 3, soit la validation du contenu à l'aide d'experts du domaine, d'un tableau de spécifications et d'échelle de mesure, il est important de prendre en compte le nombre d'experts qui convient à la recherche : un nombre insuffisant d'experts peut limiter la validité de contenu, car le jugement erroné d'un expert peut alors provoquer une grande influence sur les décisions finales. Le minimum acceptable correspond à deux experts, bien que pour optimiser la validité d'une épreuve, on recommande généralement entre 5 et 8 (Yusoff, 2019). En fonction de leurs besoins et selon les différentes phases d'élaboration de leur épreuve, les chercheurs ont fait appel à un nombre variable d'experts : Ricard (2007) ainsi que Loye et Lambert-Chan (2016) ont utilisé de 1 à 2 experts, Chin, Chew, Lim et Thien (2021) ont impliqué 2 experts en plus d'eux-mêmes et Tjoe et de la Torre (2013) ont sollicité 2, 4 ou 6 experts. Loye (2009), dans sa recherche sur les modèles cognitifs et l'élaboration d'une matrice Q a engagé 4 experts enseignants dans le domaine visé tout en spécifiant précédemment que le nombre d'experts devrait être déterminé par les besoins de la recherche. En ce qui a trait à la méthode MACB employée dans notre recherche, il est recommandé de recourir de 4 à 10 experts afin de faciliter les échanges tout en ayant une diversité d'opinions (Vanderwood *et al.*, 1993).

Le choix des experts est déterminant, car ceux-ci prendront aussi part à la validation de construit. Les caractéristiques et l'expérience requises de ces experts exerceront donc une influence sur nos deux processus de validation. Finalement, dans le domaine de l'éducation, la validation de contenu se fera par l'analyse des programmes éducatifs, des manuels scolaires, des notes de cours, de l'avis d'enseignants et des intervenants auprès de la population cible pour assurer la pertinence de chaque contenu ainsi que de garantir la proportionnalité de chaque facette du contenu (AERA *et al.*, 2014; Cureton, 1951; Demeuse et Henry, 2004; Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016).

2.4.3.2 Processus de la validation de construit

Le processus de validation de construit permet de confirmer que les items peuvent être répondus seulement par les attributs identifiés au départ (De la Torre et Minchen, 2014). Généralement, ce sont par l'analyse des réponses individuelles qu'il est possible d'identifier les attributs utilisés lors de la résolution de chaque item (AERA *et al.*, 2014; Cook, et Beckman, 2006; Irwing et Hughes, 2018).

Le processus de validité de construit est crucial, car il influence directement le diagnostic ressorti à la fin par l'interprétation des résultats. Il sera donc important d'assurer le pouvoir de diagnostic des items en

identifiant les bons attributs qui seront utilisés et en créant des items faciles à corriger, mais assez complexes afin d'évaluer adéquatement la performance du répondant. L'identification des attributs dépend entre autres des experts, de leur expérience et de leur expertise.

Par conséquent, le choix des experts est donc un processus majeur, car la validité de l'épreuve dépend de la participation et du jugement des experts vu qu'ils sont au cœur du processus de développement du test et que leur jugement doit être valide, fidèle et concordant (AERA *et al.*, 2014; Cronbach et Meehl, 1955; Haynes *et al.*, 1995; Lynn, 1986, Ricard, 2007; Yusoff, 2019). Le choix des experts se base sur la compétence et l'expérience de ceux-ci dans le domaine approprié du test, mais aussi sur une formation en lien avec l'épreuve qui sera développée (AERA *et al.*, 2014; Haynes *et al.*, 1995; Lynn, 1986; Loye, 2008, Ricard, 2007; Yusoff, 2019). Cette formation peut se faire avant, pendant et/ou après le développement du test (Fontaine *et al.*, 2020; Loye, 2008).

- Une formation préliminaire consiste à donner les informations nécessaires aux experts concernant par exemple les consignes, leur rôle, l'utilisation des échelles et des outils (Loye, 2008). Cette formation peut n'être simplement qu'une séance d'informations lorsque les chercheurs n'ont qu'à communiquer des renseignements importants tels que l'objectif de l'étude, la durée permise, etc. En revanche, elle peut aussi être une formation donnée par les responsables de l'épreuve quand les experts ne sont pas familiers avec certains aspects tels que l'utilisation de l'échelle de Likert ou d'un programme informatique spécifique. Ainsi, lors du développement d'une épreuve diagnostique cognitive, les experts familiers avec cette approche pourraient n'avoir que la séance d'informations alors que ceux n'étant pas habitués avec l'ADC devraient avoir une formation sur cette approche.
- Lorsque la séance d'informations est pendant le processus de développement, elle peut se faire par la comparaison des analyses des experts entre eux. Cette comparaison permet un réajustement des analyses et des observations pour un meilleur gage de fidélité des matrices et des interprétations ressorties par les modèles cognitifs (Fontaine *et al.*, 2020).
- Finalement, lorsque la formation se fait à la suite du processus de développement, elle consiste à comparer les analyses des réponses des répondants par chacun des experts dans l'optique d'assurer une objectivité constante, une solidification des observations, une minimisation des constats erronés ainsi qu'une meilleure harmonisation de la compréhension de l'outil utilisé (Fontaine *et al.*, 2020). Ce processus se nomme la validité interjuge.

Il est donc important, lors de la sélection de ces experts, de tenir compte de leur nombre ainsi que de leurs caractéristiques personnelles telles que leur compétence et leur expérience pour minimiser les obstacles qui peuvent influencer les interprétations ressorties. La section suivante abordera la validation plus spécifique pour une épreuve diagnostique cognitive.

2.4.4 Validation d'une épreuve diagnostique cognitive

Une épreuve diagnostique cognitive comportera certaines caractéristiques uniques à elle-même lors de la validation de construit principalement en ce qui a trait à l'identification des attributs ainsi que lors de l'élaboration d'une matrice Q. Premièrement, vu que ce type d'épreuve a pour but d'identifier les forces et les faiblesses en ce qui concerne les attributs, il est primordial d'obtenir des preuves du raisonnement utilisé par les répondants lors de la résolution des items. L'analyse des réponses individuelles, sous forme écrite et/ou par des protocoles verbaux faits par le répondant lors de l'épreuve, permet de récolter les preuves empiriques confirmant l'utilisation des processus cognitifs prédits (AERA *et al.*, 2014; Li et Suen, 2013; Li, Zhen et Liu, 2021; Loye et Lambert-Chan, 2016; Tjoe et de la Torre, 2014). Cette analyse individuelle des réponses permet de comprendre le construit des élèves ainsi que tous les résultats anormaux et interprétations inattendus tels que l'utilisation de processus cognitifs non pertinents (AERA *et al.*, 2014; Li et Suen, 2013; Nichols, 1994). Ces processus non prévus peuvent engendrer une variance indésirable dans les résultats comme un diagnostic ne correspondant pas au profil réel de l'élève (AERA *et al.*, 2014; Li et Suen, 2013; Nichols, 1994). Dans le cas de résultats non souhaités, une révision du test et une recherche plus approfondie peuvent être nécessaires afin d'assurer l'absence de biais et d'iniquité (Nichols, 1994; Yang et Embretson, 2007). En éducation, ces experts sont choisis parmi des enseignants ainsi que parmi des professeurs œuvrant dans le domaine de la didactique ou de la mesure et évaluation.

De plus, vu que cette recherche porte sur l'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive en physique, il est important de prendre en considération les sources de difficultés rencontrées dans cette discipline en ce qui concerne les processus cognitifs. Deux grandes sources de difficultés en lien avec ces processus ont été présentées dans le chapitre 1 : les difficultés de transfert et les conceptions spontanées ou alternatives (NRC, 1997; Rai et Kumar, 2019; Taber, 2013). Vu que ces difficultés sont d'origine cognitive, l'analyse des résolutions écrites combinées avec l'analyse des protocoles à voix haute permet de garantir la maîtrise des processus cognitifs ciblés ainsi que de connaître les principales difficultés (NRC, 1997; Péladeau *et al.*, 2005; Rai et Kumar, 2019; Taber, 2013; Samson, 2003). Celles-ci peuvent être connues antérieurement et constitueront généralement les leurres des items. En revanche, des difficultés liées à la physique,

rencontrées par les élèves et non envisagées par les chercheurs pourront être décelées par ces analyses et pourront venir modifier les leurres.

Par exemple, Tjoe et De la Torre (2014) ont réalisé la validité de construit en utilisant des enseignants et des élèves lors de leur élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive en mathématiques. Les enseignants ont préalablement résolu les items pour établir les processus cognitifs demandés et par la suite, ont identifié les manières les plus courantes de résolution faite par les élèves. Un échantillon d'élèves a résolu les items et exprimé de façon manuscrite et orale leur raisonnement cognitif. Cela a permis de confirmer les principales difficultés ressorties préalablement par les experts et d'identifier des attributs pertinents non identifiés ainsi que ceux oubliés (De la Torre et Tjoe, 2014). Par conséquent, dans une épreuve basée sur l'approche diagnostique cognitive, les experts jouent un rôle avant, lors de prévision des difficultés rencontrées par les élèves et les leurres possibles, et après la prévalidation, lorsqu'ils vérifient ou modifient leurs hypothèses de départ le cas échéant.

Deuxièmement, une des spécificités liées à la validité d'une épreuve basée sur l'ADC est la présence de la matrice Q reliant les attributs aux items (Chiu, 2013; De la Torre et Chiu, 2016; De la Torre, 2008; Lee et Sawaki, 2009; Li et Suen, 2013; Li *et al.*, 2021; Liu, Xu et Ying, 2012; Loye, 2008, 2009, 2010). Les experts identifient les liens logiques entre chacun des attributs ainsi qu'entre les attributs et les items (Loye, 2008, 2009; De la Torre et Tjoe, 2014). De plus, au lieu de construire à chaque étape une toute nouvelle matrice Q, les experts raffinent la matrice Q de départ à l'aide des résultats obtenus lors de mises à l'essai et de passation (Lee et Sawaki, 2009; Loye, 2008, 2009, 2010).

Finalement, malgré un processus rigoureux de validation, l'élaboration des items et le manque de connaissances sur les attributs théoriques en physique peuvent provoquer une variance dans les résultats. En premier lieu, celle-ci peut se produire lorsque des processus nécessaires dans la résolution ont été oubliés ou que des processus ou éléments non souhaitables sont survenus. Ces deux situations engendrent une révision du test et/ou du cadre conceptuel et une validation des nouvelles interprétations (Loye, 2008, 2009; Yang et Embretson, 2007). En deuxième lieu, une variance liée au répondant peut survenir par exemple lorsque la performance résulte d'une devinette/choix aléatoire ou d'une étourderie ou si l'élève n'a pas donné le meilleur de lui-même (Loye, 2008, 2009; Marcoux *et al.*, 2014). Que la variance soit liée au test ou au répondant, cela peut provoquer une erreur lors du diagnostic de l'élève et sur la maîtrise ou non des attributs cognitifs (Loye, 2009).

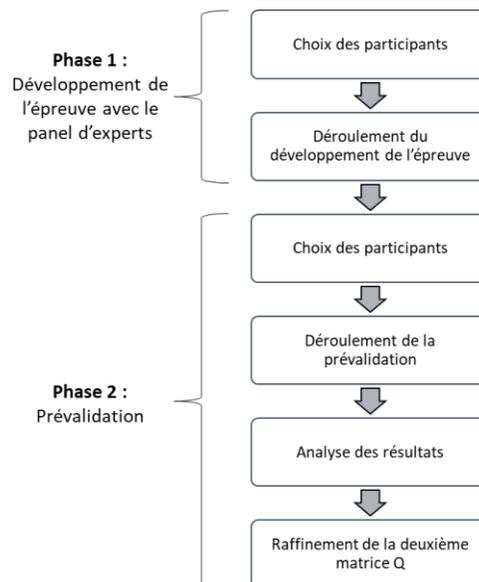
En résumé, le programme éducatif du cours de physique de 5^e secondaire est la continuité des cours de sciences ST et STE et de mathématiques SN ou TS des années précédentes et l'évaluation des élèves suivant le cours se base sur le développement de compétences. La CD2, soit *Mettre à profit ses connaissances en physique*, est celle ayant la plus grande pondération et le plus grand impact pour la réussite de l'élève. Dans un but d'aide à l'apprentissage, la création d'une évaluation basée sur l'ADC permettrait d'identifier les forces et faiblesses des élèves en lien avec le développement de la CD2. Le développement d'une épreuve diagnostique cognitive se fait selon les cinq étapes suivantes : (1) Identification des attributs, (2) Élaboration des items, (3) Élaboration de la matrice Q, (4) Prévalidation et administration de l'épreuve et (5) Analyse des résultats et rétroactions diagnostiques. Malgré les bénéfices que l'ADC apporte pour l'aide à l'apprentissage des élèves, encore peu d'épreuves basées sur cette approche ont été réalisées et plus particulièrement en sciences et technologies. La nécessité de fonder notre recherche sur des cadres de référence de développement général d'épreuves est donc déterminante. La synthèse de ces différents cadres a permis de ressortir une méthodologie en six étapes : (1) la planification générale de l'épreuve, (2) la rédaction des items, (3) l'assemblage du test, (4) l'administration, notation et validation d'une épreuve et (5) le développement de rapports finaux, sécurité du test et développement de la documentation et (6) la révision du test. Finalement, la combinaison du processus d'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive et les cadres de référence en développement d'épreuves permettent d'assurer une validité de l'épreuve qui entraîne par le fait même une validité des interprétations ressorties. Cette validité générale se fait entre autres par l'accumulation de preuves de la validité du contenu et de la validité de construit. Ce chapitre a donc permis de définir le domaine et le contenu du test ainsi que d'obtenir les directives à suivre pour le développement d'un instrument qui encadreront l'élaboration de l'épreuve au cœur de notre recherche. Le chapitre suivant abordera la méthodologie utilisée lors de l'élaboration de cette épreuve.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

Lors de précédentes études, l'ADC a démontré son potentiel à identifier les forces et les faiblesses des apprenants particulièrement dans le domaine des langues et celui des mathématiques. En revanche, cette approche n'a pas été appliquée dans le domaine des sciences, plus particulièrement en physique, notamment au Québec. Cette recherche a pour objectif d'élaborer une épreuve permettant de dépister les difficultés des élèves en physique de 5^e secondaire. Plus spécifiquement, nous identifierons les attributs relevant de la physique mécanique dynamique, confectionnerons des items qu'il est possible de résoudre avec les attributs ciblés et prévaliderons ces items auprès d'un groupe d'élèves. Pour atteindre notre objectif principal et ses sous-objectifs, nous avons procédé en deux phases : (1) le développement de l'épreuve à l'aide d'un panel d'experts et (2) la prévalidation de l'épreuve par la participation d'un groupe d'élèves suivant le cours de physique de 5^e secondaire (voir Figure 3.1). Ce chapitre sera séparé en deux parties, soit la méthodologie pour la phase 1 et celle pour la phase 2. Dans la phase 1, nous traiterons de la procédure de sélection des experts, de l'identification des attributs, de l'élaboration des items et de la création de la matrice Q initiale. Dans la phase 2, nous présenterons le processus de sélection des élèves participants, le déroulement de la prévalidation des items, l'analyse des résultats et de la validation ainsi que le raffinement de la matrice Q. La dernière section abordera les considérations éthiques et le consentement des participants.

Figure 3.1 Phases et étapes du développement de l'épreuve diagnostique cognitive et de sa prévalidation



3.1 Phase 1 : Développement de l'épreuve avec le panel d'experts

3.1.1 Choix des participants

Le choix des experts est déterminant vu que leur participation est requise tout au long de l'élaboration du test et que leur compétence et jugement influencent la validité de l'épreuve (AERA *et al.*, 2014; Cronbach et Meehl, 1955; Haynes *et al.*, 1995; Lynn, 1986; Ricard, 2007; Yusoff, 2019). Les experts ont premièrement identifié les attributs les plus importants lors de la résolution de problèmes portant sur la physique mécanique dynamique. Deuxièmement, les experts ont élaboré des items portant sur ce contenu à partir des attributs identifiés. Troisièmement, ils ont ressorti les difficultés que les élèves ont rencontrées lors de la résolution des items. Les experts sélectionnés répondaient aux deux critères suivants: (1) avoir une expérience en enseignement de la physique au secondaire et (2) avoir participé à l'élaboration des évaluations en physique dans leur établissement scolaire. Les experts connaissaient par conséquent les attentes envers les élèves en ce qui a trait à ses processus cognitifs, les difficultés récurrentes d'une année à l'autre et le langage utilisé par le programme éducatif.

Dans notre recherche, nous avons sélectionné deux experts qui ont collaboré étroitement avec la chercheuse dans la démarche de développement de l'épreuve diagnostique cognitive. Ayant été enseignante de physique de 2014 à 2024, celle-ci connaît le programme de formation pour le cours de physique de 5e secondaire, les exigences du cadre d'évaluation prescrites par le MEES et les embuches rencontrées par les élèves de ce niveau. Le choix d'avoir trois experts nous a permis d'avoir une diversité d'opinions tout en garantissant une facilité pour les échanges et les discussions lors de la méthode du MACB.

Le recrutement des deux experts a été réalisé par une demande de participation envoyée par courriel aux enseignants de physique à l'hiver 2023 à l'aide des répertoires des enseignants disponibles sur le site internet des écoles secondaires ainsi que par des demandes aux directions de ces établissements. La lettre d'information pour le recrutement des experts contenait les informations liées au projet telles que la présentation de notre recherche et de ses objectifs, les critères de sélection, les tâches à réaliser et les retombées envisagées (Annexe A). Deux experts ont été choisis selon leur expérience et leur profil professionnel parmi les réponses reçues. Les deux experts ont une formation en enseignement des sciences et de la technologie au secondaire avec le domaine de la physique comme spécialité. Ils ont enseigné au secondaire la science depuis plus de 10 ans, dont plusieurs années la physique. Ils connaissent ainsi les programmes et les concepts prescrits scientifiques de secondaire 1 à 4 et le niveau attendu des

élèves lorsqu'ils arrivent au cours optionnel de physique de 5^e secondaire. Les experts ont aussi participé activement à l'élaboration d'évaluations en physique et en sciences au secondaire dans leur établissement respectif. Dans la section suivante, nous présenterons le déroulement du développement de l'épreuve avec le panel d'experts.

3.1.2 Déroulement du développement de l'épreuve

Le contenu de l'épreuve a été identifié par la chercheuse à l'aide de la recension des écrits sur les principales difficultés rencontrées lors de l'apprentissage de la physique ainsi qu'en s'appuyant sur les documents ministériels. Les concepts prescrits sont : *Diagramme de corps libre*, *Équilibre et résultante de plusieurs forces*, *Force de frottement* et *Force gravitationnelle*. Par la suite, la chercheuse a proposé 10 attributs nécessaires pour réussir les concepts prescrits et leur savoir-faire. Le Tableau 3.1 présente les concepts prescrits ciblés par la chercheuse, les savoir-faire reliés à ces notions et les attributs initiaux ressortis par la chercheuse en lien avec ces savoir-faire. Les informations des deux premières colonnes ont été ressorties du *Programme de formation de l'école québécoise*, de la *Progression des apprentissages* et du *Cadre d'évaluation* pour le cours de physique (MELS, 2007d, 2011a, 2011b) alors que les informations de la troisième colonne ont été ressorties par la chercheuse et validées lors de la première rencontre avec les experts.

Tableau 3.1 Tableau de spécifications de l'épreuve portant sur la physique mécanique dynamique basé sur les documents de référence ministériels (MELS, 2007d, 2011a, 2011b)

Concepts prescrits	Savoir-faire	Attributs initiaux ressortis par la chercheuse
Diagramme de corps libre	– Représenter les forces qui s'exercent sur un corps à l'aide de vecteurs	(1) Déterminer l'orientation de la Force de frottement (2) Déterminer l'orientation de la Force de gravité (3) Déterminer l'orientation de la Force normale (4) Déterminer l'orientation de la Force de rappel
Équilibre et résultante de plusieurs forces	– Déterminer la grandeur et l'orientation du vecteur associé à la force résultante d'un système de forces – Déterminer la grandeur et l'orientation du vecteur associé à la force équilibrante d'un système de forces	(5) Déterminer la norme de la Force résultante (6) Déterminer l'orientation de la Force résultante (7) Déterminer la norme et l'orientation de la Force équilibrante
Force de frottement	– Déterminer la valeur de la force de frottement dans une situation donnée	(8) Déterminer la norme de la Force de frottement
Force gravitationnelle	– Associer la chute libre d'un corps à l'effet de la force gravitationnelle	(9) Différencier le poids (Force gravitationnelle) de la masse (10) Déterminer des variables liées au mouvement à l'aide des forces et de la Force résultante

3.1.2.1 Identification des attributs

Pour déterminer les attributs les plus importants à diagnostiquer du Tableau 3.1, la chercheuse a tout d'abord ressorti une liste d'attributs initiaux à l'aide des documents de références ministériels et des difficultés des élèves identifiés lors de la recension des écrits. Ces attributs ont par la suite été discutés au sein du panel d'experts afin d'obtenir un consensus du groupe sur une liste d'attributs modifiés et de hiérarchiser ces attributs. Cette procédure permet de couvrir les trois étapes de la méthode MACB (Vanderwood *et al.*, 1993). Lors de la deuxième étape, les experts ont pu modifier les attributs afin d'arriver à une liste finale d'attributs. Finalement, la troisième étape a permis d'identifier les attributs qui seront ciblés dans l'épreuve.

Une première rencontre a eu lieu entre les experts afin de réaliser la hiérarchisation des attributs. Cette rencontre avait trois objectifs : (1) informer les deux experts sur la nature d'une épreuve diagnostique cognitive, d'un processus cognitif de même que sur la méthode MACB, (2) arriver à un consensus sur la liste des attributs finaux et (3) juger l'importance des attributs en accordant une valeur à chacun des attributs selon l'échelle de notation du MACB. Premièrement, la chercheuse a abordé le but du projet, ce qu'est l'approche diagnostique cognitive et les étapes pour développer une épreuve basée sur cette approche. Deuxièmement, elle a présenté le Tableau 3.1 aux experts ainsi que la liste des 10 attributs ressortis. Les experts ont ensuite analysé cette liste et lui ont apporté des modifications à la suite de discussions afin d'arriver à un consensus sur les attributs mis en application lors de la résolution de problèmes portant sur le contenu de la physique mécanique ciblé. À la suite du consensus, une liste de 7 *Attributs modifiés* numérotés (1) à (7) a été obtenue. Le processus menant à la modification des *Attributs initiaux* ainsi que les énoncés des *Attributs modifiés* seront présentés lors du chapitre 4 sur les résultats.

Troisièmement, la chercheuse a exposé les étapes de la hiérarchisation des attributs. Afin de déterminer les attributs les plus importants à faire le diagnostic, les experts ont utilisé une échelle de notation des attributs du MACB délimitée par les valeurs 0 à 100 allant du moins important au plus important. Le groupe d'experts est arrivé au consensus de l'attribut le plus important parmi ceux proposés dans la liste des 7 attributs afin de lui attribuer la valeur de 100. En suivant la méthode MACB, cet attribut a servi aux experts de référence afin d'établir la valeur des autres attributs (Shyvan *et al.*, 2013). Prenons par exemple l'attribut 1 avec une valeur de 100. Dans l'éventualité où l'attribut 3 serait considéré par les experts comme important, mais nettement moins que l'attribut 1, ils pourraient lui attribuer une valeur de 70. Suivant la

même logique, ils pourraient donner la valeur de 85 à un attribut moins important que l'attribut 1, mais plus important que l'attribut 3.

À la suite de la détermination de l'attribut ayant une valeur de 100, les trois experts ont individuellement attribué une valeur aux 6 autres attributs dans un tableau dont les résultats étaient rapportés dans un fichier accessible par la chercheuse, mais non visible à cet instant par les experts. Celui-ci a permis de compiler les valeurs attribuées par les experts et les moyennes obtenues pour chaque attribut (

ANNEXE E).

Lorsque l'attribution des valeurs par les experts a été terminée, ceux-ci ont entamé la hiérarchisation des attributs de la liste des plus importants à l'aide des moyennes obtenues et des discussions qu'elles ont engendrées. Selon les directives du MACB, les attributs ayant une moyenne de 90 et plus doivent être gardés et ceux inférieurs à 50 doivent être éliminés (Shyvan *et al.*, 2013; Vanderwood *et al.*, 1993). Les attributs ayant obtenu une moyenne entre 50 et 90 nécessitent quant à eux une discussion par les experts afin de déterminer ceux à garder et ceux à éliminer (Shyvan *et al.*, 2013; Vanderwood *et al.*, 1993). Les experts sont arrivés à un total de 4 attributs retenus que nous nommerons *Attributs finaux*, soit les attributs (1) *Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni*, (2) *Déterminer la Ff (norme et orientation)*, (4) *Déterminer la FN (norme et orientation)* et (6) *Déterminer la Fg (norme et orientation)*.

Les discussions et réflexions réalisées tout au long de ce processus seront présentées dans le chapitre suivant sur les résultats. De plus, nous établirons dans le chapitre 4 les définitions et les attentes vis-à-vis des élèves pour chacun des attributs retenus. C'est sur la base de ceux-ci que les items ont été élaborés par les experts.

3.1.2.2 Élaboration des items

Après avoir déterminé les 4 attributs les plus importants, les experts ont par la suite élaboré individuellement chacun 5 items de format choix de réponses à partir d'attributs spécifiques déterminés par la chercheuse pour assurer une représentativité de chacun des attributs et des liens qui relient les attributs et les items. Le Tableau 3.2 expose toutes les différentes combinaisons possibles des attributs finaux, le numéro de l'item correspondant dans l'évaluation et l'attribution aux experts.

Tableau 3.2 Répartition des items à développer avec combinaison des attributs

	1	6	2
Combinaisons d'attributs	4	1 et 2	1 et 6
	1 et 4	2 et 4	4 et 6
	2, 4 et 6	2 et 6	1, 2 et 4
	1, 2 et 6	1, 4 et 6	1, 2, 4 et 6

Un tableau de spécifications leur a été fourni contenant la liste d'attributs qu'ils ont hiérarchisés, le document présentant les directives à suivre lors de l'écriture des items et de leurs choix de réponses (voir Tableau 2.2) et une démarche guidée afin d'aider la rédaction des résolutions (ANNEXE F). Les experts, incluant la chercheuse, ont eu une semaine et demie pour élaborer les items, leur résolution et les choix de réponses liés aux principales difficultés que les élèves rencontreront. Durant cette semaine, une rencontre individuelle a été réalisée avec chacun des deux experts par la chercheuse afin de connaître l'avancement de la création des items et de répondre aux questions. Les éléments importants de ces rencontres seront abordés dans le chapitre 4.

Après ce délai, les deux experts ont envoyé leurs items à la chercheuse qui a créé un document de révision pour chacun des experts avec les items qu'ils avaient élaborés. Dans chacun des documents de révision, elle a inséré une grille d'évaluation après chaque item (ANNEXE G). Chacun des experts a révisé deux documents contenant les 5 items des autres experts et ont renvoyé leurs commentaires à la chercheuse qui en a fait la compilation. La révision a été réalisée en ce qui concerne la clarté, la compréhension, les directives de rédaction et le vocabulaire utilisé. Ils ont ensuite vérifié la résolution des items afin de garantir une résolution unique pour chacun, que les attributs et les contenus demandés sont présents dans la résolution et qu'aucun attribut non désiré n'est requis. Finalement, les experts ont révisé les choix de réponses proposés pour s'assurer que chacun est relié à une difficulté des processus cognitifs.

Finalement, les experts se sont réunis de nouveau pour une dernière rencontre afin de réviser en groupe les énoncés des items à la suite de leur révision individuelle. Chaque item a été révisé en prenant en compte les attributs nécessaires pour la résolution, le contenu présent et les règles d'écriture d'un item et des choix de réponses. Cette révision sera exposée en détail dans le chapitre suivant. À la suite des modifications, 15 items finaux ont été obtenus et ont été réunis pour l'élaboration de la première matrice Q.

3.1.2.3 Élaboration de la matrice Q initiale.

Avec les items élaborés et les attributs identifiés, la chercheuse a généré la première matrice Q présentée à l'aide du Tableau 3.3.

Tableau 3.3 - Matrice initiale des attributs contenus dans chacun des items élaborés par les experts

	A1	A2	A4	A6
Q1	1	0	0	0
Q2	0	1	0	0
Q3	0	0	1	0
Q4	0	0	0	1
Q5	1	1	0	0
Q6	1	0	1	0
Q7	1	0	0	1
Q8	0	1	1	0
Q9	0	1	0	1
Q10	0	0	1	1
Q11	1	1	1	0
Q12	1	1	0	1
Q13	0	1	1	1
Q14	1	0	1	1
Q15	1	1	1	1

Cette matrice Q permet d'identifier quels attributs doivent être maîtrisés pour répondre à chaque item à l'aide de chiffres binaires (0, 1). Cette matrice Q pourra être améliorée en fonction des résultats de la prévalidation, effectuée dans cette recherche, et pourra être raffinée plus précisément lors de l'administration de l'épreuve à grande échelle lors de validations subséquentes, qui ne seront pas réalisées dans ce mémoire, afin d'obtenir une matrice Q finale. La section suivante abordera la phase 2, soit la prévalidation à l'aide d'un groupe d'élèves.

3.2 Phase 2 : Prévalidation de l'épreuve auprès des élèves

3.2.1 Choix des participants

La phase 2, soit la prévalidation de l'épreuve, a été réalisée avec l'aide d'élèves suivant le cours de physique de 5e secondaire d'une école à Laval dans la province du Québec au Canada, établissement secondaire privée francophone, mais dont la clientèle est généralement allophone (Statistics Canada, 2017;

Ville de Laval, 2017). Selon le Bulletin des écoles secondaires du Québec (Labrie et Emes, 2020) réalisé par l'institut Fraser, les élèves participant à la recherche se retrouvent dans la moyenne québécoise pour le domaine des langues ainsi que de la mathématique, de la science et de la technologie. Également, les résultats obtenus par les élèves en classe et aux examens ministériels sont très similaires, minimisant la surévaluation ou la sous-évaluation des résultats scolaires des élèves par l'école (Labrie et Emes, 2020). De plus, la sélection des élèves de 4^e secondaire pour accéder au cours optionnel de physique pour l'école se base sur les résultats scolaires obtenus lors des cours de sciences et technologies ST et STE et du cours de mathématiques SN ou TS, soit le même processus que la majorité des écoles secondaires du Québec. Finalement, des considérations pratiques et de disponibilités ont été prises en compte afin de réaliser la prévalidation de l'épreuve à cette école. Lors de la validation à grande échelle, un échantillon d'élèves venant de plusieurs écoles de différentes régions du Québec devra être privilégié.

Lors de la phase de la prévalidation, 12 élèves âgés de 16 à 17 ans suivant le cours de physique de 5^e secondaire et faisant partie d'un même groupe classe ont fait la passation de l'épreuve diagnostique cognitive élaborée par les experts. Un petit nombre de répondants lors de la prévalidation permet de faire ressortir les raisonnements et processus cognitifs possibles utilisés afin de prévalider les contenus et les attributs évalués (Loye et Lambert-Chan, 2016; Turcotte et Talbot, 2017). De plus, il est possible d'identifier les erreurs récurrentes chez les répondants ainsi que les démarches non désirées utilisées sans pour autant alourdir le processus (Loye et Lambert-Chan, 2016). À la suite de la prévalidation d'une épreuve diagnostique cognitive auprès d'un petit échantillon, une expérimentation auprès d'un nombre plus important de candidats est essentielle afin de valider l'épreuve finale et de pouvoir la caractériser d'épreuve diagnostique cognitive (Demonty, Fagnang et Dupont, 2015; Loye et Lambert-Chan, 2016). Cependant, notre recherche se limitera à la prévalidation de l'épreuve auprès de ce petit groupe d'élèves.

Nous avons expérimenté une épreuve qui procèdera au diagnostic cognitif des élèves pour le cours de physique pour des élèves considérés comme forts, dans la moyenne ou faibles. De ce fait, afin de nous assurer de cette hétérogénéité, nous avons sélectionné 2 élèves forts, 4 élèves dans la moyenne et 6 élèves faibles sur la base de leurs résultats scolaires de la compétence disciplinaire 2 pour leur cours de physique de 5^e secondaire. De plus, leurs résultats aux épreuves ministérielles de 4^e secondaire pour les cours de sciences ST sont similaires à leurs résultats obtenus en classe. Cette cohérence dans les résultats élimine la surévaluation ou sous-évaluation de leurs résultats scolaires. Finalement, leurs résultats concernant la compétence disciplinaire 2 au cours de sciences STE de 4^e secondaire correspondent également à ceux

obtenus en 5^e secondaire pour le cours de physique. Les élèves forts se situaient entre 85% à 100% au sommaire des deux premières étapes pour la CD2, ceux dans la moyenne se situaient entre 70% et 84% et les élèves faibles étaient ceux entre 50% et 69%. La valeur des seuils a été déterminée par les critères d'admission au programme collégial de Sciences de la nature qui déterminent qu'une moyenne générale en 5^e secondaire de 75% est préférable pour la réussite du programme (Collège Bois-de-Boulogne, 2020). Les élèves faibles sont ceux qui nécessitent un plus grand besoin diagnostique. De plus, leurs résolutions erronées permettront de valider les leurres envisagés dans les choix de réponses par les experts. Ces deux raisons expliquent pourquoi ils ont été en plus grands nombres dans notre prévalidation. Finalement, l'avantage de prendre des élèves appartenant à un seul groupe classe était d'assurer que chacun des élèves a vu les notions dans le même ordre, pendant la même durée de temps et selon le même niveau de profondeur.

Avant la sélection des 12 élèves participants, la direction pédagogique de l'école ainsi que les adjoints à la direction ont été approchés afin d'obtenir leur autorisation. Une lettre explicative du projet leur a été envoyée contenant les objectifs de l'étude et les retombées envisagées, le nombre d'élèves requis, le déroulement de la passation et finalement, les considérations éthiques respectées (Annexe B et Annexe C). Après avoir obtenu l'autorisation de l'école et des différents intervenants, les élèves ont reçu une lettre d'information du projet ainsi qu'un formulaire de consentement pour participant mineur délivré par l'UQAM et le CERPE (CERPE, 2021) (Annexe H). Il contient les objectifs, informations en lien avec la procédure de l'administration de l'épreuve, les avantages et inconvénients liés à la participation, les compensations possibles, les mesures de confidentialité mises en place et la possibilité de retrait. Les élèves ainsi que leur responsable légal ont approuvé leur participation au projet de même que leur consentement à l'enregistrement audio lors de la passation. Nous avons ensuite rencontré les élèves ayant obtenu le consentement de leur responsable légal en vue de leur présenter le projet ainsi que toutes les informations pertinentes à leur participation. Cette présentation du projet s'est déroulée lors d'une période de français supplémentaire dans l'horaire de l'enseignante afin de minimiser les impacts du temps de classe pris. Le choix de présenter le projet durant un cours de français était d'éviter toute ambiguïté entre la passation de l'épreuve, les résultats obtenus et le cours de physique que les élèves suivent. Durant cette séance de prévalidation, une simulation à l'aide de la résolution d'une question portant sur un concept mathématique de 1^{er} cycle du secondaire leur a été montrée afin de leur exposer ce qui leur sera demandé lors de la passation et de leur expliquer les liens entre les choix multiples et le but d'une épreuve

basée sur l'ADC. Finalement, une période de commentaires a été accordée aux élèves pour qu'ils puissent poser leurs questions afin de clarifier toutes leurs interrogations en vue de la prévalidation.

3.2.2 Déroulement de la prévalidation

La prévalidation a débuté par la remise aux participants du document *Tâche de l'élève* (ANNEXE I), sur lequel les 12 élèves se sont vu attribuer un numéro permettant d'assurer leur anonymat et la confidentialité des prochaines étapes. Dans ce document, les élèves ont effectué la résolution écrite des items élaborés lors de la phase 1 et ont exprimé à voix haute leur raisonnement cognitif qui a été enregistré à l'aide d'une enregistreuse numérique. Ils ont par la suite choisi une réponse parmi celles proposées qui correspond au résultat obtenu lors de leur résolution écrite inscrite dans le document *Tâche de l'élève*.

L'utilisation du protocole verbal lors de la résolution des élèves a eu pour but de confirmer la mise en application des processus cognitifs pour chacun des items. Les cartes conceptuelles de chacune des résolutions des élèves seront créées par la chercheuse à l'aide des verbatims exposant le construit des élèves. Ce sont les réponses écrites en combinaison avec les verbatims qui seront analysés dans le chapitre 4 pour confirmer que les items peuvent être résolus par les attributs envisagés et que les réponses proposées concordent avec les résolutions des élèves et les principales difficultés identifiées. De plus, l'utilisation de protocoles verbaux nous permettra de mettre en relief les résultats non prévus ou indésirables qui pourraient influencer la validité des résultats et du diagnostic ressorti (AERA *et al.*, 2014; Li et Suen, 2013; Nichols, 1994). Dans de telles situations, une révision de la matrice Q sera nécessaire.

Cette première expérimentation de l'épreuve a été réalisée dans les mêmes conditions envisagées que pour l'épreuve finale, soit pour une durée maximale de 1h. La durée a été choisie afin de pouvoir être facilement réalisée lors d'une période de classe, peu importe l'école. En revanche, compte tenu du fait que lors d'une passation à grande échelle, les élèves ne devront pas verbaliser à haute voix leur raisonnement tout en faisant la résolution par écrit et que la charge cognitive sera moins grande, la durée réelle pourrait diminuer. La passation s'est déroulée lors d'un cours supplémentaire de français, afin de ne pas pénaliser les élèves dans leurs apprentissages, d'éviter toute ambiguïté entre le cours de physique suivi par les participants et les résultats obtenus lors de la passation et de leur analyse subséquente. Pour ceux qui ne participaient pas, ils ont été regroupés dans un autre local afin de faire du travail scolaire de leur choix.

Le jour de l'expérimentation, les participants ont eu un casque d'écoute avec microphone dans le but de pouvoir exprimer leur raisonnement à haute voix, sans pour autant que leur enregistrement soit contaminé par la voix des autres participants. Les élèves ont eu accès à l'évaluation en format papier, soit le cahier de l'épreuve (ANNEXE I) comprenant les questions et l'endroit désigné pour la résolution manuscrite. Les élèves ont répondu à l'aide de crayons à mine et ont eu accès à des effaces, des surligneurs, des règles et la calculatrice non graphique. Vu que l'instrument développé durant cette épreuve ne désire pas diagnostiquer des processus cognitifs relevant des mathématiques, il est préférable de permettre l'utilisation de la calculatrice afin de minimiser les variances non désirées dans les résultats (Loye et Lambert-Chan, 2016). En revanche, le dictionnaire n'a pas été autorisé vu que celui-ci pourrait avantager les élèves en donnant par exemple des définitions de concepts clés qui aideront la résolution d'un item tel que la définition de gravitation ou de force. Lors de la passation, il a été demandé aux élèves d'identifier les mots qu'ils trouvent complexes afin de vérifier si la connaissance de ces mots est essentielle pour le diagnostic ou s'ils peuvent être remplacés par d'autres, connus par les futurs répondants.

Un temps de 75 minutes équivalent à une période a été pris en compte, soit 1h pour l'épreuve et 15 minutes pour la préparation et la fin de l'épreuve. Lorsque les élèves ont été prêts à commencer le test, la chercheuse leur a fait quelques rappels verbaux tels que de passer en revue le cahier de l'épreuve, l'intention des questions et le format de réponse (écrit et audio). À la fin de ces rappels et après avoir répondu aux questions de l'élève, l'enregistreuse numérique de chaque élève a été mise en fonction, et ce, pour le reste de l'épreuve. Une heure après le début de l'épreuve, la chercheuse a demandé aux participants de refermer le cahier et d'arrêter l'enregistrement afin de ramasser l'épreuve, de vérifier la captation audio et de récolter les commentaires des répondants. Les participants ont eu le temps de répondre à toutes les questions avant que le temps ne se soit écoulé au complet. À la fin de la période, 12 cahiers de l'épreuve ont été complétés et récoltés ainsi que 12 enregistrements audios pour être analysés et pour effectuer la validation de construit et du contenu menant au raffinement de la matrice Q initiale.

3.2.3 Analyse des résultats

Durant l'analyse des résultats, un aspect crucial à prendre en compte pour valider l'instrument de mesure a été l'examen des cartes conceptuelles élaborées par les experts illustrant les démarches de résolution des items. Cela a permis de confirmer que les répondants utilisaient effectivement les attributs ciblés pour chaque item, ce qui contribue à établir la validité du construit et du contenu. Il a été primordial de vérifier si les processus cognitifs utilisés correspondaient à ceux qui étaient attendus et qu'une seule résolution

pouvait résoudre l'item. Les résolutions écrites en combinaison avec les cartes conceptuelles créées par les experts pour chaque item selon chacun des participants ont permis d'identifier les processus cognitifs mis en application par les répondants, qu'ils soient bons ou mauvais. Il a alors été possible de confirmer l'utilisation des attributs ciblés, les choix de réponses en lien avec les difficultés rencontrées par les répondants et finalement, qu'une seule résolution est possible. Ce deuxième aspect a rendu possibles la validation de construit et la validation du contenu.

La validité de construit a pu être réalisée lors de l'examen des réponses individuelles dans l'intention de confirmer les attributs utilisés (AERA *et al.*, 2014; Cook et Beckman, 2006; Irwing et Hughes, 2018). Lors de l'analyse des résolutions écrites et des cartes conceptuelles, nous avons fait simultanément la validité de construit en comparant les résolutions des élèves avec celles des experts. Nous avons alors pu confirmer que les attributs utilisés par les élèves étaient ceux prévus. L'analyse de chacune des résolutions selon chaque item sera présentée plus en détail dans le chapitre 4.

Pour la validité de contenu, nous avons comparé les résolutions attendues au tableau synthétisant le contenu de chaque item. Par conséquent, nous avons assuré l'adéquation entre le domaine et les items. Nous avons utilisé de ce fait la méthodologie qualitative présentée précédemment adaptée en trois étapes de Ricard (2007) ainsi que des premières étapes de Haynes, Richard et Kubany (1995), Lynn (1986) et Yusoff (2019). Les deux premières étapes, soit (1) la définition du domaine et du construit à mesurer (2) l'élaboration de l'épreuve et des items, ont été préalablement effectuées lors de la phase 1 du développement de notre épreuve. La troisième étape, soit (3) la validation du contenu à l'aide d'experts du domaine et d'un tableau de spécifications et d'échelle de mesure, a été réalisée lors de l'analyse des données et sera abordée lors du chapitre 4.

À l'aide du document Validation du contenu des items (ANNEXE J), la chercheuse a vérifié individuellement si les différents concepts du tableau de spécifications ont été sollicités lors de la résolution des participants pour chaque item en cochant la case correspondante de chacun des contenus. À l'intérieur du tableau, un espace supplémentaire a été mis pour indiquer si d'autres contenus non prévus ont été utilisés pour chaque item. La synthèse de la validation du contenu des items sera présentée lors du chapitre 4. En somme, le processus menant à la validité du contenu et de construit s'est fait selon la méthode de validation par accumulation de preuves. C'est à la suite de cette validation que nous avons pu raffiner la matrice Q initiale.

3.3 Considérations éthiques

En hiver 2023, nous avons fait la demande d'obtention de notre certificat éthique auprès du comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants (CERPE plurifacultaire) de l'Université du Québec à Montréal. À la suite de l'obtention du certificat, le processus de recrutement des participants pour l'élaboration de l'épreuve ainsi que pour la passation de celle-ci a été entamé. Ce présent projet a pu de ce fait être réalisé à l'aide d'experts du domaine ainsi que des élèves participants sous l'approbation de leurs adjoints à la direction, de la directrice pédagogique de l'école ainsi que des responsables légaux de chacun des élèves. Pour ce faire, l'adjoint à la direction et la directrice pédagogique de l'école ont préalablement signé la lettre d'informations autorisant la passation de l'épreuve élaborée auprès des élèves de l'école (voir Annexe B et Annexe C). De plus, les experts et les responsables des participants ont rempli un formulaire de consentement pour participation à ce projet (voir respectivement Annexe A et Annexe H). Le formulaire de consentement pour personne majeure de l'UQAM a été remis aux experts alors qu'un formulaire de consentement pour personne mineure de l'UQAM a été remis aux responsables légaux des élèves.

Le consentement des participants a été éclairé, libre et continu. Afin de garantir un consentement éclairé, chacun d'eux a préalablement pris connaissance de l'objectif de la recherche, des tâches demandées, de l'utilisation de leurs résultats ainsi que des avantages et des inconvénients de leur participation. De plus, les experts et les élèves ont participé sur une base volontaire à l'épreuve et ont pu en tout temps utiliser leur droit de retrait sans justification, pénalité ou préjudice.

Il est également important d'assurer la confidentialité des données obtenues par les élèves vis-à-vis de leur cours de physique. Bien que la séance d'informations ainsi que la prévalidation de l'épreuve se dérouleront lors d'une période de classe de français, aucun enseignant de l'école n'a participé à la récolte des données lors de la passation de l'épreuve ou à leur analyse par la suite. Si des participants désirent utiliser leur droit de retrait, toutes leurs informations recueillies ne seront pas utilisées. Lorsque la demande de retrait se fait lors de la passation de l'épreuve, la prévalidation est automatiquement arrêtée et les données récoltées ne sont pas retenues pour les analyses.

Afin d'assurer l'anonymat des élèves participants, chacun d'eux s'est vu attribuer un numéro lors de la prévalidation de l'épreuve. Ce numéro servira comme identification lors de l'analyse des données et de la divulgation des résultats afin de conserver la confidentialité des participants et de leurs résultats. Ces

données seront conservées pour la durée de la recherche, soit jusqu'au printemps 2024, et seront par la suite détruites. Les données récoltées se sont faites sur la participation volontaire de l'élève, ce qui, par conséquent, n'a pas influencé leurs résultats scolaires.

Finalement, aucune compensation n'a été donnée aux participants. L'engagement des participants s'est uniquement fait dans le but de faire avancer les connaissances dans le domaine de l'approche diagnostique cognitive et de l'identification des difficultés d'apprentissage en physique.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

Ce présent chapitre présentera les résultats de notre recherche. Nous allons aborder dans la première partie l'analyse de la phase 1, soit le développement de l'épreuve diagnostique cognitive à l'aide d'experts par l'identification des attributs et la création d'items, et dans la deuxième partie, l'analyse de la phase 2, soit la prévalidation de l'épreuve réalisée avec la passation de l'épreuve auprès de 12 participants afin de valider le construit et le contenu.

4.1 Résultats de la phase 1 : Développement de l'épreuve avec le panel d'experts

4.1.1 Première rencontre avec le panel d'experts

Nous avons développé une épreuve avec la participation de 3 experts du domaine, dont la chercheuse. Ces experts ont été sélectionnés sur la base de leur formation en enseignement de la science, avec une spécialisation en physique, et sur leur expérience en enseignement et en élaboration d'évaluations portant sur le domaine de la physique. Leur participation a été requise tout au long du développement de l'épreuve. La première étape de la conception de l'évaluation consistait à obtenir un consensus des experts sur les attributs utilisés lors de l'apprentissage de la physique mécanique dynamique, que nous nommerons *Attributs modifiés*, et qui seraient par la suite hiérarchisés afin de déterminer ceux qui seront présents dans l'épreuve, soit les *Attributs finaux*.

Les experts se sont ainsi rencontrés à trois reprises, deux fois en groupe de 3 et une fois pour une rencontre individuelle entre la chercheuse et chaque expert. La première rencontre avait pour but (1) d'expliquer le projet de recherche et l'ADC, (2) de présenter le contenu retenu pour l'épreuve ainsi que (3) les 10 *Attributs initiaux* ressortis préalablement par la chercheuse en lien avec le contenu identifié, (4) d'obtenir un consensus de groupe sur les *Attributs modifiés* et (5) de hiérarchiser les *Attributs modifiés* pour obtenir les *Attributs finaux* sur lesquels se baserait le développement des items. Lors de ces étapes, les experts ont commencé avec 10 *Attributs initiaux*, et après des discussions entre eux, 7 *Attributs modifiés* ont été obtenus. Par la suite, les experts ont appliqué la méthode MACB afin de hiérarchiser ces *Attributs modifiés* et d'identifier les 4 *Attributs finaux* les plus importants à diagnostiquer parmi les 7 *Attributs modifiés*. Ces étapes et discussions seront approfondies dans les sections suivantes. Le consensus de groupe et la hiérarchisation correspondent aux deux dernières étapes à la méthode MACB (Vanderwood *et al.*, 1993)

et seront présentés dans les sections suivantes de ce chapitre. La première étape, soit l'identification individuelle des attributs en difficulté, a été préalablement effectuée par la chercheuse. Cette première rencontre s'est terminée par des précisions concernant les attentes d'ici la prochaine rencontre en lien avec l'élaboration par les experts des 15 items de l'épreuve diagnostique cognitive.

4.1.2 Consensus sur les attributs

À la suite de la présentation du projet aux experts, la chercheuse a présenté les concepts prescrits, les savoir-faire et les 10 attributs qu'elle avait préalablement identifiés (voir Tableau 3.1). Les concepts prescrits et les savoir-faire ont été déterminés par la chercheuse à la suite de la recension des écrits sur les difficultés cognitives des élèves, du programme de formation de l'école québécoise et sur l'importance de ce contenu pour leur réussite future. C'est à partir des concepts prescrits et des savoir-faire que la chercheuse a pu identifier les processus cognitifs des élèves lors de la résolution de problèmes pour en somme définir 10 attributs. La chercheuse a aussi présenté aux experts lors de la présentation du Tableau 3.1 des pistes de réflexion afin de favoriser les questionnements et réflexions : *Ces attributs sont-ils en fait des calculs mathématiques et ne relèvent pas de la physique? Est-ce qu'il s'agit d'attributs utilisés lors de problème en mouvement rectiligne uniforme (MRU) ou mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA)? Est-ce que certains attributs englobent d'autres attributs? Est-ce que certains attributs peuvent être divisés ou regroupés?* Ces questionnements viennent des réflexions suscitées par la chercheuse lors du processus d'identification des 10 Attributs initiaux.

La discussion entre les experts a commencé par les explications de la chercheuse sur chacun des attributs qu'elle a ressortis. Les 4 premiers attributs correspondaient aux trois forces vues dans le programme de physique, soit la force de frottement (F_f), la force de gravité (F_g) et la force normale (F_N), ainsi qu'à la force de rappel (F_{rappel}). Cette dernière force est un concept qui est abordé en physique mécanique dynamique, mais qui est prescrit dans l'orientation suivante qui est de la *Transformation de l'énergie* (voir la Figure 2.1). Les forces peuvent être exprimées à l'aide de leur norme, soit leur grandeur, et de leur orientation, soit l'angle qu'elles forment avec l'axe des x. Vu qu'il s'agissait d'attributs en lien avec la représentation des forces, seule leur orientation était requise. Les attributs (5), (6) et (7) se fondaient sur le concept prescrit de l'équilibre ou du déséquilibre des forces, soit la norme de la force résultante (F_R), son orientation ainsi que la norme et l'orientation de la force équilibrante ($F_{\text{éq}}$).

L'attribut (8) se basait sur le concept de la force de frottement (F_f), soit une des trois forces prescrites dans le programme éducatif, mais ne prenait en compte que la norme, l'orientation de cette force de frottement étant considérée dans l'attribut (1). Finalement, la chercheuse identifia les attributs (8) et (9) à l'aide des notions liées à la gravitation. Une des difficultés ressorties lors de l'enseignement de la gravité est la confusion reliée à la notion de « masse », soit la quantité de matière d'un objet, et de « poids », soit la force sur la matière sous l'effet de la gravité (Chapel et Kroiss, 2020; Coppens, 2007). Une deuxième difficulté liée à la gravité réside dans la combinaison de la physique du mouvement vu précédemment, soit la physique *Cinématique*, et la physique *Dynamique*. La notion que le mouvement et la force soient intimement reliés représente parfois un obstacle étant donné le caractère invisible d'une force. Cette difficulté est apparente entre autres dans le principe de la chute libre.

C'est à la suite de la présentation des 10 *Attributs initiaux* que les experts ont commencé à échanger sur les attributs tant en exprimant leur opinion qu'en soulevant des questionnements. À la fin de la discussion entre les experts, 7 attributs ont été obtenus, soit les *Attributs modifiés*. C'est à partir de ces 7 attributs que les experts détermineront les 4 *Attributs finaux* qui constitueront l'épreuve. La section suivante présentera les réflexions et les constats finaux réalisés par les 3 experts afin d'arriver au consensus de ces 7 *Attributs modifiés*. Dans les sections subséquentes, nous présenterons plus en profondeur ces *Attributs modifiés* et ce qui est attendu d'un élève lors de la résolution pour affirmer la maîtrise de chacun pour un élève de 5^e secondaire dans le système scolaire québécois. Le Tableau 4.1 présente les concepts prescrits et les savoir-faire retenus en physique mécanique dynamique, les 10 *Attributs initiaux* ressortis par la chercheuse et les 7 *Attributs modifiés* à la suite du consensus des experts.

Tableau 4.1 Concepts prescrits, savoir-faire, *Attributs initiaux* et *Attributs modifiés* obtenus lors de la première rencontre

Concepts prescrits	Savoir-faire	<i>Attributs initiaux</i> ressortis par la chercheuse	<i>Attributs modifiés</i> à la suite du consensus par les experts
Diagramme de corps libre (DCL)	– Représenter les forces qui s'exercent sur un corps à l'aide de vecteurs	(1) Déterminer l'orientation de la F_f (2) Déterminer l'orientation de la F_g (3) Déterminer l'orientation de la F_N (4) Déterminer l'orientation de la F_{rappel}	(1) Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni
Équilibre et résultante de plusieurs forces	– Déterminer la grandeur et l'orientation du vecteur associé à la F_R d'un système de forces – Déterminer la grandeur et l'orientation du vecteur associé à la $F_{\text{éq}}$ d'un système de forces	(5) Déterminer la norme de la F_R (6) Déterminer l'orientation de la F_R (7) Déterminer la norme et l'orientation de la $F_{\text{éq}}$	(3) Déterminer la F_R (norme et orientation) (5) Décomposer les forces en x et en y (4) Déterminer la F_N (norme et orientation) (7) Déterminer la F_{rappel} (norme et orientation)
Force de frottement	– Déterminer la valeur de la F_f dans une situation donnée	(8) Déterminer la norme de la F_f	(2) Déterminer la F_f (norme et orientation)
Force gravitationnelle	– Associer la chute libre d'un corps à l'effet de la F_g	(9) Différencier le poids (F_g) de la masse (10) Déterminer des variables liées au mouvement à l'aide des forces et de la F_R	(6) Déterminer la F_g (norme et orientation)

4.1.2.1 Attribut (1) Tracer un DCL en fonction du système de référence fourni

Pour arriver aux 7 *Attributs modifiés*, un processus de réflexions et de questionnements a été réalisé par les trois experts lors de la première rencontre. En tout premier lieu, les deux experts recrutés se sont prononcés sur les concepts prescrits et les savoirs déterminés par la chercheuse. Ils ont établi, selon leur expérience en enseignement de la physique et selon les difficultés auxquels les élèves se heurtaient, que l'orientation de la *Dynamique* était un volet crucial à évaluer. Les forces, étant un concept généralement invisible à l'œil nu, peuvent être complexes et ardues pour des élèves de 5e secondaire. Les experts ont aussi exprimé leurs inquiétudes vis-à-vis des difficultés non diagnostiquées des élèves pour la suite et la réussite du cours de physique de 5e secondaire ainsi que pour le cheminement scolaire futur. Ils en sont venus à la conclusion que les concepts prescrits délimités par la chercheuse étaient des concepts décisifs à diagnostiquer lors de l'apprentissage des bases de la physique dynamique. Pour ce qui a trait aux savoir-

faire, les experts ont jugé qu'il s'agissait bien des savoir-faire reliés aux concepts prescrits délimités et qu'il était possible de les maîtriser à l'aide de la combinaison de résolutions mathématiques avec les notions théoriques de la physique. Finalement, bien qu'ils n'aient pas été en accord parfait avec les *Attributs initiaux* ressortis par la chercheuse, ils ont compris les liens avec les concepts prescrits et les savoir-faire. C'est donc à partir de ces *Attributs initiaux* que les experts ont pu amorcer une liste d'*Attributs modifiés* qu'ils hiérarchiseraient dans la deuxième partie de la rencontre.

Tout d'abord, les experts ont abordé les 4 premiers attributs initiaux en lien avec les concepts prescrits de Diagramme de corps libre (DCL). Un DCL consiste en une représentation visuelle à l'aide des forces présentes dans la situation problème et de lui ajouter le système de référence qui sera utilisé tout au long de la résolution. Les experts ont soulevé l'absence de relation entre les attributs (1) à (4) avec le système de référence et se sont questionnés si celui-ci devait être déterminé dès le début de l'item ou s'il devait être demandé aux élèves de choisir leur propre système de référence. Considérant que l'un des avantages d'utiliser les choix multiples dans l'ADC est d'en faciliter l'obtention des résultats et des profils diagnostique, les experts en sont venus à la conclusion que le système de référence devait être donné pour chacun des items. Ainsi, les élèves, ayant tous le même système de référence, arriveraient à une résolution unique. De plus, la présence et le positionnement du système de référence ne constituent pas un attribut en soi pour les experts, car il s'agit plutôt de déterminer si les élèves sont capables de résoudre un problème en cohérence avec leur système de référence. Selon les experts, la présence d'un système de référence dès le début d'un problème suit aussi la démarche de résolution d'un problème relevant de la physique mécanique et des stratégies prescrites dans le programme éducatif du cours de physique (MELS, 2011b). Ils ont aussi conclu qu'aucun avantage ou désavantage n'était donné aux participants si le système de référence leur était imposé au départ dans le problème.

Par la suite, les experts ont évalué la pertinence d'avoir plusieurs attributs pour le concept prescrit du DCL. Bien que le savoir-faire mentionne la représentation de plusieurs forces qui s'exercent sur un corps, les experts se sont interrogés sur la nécessité d'avoir des attributs qui identifient les forces et d'autres attributs pour cibler leur orientation. Ils en sont venus à la conclusion que les attributs initiaux (1) à (4) en lien avec la détermination de l'orientation des forces pouvaient être regroupés sous un seul attribut qui ferait un lien avec le système de référence abordé précédemment soit (1) *Tracer un DCL en fonction du système de référence fourni*. Ce qui serait évalué par cet attribut correspondrait uniquement à l'orientation des forces et non à leur norme. Aucun calcul ne serait donc nécessaire afin de ne pas être un attribut

relevant des mathématiques et de ne pas dédoubler les résolutions lorsque les élèves devront ultérieurement calculer algébriquement la norme des forces (MELS, 2016). En revanche, les experts ont considéré que les types de forces ressorties par la chercheuse, soit la force de gravité, de frottement, normale et de rappel, étaient appropriés vu qu'elles font partie du programme de formation en physique du Québec et qu'elles sont systématiquement abordées dans les problèmes relevant de la physique dynamique (MELS, 2007d, 2011b). Ils ont donc conclu qu'un attribut incluant la norme et l'orientation pour chaque type de force pourrait être pertinent pour les autres concepts prescrits délimités par la chercheuse lorsque des calculs seraient nécessaires. Ainsi, les 4 *Attributs initiaux* en lien avec la détermination de l'orientation des forces ont été modifiés afin d'y inclure leur norme. Cette réflexion sera présentée dans la section qui suit.

4.1.2.2 Attributs (2), (4), (6) et (7) concernant la force de gravité, la force de frottement, la force normale et la force de rappel

La discussion autour de l'orientation des forces lors des échanges sur l'attribut (1) *Tracer un diagramme de corps libre en fonction du système de référence fourni* a emmené les experts à se questionner en premier lieu sur l'utilité de séparer en deux les attributs liés aux forces : un attribut pour déterminer la norme et un attribut pour l'orientation de la force. L'expert 1 a souligné le fait que lorsque nous ferions les différentes combinaisons d'attributs pour l'élaboration des items, il ne serait pas possible de déterminer l'orientation de la force 1 seulement avec la norme de la force 2. Il faudrait nécessairement utiliser la norme ainsi que l'orientation de la force 2 pour trouver l'inconnue de la force 1. Les experts en sont venus à la conclusion que pour chacune des forces retenues en lien avec les concepts prescrits de la physique dynamique, l'orientation et la norme doivent donc être réunies dans un seul attribut.

En second lieu, les experts ont identifié les forces nécessaires afin de couvrir les concepts prescrits dans le programme éducatif du cours de physique au Québec. La première force ressortie par les experts a été celle liée au concept prescrit de la gravitation, soit la force gravitationnelle (F_g), vu qu'elle est systématiquement présente dans les problèmes de mécanique dynamique à la verticale. Bien qu'abordés lors des années précédentes, les experts ont jugé que l'origine de la force gravitationnelle et les notions théoriques inhérentes étaient véritablement approfondies par les élèves lors de leur cours de physique de 5e secondaire (MELS, 2011b, 2011c, 2007d). C'est aussi durant le cours de physique que les élèves devront la mettre en relation avec d'autres forces dans un contexte d'équilibre ou de déséquilibre. Les experts ont donc jugé qu'il était nécessaire d'avoir un attribut concernant la force gravitationnelle, soit l'attribut (6)

Déterminer la force de gravité (norme et orientation), et que pour maîtriser ce concept prescrit, les élèves devaient pouvoir faire appel à la norme et à l'orientation de cette force.

La deuxième force ressortie lors du consensus des experts sur la liste d'*Attributs modifiés* a été la force de frottement (F_f). Reliée au concept prescrit de la force de frottement dans le programme de formation du cours de physique, elle est approfondie en physique selon trois orientations : les effets de la force de frottement, les facteurs influençant la force de frottement et le calcul de la force de la force de frottement (MELS, 2007d). La nature des facteurs qui vont modifier la force de frottement est étudiée de manière conceptuelle en 5^e secondaire en lien avec la valeur de la force de frottement et ne sera traitée numériquement par des calculs seulement que lors de leur cours de physique au cégep. En revanche, les effets de la force de frottement sur un corps peuvent être reliés à la valeur de la force de frottement. Les élèves doivent alors interpréter la signification de la valeur obtenue. Ainsi, les experts ont statué qu'il était primordial de diagnostiquer la maîtrise du calcul de la force de frottement avant d'aborder les effets de cette force et les facteurs qui l'influencent. Les experts ont conclu que l'attribut (2) *Déterminer la Force de frottement (norme et orientation)* devait être présent dans la liste des *Attributs modifiés*.

La troisième force ciblée fut la force normale. Bien qu'elle ne soit pas présente à elle seule comme un concept prescrit, elle est reliée aux concepts prescrits du diagramme de corps libre, de l'équilibre et de la résultante de plusieurs forces, de la force gravitationnelle et de la 3^e loi de Newton (MELS, 2007d). Présente dans une majorité des situations problèmes vu qu'elle est couramment le pendant de la force de gravité, la force normale est l'une des principales forces vues en 5^e secondaire. Dans les problèmes plus complexes de la dynamique, la force normale n'est pas directement à la verticale. Les élèves doivent donc saisir que l'orientation de la force normale est perpendiculaire à la surface et non parfaitement opposée au centre de la Terre. Selon les experts, le diagnostic des difficultés sur la compréhension de l'orientation de la force normale était nécessaire en plus de sa norme. Ils ont donc inclus l'attribut (4) *Déterminer la force normale (norme et orientation)* dans la liste des *Attributs modifiés*.

La quatrième force sur laquelle les experts se sont penchés est la force de rappel. Telle que la force normale, la force de rappel ne possède pas un concept prescrit à elle seule (MELS, 2007d). En revanche, elle est étudiée dans l'orientation de la physique mécanique dynamique vu que les élèves devront par la suite y recourir dans l'orientation de la *Transformation de l'énergie* (MELS, 2007d). Elle est aussi généralement utilisée lors de la représentation du diagramme de corps libre (DCL) ainsi que lors de

situations problèmes de l'équilibre et du déséquilibre. Les experts ont statué que cette force devait être vue en physique dynamique et que par la suite, elle pourrait être réutilisée lors de problèmes relevant de la *Transformation de l'énergie*. Ils ont alors jugé qu'il serait alors pertinent d'inclure un attribut en lien avec la force de rappel dans la liste des attributs modifiés, soit l'attribut (7) *Déterminer la force de rappel (norme et orientation)*.

Deux autres forces sont fréquemment utilisées dans les problèmes de physique dynamique, soit la force de tension et la force de poussée. En revanche, il s'agit de deux forces n'ayant pas de concepts prescrits dans le programme ministériel et qui ne sont pas reliés directement à d'autres concepts prescrits de la physique mécanique. La chercheuse n'avait donc pas créé d'attribut en lien avec ces concepts. Les experts ont également jugé qu'elles devaient être écartées des *Attributs modifiés* et que seules les forces de gravité, de frottement, normale et de rappel ont été conservées. Considérant que la force résultante est la somme de toutes les forces sur un corps et que la force équilibrante est la force permettant de stabiliser un corps, elles ont été considérées par les experts comme de grandes catégories de forces englobant des types de forces plus précises telles que la force de gravité, normale, de frottement ou de rappel. La section suivante abordera les réflexions des experts au sujet de la force résultante et équilibrante.

4.1.2.3 Attribut (3) Déterminer la FR (norme et orientation)

Concernant le concept prescrit de l'équilibre et de la résultante de plusieurs forces, les experts se sont questionnés en premier lieu si la maîtrise de la force résultante relevait davantage des mathématiques ou de la physique. Bien que la force résultante désigne la force que l'on obtient par la combinaison de plusieurs forces et qu'elle est en soi un concept physique, elle se calcule par l'addition vectorielle, un savoir-faire du cours de mathématiques TS ou SN de 5e secondaire (MEES, 2016). Les experts ont donc échangé sur les notions scientifiques derrière ce concept prescrit et en sont venus à la conclusion que la compréhension et la maîtrise du concept de la force résultante pouvaient être un attribut relevant de la physique si sa maîtrise ne se basait pas que sur un calcul mathématique. Les élèves doivent, lors de la résolution d'item évaluant la maîtrise de cet attribut, être capables de comprendre la dynamique des forces agissant sur un corps et non seulement faire le calcul mathématique. Les experts ont convenu de l'importance d'inclure dans la liste des attributs modifiés l'attribut (3) *Déterminer la force résultante (norme et orientation)*.

En second lieu, selon les experts, pour pouvoir résoudre une situation problème nécessitant le calcul de la force résultante, les élèves doivent éventuellement maîtriser la conversion de la norme et de l'orientation d'une force en sa composante horizontale Δx et verticale Δy et qu'il serait approprié d'ajouter l'attribut (5) *Décomposer les forces en x et en y* dans la liste des *Attributs modifiés*. Cet attribut n'avait en revanche pas été relevé par la chercheuse au départ, mais à la suite des discussions et des échanges entre les experts, les trois experts en sont venus au consensus de la pertinence de cet attribut.

En troisième lieu, les experts se sont penchés sur le concept de l'équilibre et sur le calcul de la force équilibrante. Ils ont souligné que le calcul de la force équilibrante était aussi intimement lié à celui de force résultante, car pour réussir un problème sur la force équilibrante, l'élève doit maîtriser l'attribut (3) *Déterminer la force résultante*. Il serait donc impossible dans les résolutions mathématiques de combiner différents attributs avec celui de l'attribut sur la force équilibrante, sans avoir aussi l'attribut (3) *Déterminer la force résultante*. En revanche, les experts ont souligné qu'il est possible d'évaluer théoriquement le concept d'équilibre avec les autres attributs ressortis. Dans les items de l'épreuve, l'équilibre pourra donc être un contenu évalué sans pour autant être un attribut à lui seul. Les experts ont donc jugé que la force équilibrante pourrait être évaluée mathématiquement ultérieurement après avoir confirmé la maîtrise du calcul de la force résultante.

Finalement, en échangeant sur le concept de la force résultante et de la force équilibrante, les experts se sont interrogés sur l'équilibre ou non des corps dans les items qu'ils allaient élaborer. En physique mécanique dynamique, les corps peuvent être en équilibre des forces, soit lorsque toutes les forces subies par un corps s'égalisent entre elles engendrant une force résultante est de 0N. Les corps peuvent aussi être en déséquilibre, soit lorsque la force résultante n'est pas égale à 0N. Lors d'une telle situation, lorsque toutes les forces sont additionnées ensemble, elles ne s'égalisent pas.

Dans le premier cas, nous sommes en situation de Mouvement Rectiligne Uniforme (MRU) signifiant que nous sommes soit à l'immobilité ($v = 0\text{m/s}$) ou à vitesse constante. Dans le deuxième cas, nous sommes en situation de Mouvement Rectiligne Uniformément Accéléré (MRUA). Le corps subit donc une accélération ou décélération constante. Ces deux situations ont été étudiées précédemment par les élèves de physique lors de l'orientation de la *Cinématique*. Selon le premier ou le deuxième cas, la résolution de problèmes reliés aux forces se développe différemment. Les problèmes abordés en premier par les élèves sont ceux en MRU dû à leur facilité de résolution alors que ceux en MRUA sont généralement plus

complexes considérant les nombreuses équations pouvant intervenir. Lors de la hiérarchisation des attributs, les experts devront déterminer s'ils incluent ou non des items dont les corps sont en déséquilibres. Cette discussion sera abordée dans la section suivante.

4.1.2.4 Retrait des attributs ressortis par la chercheuse en lien avec la force gravitationnelle

Finalement, les experts se sont de nouveau penchés sur le concept prescrit de la force gravitationnelle afin d'analyser les *Attributs initiaux* (9) et (10) en lien avec la chute libre d'un corps, soit respectivement *Différencier le poids (F_g) de la masse* et *Déterminer des variables liées au mouvement à l'aide des forces et de la force résultante*. En ce qui concerne l'attribut initial (9), les experts en ont conclu qu'il s'agissait d'un concept prescrit de 2^e secondaire en sciences et technologies et qu'ils ne pouvaient pas faire un attribut pour chacun des concepts des années précédentes préalables au cours de physique. De plus, cette notion est généralement évaluée à l'aide de problème se situant sur Terre ainsi que sur d'autres astres. Ajouter la possibilité de créer 15 items se situant sur différents astres complexifierait à outrance les items selon les experts. Ils en sont arrivés à la conclusion que la compréhension de la force gravitationnelle et sa différence avec la masse, sur Terre, pouvaient être incluses dans l'attribut (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)* lors des choix de réponses. Ainsi, les élèves pourraient choisir des réponses contenant la masse au lieu de la force gravitationnelle permettant de diagnostiquer cette faiblesse lors de la modélisation des profils diagnostiques. Les experts ont donc décidé de retirer cet attribut.

Par la suite, les deux experts n'ont pas compris aux premiers abords la signification de l'attribut (10) *Déterminer des variables liées au mouvement à l'aide des forces et de la force résultante* et des explications supplémentaires de celle-ci ont été nécessaires. L'intention recherchée par cet attribut était de relier les notions de l'orientation de la *Cinématique* aux notions de l'orientation de la *Dynamique*. Ainsi, un élève maîtrisant cet attribut serait capable, avec la norme et l'orientation des forces, de trouver la valeur du déplacement, de la vitesse ou de l'accélération à un moment précis. Après avoir dénoué les interrogations, les experts 1 et 2 ont jugé qu'il s'agissait d'un attribut ayant un niveau de difficulté élevé en comparaison aux autres attributs pour le moment de passation de l'épreuve. Ils ont aussi conclu que les attributs liés au mouvement devraient avoir été préalablement diagnostiqués lors de problèmes relevant de la cinématique vue précédemment par les élèves lors desquels les forces ne sont pas incluses. C'est seulement après l'apprentissage des concepts de base des forces que la combinaison entre la cinématique et la dynamique se fait. Considérant sa complexité, les experts ont jugé que cet attribut devait être enlevé.

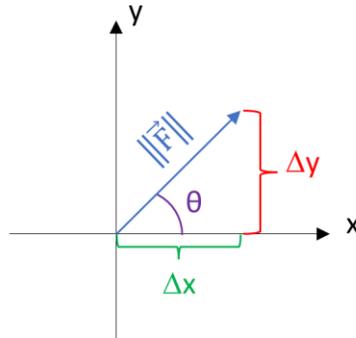
En conclusion, à la suite de l'obtention d'un consensus des experts sur la compréhension de chaque énoncé, ceux-ci en sont arrivés à un commun accord sur les attributs relevant de la physique mécanique dynamique et des concepts prescrits ressortis. Des 10 *Attributs initiaux* identifiés par la chercheuse, 3 attributs ont été retirés, 7 attributs ont été combinés afin de donner 6 attributs et 1 attribut a été ajouté produisant une liste de 7 attributs nommés *Attributs modifiés*. C'est avec ces attributs que les experts procéderont à la hiérarchisation des attributs. La section suivante présentera les attentes pour chacun des attributs lors de la résolution de problème en physique mécanique.

4.1.3 Attentes de la réussite de chaque attribut modifié

L'attribut modifié (1), soit *Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni*, consiste à représenter visuellement la situation problème à l'aide d'un système de référence défini préalablement. Comme indiqué par le savoir-faire de ce concept prescrit (voir Tableau 4.1), les élèves doivent être en mesure de tracer ou de positionner les forces aux bons endroits et avec la bonne orientation sur un corps selon la situation donnée. Pour pouvoir tracer les forces, les élèves doivent au préalable fixer le système de référence permettant de déterminer les coordonnées du corps à un moment précis. Le choix du système de référence dépend du point de vue de l'observateur, soit le concept de la relativité du mouvement (Drewnowski, 1979), menant à une infinité de positions valides pour le système de référence. Ils peuvent entre autres utiliser les coordonnées cartésiennes ayant subi une rotation, ce qui vient modifier les valeurs de l'orientation des forces ainsi que les composantes de ces forces. Cette possibilité d'avoir un nombre illimité d'orientations pour le système de référence engendre une infinité de bonnes réponses. Une résolution valide et unique devient alors complexe. C'est pour cette raison que lors d'un problème de physique, il est demandé dès le début du problème de représenter visuellement la situation et d'inscrire le système de référence choisi pour résoudre le problème. Le correcteur peut à partir du système de référence comprendre les valeurs attribuées aux données ainsi qu'aux forces et la logique derrière le raisonnement de l'élève lors de sa résolution.

Les forces peuvent être exprimées à l'aide de la norme (grandeur) et de l'orientation (angle avec l'axe des x), ou à l'aide de leurs composantes Δx et Δy . À partir de la norme et de l'orientation, il est possible d'obtenir à l'aide d'un calcul mathématique leurs composantes en x (la variation horizontale Δx) et en y (la variation verticale Δy). La Figure 4.1 représente une force dans un système de référence cartésien et la terminologie des différentes parties qui sera utilisée par les experts lors des discussions.

Figure 4.1 Représentation d'une force dans un système de référence cartésien



Légende :

- $\|\vec{F}\|$ est la norme de la force
- θ est l'orientation de la force
- Δx est la composante horizontale de la force
- Δy est la composante verticale de la force

Exemple pour décrire une force :

À l'aide de sa norme et de son orientation

$$\|\vec{F}\| = 4 \text{ N et } \theta = 30^\circ$$

ou

$$\vec{F} = 4 \text{ N à } 30^\circ$$

À l'aide de ses composantes

$$\Delta x = 3,46 \text{ N}$$

$$\Delta y = 2,82 \text{ N}$$

Où N : Newton

Pour passer de la norme d'une force et de son orientation à ses composantes, l'élève doit mettre en application ses notions de mathématiques sur les rapports trigonométriques (sin, cos et tan) ainsi que sur le Théorème de Pythagore telles que présentées à la Figure 4.2. Ces démarches sont celles attendues lorsqu'un élève maîtrise l'attribut 5, soit *Décomposer les forces en x et en y*. À l'aide des composantes horizontales (Δx) et verticales (Δy), l'élève est en mesure de déterminer la somme des forces pour obtenir la valeur de la force résultante et selon la question, la force équilibrante.

Figure 4.2 Formules pour passer de sa norme et de son orientation à ses composantes et exemple numérique:

De sa norme et de son orientation à ses composantes

$$\Delta x = \|\vec{F}\| \cdot \cos\theta$$

$$\Delta y = \|\vec{F}\| \cdot \sin\theta$$

Exemple : Si $\vec{F} = 4 \text{ N à } 30^\circ$, alors :

$$\Delta x = \|\vec{F}\| \cdot \cos\theta$$

$$\Delta x = 4 \text{ N} \cdot \cos 30^\circ$$

$$\Delta x = 3,46 \text{ N}$$

$$\Delta y = \|\vec{F}\| \cdot \sin\theta$$

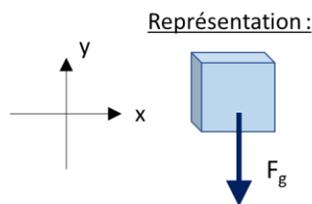
$$\Delta y = 4 \text{ N} \cdot \sin 30^\circ$$

$$\Delta y = 2,82 \text{ N}$$

Lorsque nous allons plus en détails concernant les forces qui s'appliquent sur un corps, quatre forces font partie des concepts prescrits et/ou sont prédominantes dans les résolutions de problèmes relevant de la physique, soit la force de gravité, la force normale, la force de frottement et la force de rappel. Tout d'abord, un élève qui maîtrise l'attribut 6, soit de *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)* devrait être capable de calculer la force gravitationnelle d'un corps seulement à partir de sa masse et de la valeur du champ gravitationnel de la planète sans prendre en compte les autres forces s'appliquant sur le corps. La Figure 4.3 expose ce qui est attendu par un élève résolvant une question portant sur la force gravitationnelle d'un corps de 10kg sur la Terre.

Figure 4.3 - Exemple de démarche de résolution d'une question portant sur la force gravitationnelle (Fg)

Si un corps possédant une masse de 10kg se trouve sur Terre, quelle est la valeur de sa force gravitationnelle?



Données :
 $g_{\text{Terre}} = 9,8\text{N/kg}$
 $m = 10\text{ kg}$

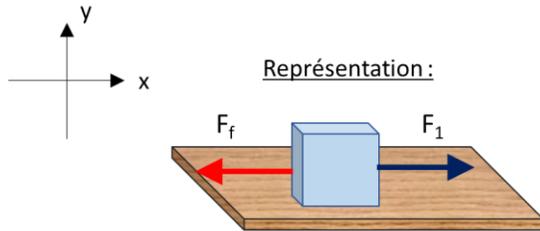
Résolution :
 $F_g = mg_{\text{Terre}}$
 $F_g = 10\text{kg} \cdot 9,8\text{N/kg}$
 $F_g = 98\text{N à } 270^\circ$

Ce que je cherche :
 Force gravitationnelle (Fg)

Pour ce qui est des deux forces suivantes, soit la force de frottement et la force normale, le contexte de la question doit être pris en considération. Premièrement, le concept de la force de frottement est diagnostiqué à l'aide de l'attribut 2, soit *Déterminer la force de frottement (norme et orientation)*. Le frottement peut être défini comme une force contraire au déplacement provenant du contact de deux matières en mouvement opposé (par exemple le sol ou les particules d'air). La Figure 4.4 représente une situation d'équilibre horizontale possédant une force de frottement exercée entre la surface et le corps.

Figure 4.4 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force de frottement à l'horizontale dans une situation d'équilibre

*Un corps posé sur le sol subit une force horizontale. Cependant, le corps reste immobile.
Quelle est la valeur de la force de frottement?*



Représentation :

Résolution :

$$F_R = F_1 - F_f$$

Vu que le corps est immobile, nous sommes en situation d'équilibre.

Sa force 1 et la force de frottement sont égales.
Ainsi, la force résultante sera égale à 0N.

Données :

$$F_1 = 15N$$

$$0N = 15N - F_f$$

$$F_f = 15N \text{ à } 180^\circ$$

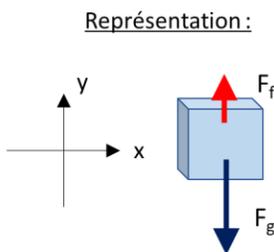
Ce que je cherche :

Force de frottement (F_f)

Quant à la Figure 4.5, elle représente une situation de déséquilibre verticale dans laquelle la force de frottement provient des particules d'air s'opposant à la force gravitationnelle. La Figure 4.4 et la Figure 4.5 sont des exemples de résolutions attendues d'un élève maîtrisant l'attribut (2) *Déterminer la force de frottement (norme et orientation)*.

Figure 4.5 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force de frottement à la verticale dans une situation de déséquilibre

Un corps tombant sous l'effet de la force gravitationnelle est ralenti par des particules d'air. Si la force gravitationnelle exercée sur le corps est de 49N et que la force résultante est de 10N, quelle est la valeur de la force de frottement?



Représentation :

Données :

$$F_g = 49N$$

$$F_R = 100N$$

Résolution :

$$F_R = F_g - F_f$$

$$10N = 49N - F_f$$

$$F_f = 29N \text{ à } 90^\circ$$

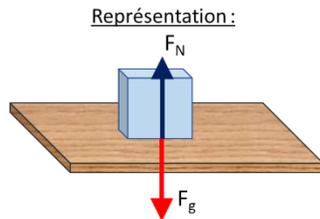
Ce que je cherche :
Force de frottement (F_f)

Deuxièmement, la force normale est la force exercée par une surface et perpendiculaire à celle-ci en résistance à la force qu'elle subit. À titre d'exemple, la force normale est celle qui permet à un objet placé sur une table de ne pas s'enfoncer dans celle-ci. Ainsi, ce qui est attendu d'un élève maîtrisant l'attribut 4, soit de *Déterminer la force normale (norme et orientation)*, c'est qu'il doit tout d'abord être en mesure

d'identifier les forces exerçant une pression sur la surface pour ensuite réaliser un équilibre des forces comme démontré par la Figure 4.6. Généralement, la force normale engendre un équilibre vertical vu que la résistance de la surface sera de la même valeur que la force reçue par la surface.

Figure 4.6 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force normale

Un corps est posé sur une table et est immobile. Si la force gravitationnelle du corps exerce une force de 20N sur la surface de la table, quelle est la valeur de la force normale de la surface de la table?



Données :
 $F_g = 20\text{N}$

Ce que je cherche :
 Force normale (F_N)

Résolution :

$$F_R = F_g - F_N$$

Vu que le corps est immobile, nous sommes en situation d'équilibre.

La force gravitationnelle de la boîte et la force normale de la surface de la table sont égales.

Ainsi, la force résultante sera égale à 0N.

$$0\text{N} = 20\text{N} - F_N$$

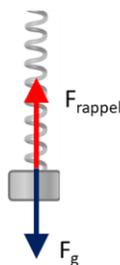
$$F_N = 20\text{N} \text{ à } 90^\circ$$

Finalement, la dernière force est la force de rappel et est reliée à l'attribut 5, soit de *Déterminer la Force de rappel (norme et orientation)*. Elle peut être définie comme la force exercée par un ressort ou un élastique afin de revenir à son état de repos, soit lorsqu'il n'est ni comprimé ni étiré. La Figure 4.7 présente la résolution attendue par un élève de 5^e secondaire pour un problème nécessitant l'attribut 5 dans une situation d'équilibre verticale.

Figure 4.7 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force de rappel à la verticale nécessitant d'autres forces

Un corps tombant sous l'effet de la force gravitationnelle devient immobile sous la force de rappel exercée par le ressort auquel il est attaché. Si la force gravitationnelle exercée sur le corps est de 25N, quelle est la valeur de la force de rappel?

Représentation :



Données :
 $F_g = 25\text{N}$

Ce que je cherche :
 Force de rappel (F_{rappel})

Résolution :

$$F_R = F_g - F_{\text{rappel}}$$

Vu que le corps est immobile, nous sommes en situation d'équilibre. La force de gravité et la force de rappel sont égales.

Ainsi, la force résultante sera égale à 0N.

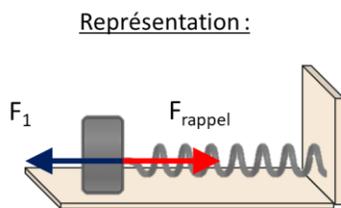
$$0\text{N} = 25\text{N} - F_{\text{rappel}}$$

$$F_{\text{rappel}} = 25\text{N} \text{ à } 90^\circ$$

Pour ce qui est de la Figure 4.8, celle-ci représente une situation d'équilibre horizontal incluant la force de rappel. Dans ces deux exemples, la force de rappel nécessite un contexte et la valeur des autres forces pour être trouvée.

Figure 4.8 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force de rappel à l'horizontale d'autres forces

Un corps posé sur le sol subit une force horizontale de 35N comprimant le ressort auquel il est attaché. Le corps reste cependant immobile. Quelle est la valeur de la force de rappel?



Données :
 $F_1 = 35\text{N}$

Ce que je cherche :
 Force de rappel (F_{rappel})

Résolution :

$$F_R = F_1 - F_{\text{Rappel}}$$

Vu que le corps est immobile, nous sommes en situation d'équilibre. La force 1 et la force de rappel sont égales. Ainsi, la force résultante sera égale à 0N.

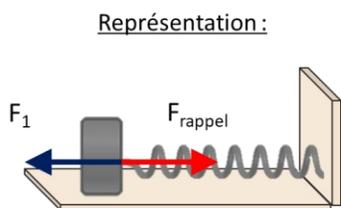
$$0\text{N} = 35\text{N} - F_{\text{Rappel}}$$

$$F_{\text{Rappel}} = 35\text{N} \text{ à } 0^\circ$$

En revanche, il est possible de trouver la force de rappel à l'aide de sa formule, nommée la Loi de Hooke. La Figure 4.9 représente un calcul de la valeur de la force de rappel à l'aide de la loi de Hooke, soit par le produit de sa constante de rappel (k), soit la propriété du ressort à pouvoir être déformée, avec la variation de l'étirement ou de la compression du ressort (Δl). La constante de rappel, s'exprimant en N/m, indique ainsi le nombre de Newton nécessaire pour faire varier de 1 m la longueur du ressort.

Figure 4.9 Exemple de démarche de résolution d'un problème portant sur la force de rappel à l'aide de la loi de Hooke

Un corps posé sur le sol subit une force horizontale provoquant un étirement de 0,5m. Le corps reste cependant immobile. Quelle est la valeur de la force de rappel si la constante de rappel du ressort est de 80N/m?



Données :
 $k = 80\text{N/m}$
 $\Delta l = 0,5\text{m}$

Ce que je cherche :
 Force de rappel (F_{rappel})

Résolution :

$$F_{\text{Rappel}} = k \cdot \Delta l$$

$$F_{\text{Rappel}} = 80\text{ N/m} \cdot 0,5\text{ m}$$

$$F_{\text{Rappel}} = 40\text{N} \text{ à } 0^\circ$$

En conclusion, à partir des 10 attributs ressortis par la chercheuse, les experts sont arrivés à un consensus de 7 attributs, nommés les *Attributs modifiés* représentant les concepts prescrits délimités par la chercheuse. Dans la section suivante, nous exposerons le processus de réflexion des experts afin de hiérarchiser ces attributs.

4.1.4 Hiérarchisation des *Attributs modifiés*

C'est à la suite de l'obtention du consensus par les experts d'une liste d'*Attributs modifiés* représentant les concepts prescrits que les experts ont pu entamer la troisième étape de MACB, soit la *Hiérarchisation des attributs* (Shyvan *et al.*, 2013). Tout d'abord, les experts ont dû déterminer l'attribut le plus important de la liste des *Attributs modifiés* et lui accorder une valeur de 100 (Shyvan *et al.*, 2013; Vanderwood *et al.*, 1993). C'est à partir de cet attribut, devenu l'attribut de référence, que les experts ont accordé une valeur aux autres attributs de la liste. Les experts ont avancé que le point de départ d'un problème en physique dynamique est sa représentation visuelle et la détermination du système de référence. Ce dernier influence l'entièreté de la résolution, tant en ce qui concerne la valeur et le sens accordés aux forces que sur la réponse finale. Comme expliqué à la section 4.1.3, plusieurs réponses peuvent être considérées comme exactes pour un même problème selon le système de référence choisi au départ. Afin d'atteindre l'objectif de cette recherche, soit de développer une épreuve diagnostique cognitive pouvant être déployée à grande échelle, la nécessité d'avoir qu'une seule bonne réponse dans les choix proposés ont conduit les experts à imposer un système de référence unique pour tous les problèmes. Les experts en sont venus à la conclusion que le système de référence serait donné aux élèves et que c'est l'attribut (1) *Tracer un Diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni* qui serait l'attribut le plus important. Le DCL permet d'avoir une vue d'ensemble du problème et des concepts physiques en application dès le commencement de la résolution, soit la composante *Examiner un phénomène ou une application* de la compétence disciplinaire 2, celle visée par le développement de notre épreuve (MELS, 2007d). C'est à la suite de la représentation des forces dans le DCL que leur norme et leur orientation pourront être trouvées. Les experts ont donc accordé à l'attribut (1) la valeur de 100 afin de le conserver et ont évalué individuellement chacun des 6 attributs restants.

Lorsque tous les experts ont terminé d'accorder individuellement une valeur aux 6 attributs restants de la liste des *Attributs modifiés*, ils se sont de nouveau regroupés afin de comparer leurs résultats. L'objectif était d'arriver avec une liste d'attributs ayant soit une valeur moyenne en haut de 90, les attributs qui seraient gardés pour le développement de notre épreuve, ou soit en bas de 50, ceux qui seraient

éliminés de notre épreuve. Le Tableau 4.2 présente les valeurs initiales accordées par les experts ainsi que la moyenne initiale des valeurs pour chacun des 7 attributs. En premier lieu, la moyenne des valeurs obtenue pour l'attribut (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)* a dépassé la limite de 90. De plus, chacun des experts a donné une valeur individuelle en haut de 90, renforçant ainsi l'importance de cet attribut pour l'apprentissage de la physique dynamique. L'attribut (6) a donc été automatiquement gardé pour le développement des items de l'épreuve. Finalement, pour les 5 attributs restants, les experts leur ont accordé des valeurs entre 60 et 90 inclusivement donnant des moyennes entre 72 et 87. La suite de la section exposera la réflexion des experts pour ces attributs afin de déterminer s'ils seraient conservés.

Tableau 4.2 Valeurs initiales accordées pour chacun des *Attributs modifiés* par les experts et moyenne des valeurs

Attributs modifiés – Valeurs initiales		Experts			Moy
		1	2	3	
1	Tracer le DCL selon le système de référence fourni	100	100	100	100
2	Déterminer la force de frottement (norme et orientation)	85	70	85	80
3	Déterminer la force résultante (norme et orientation)	85	80	85	83
4	Déterminer la force normale (norme et orientation)	90	90	80	87
5	Décomposer la force en x et en y	80	80	90	83
6	Déterminer la force de gravité (norme et orientation)	90	90	95	92
7	Déterminer la force de rappel (norme et orientation)	85	60	70	72

En premier lieu, les experts se sont penchés sur l'attribut (4) *Déterminer la force normale (norme et orientation)* vu la valeur moyenne obtenue de 87. Seulement l'expert 3 était en bas du seuil de 90 avec une valeur accordée de 80 vu qu'elle considérait que l'importance de cette force par rapport aux autres était en second plan. Les experts 1 et 2 ont avancé le fait que la force normale, couramment utilisée dans les problèmes, est directement reliée à la force de gravité, car elle est une force généralement contraire à celle de gravité et permet d'atteindre, par le fait même, l'équilibre. En revanche, elle ne peut pas être calculée seule à l'inverse de la force de gravité. À la suite de cet échange et approuvant son importance dans l'atteinte de l'équilibre des forces, l'expert 3 a accordé la valeur de 90 donnant une valeur moyenne de 90. L'attribut (4) a donc été conservé pour le développement de l'épreuve diagnostique cognitive. Par conséquent, deux attributs se sont retrouvés avec une valeur moyenne de 90, soit l'attribut (4) et l'attribut (6). Les experts se sont alors interrogés si les attributs étaient considérés d'importance égale ou si l'un des deux attributs est davantage primordial en comparaison de l'autre. Les experts 1 et 3 ont statué que la

force de gravité était davantage de premier plan et ont modifié légèrement la valeur qu'il accordait à l'attribut (6) obtenant une valeur moyenne de 92.

Les experts ont ensuite examiné l'attribut (7) *Déterminer la force de rappel (norme et orientation)* considérant qu'il était l'attribut avec la plus basse valeur, soit 72. L'expert 1 a exprimé qu'il s'agissait d'un type de force et qu'il accordait la même valeur que les autres attributs basés sur les forces. En revanche, l'expert 1 fut en accord avec l'expert 2 lorsqu'elle a avancé que la force de rappel était jugée comme la moins intéressante des forces vues qu'elle est un cas particulier et qu'elle n'est pas directement reliée à un concept prescrit visé par l'épreuve. Au fur et à mesure de la discussion, les experts ont énuméré différentes situations où la force de rappel pouvait être utilisée ou demandée et ont noté que son application était limitée à des problèmes particuliers contenant des ressorts ou des élastiques. La valeur accordée par chacun des experts a diminué en dessous de 50 jusqu'à atteindre une moyenne de 37. L'attribut (7) a donc été éliminé des attributs contenus dans notre épreuve.

La discussion par rapport à l'attribut (7) a amené les experts à analyser l'attribut (2) *Déterminer la force de frottement (norme et orientation)* vu qu'il s'agit aussi d'un type de force, au même titre qu'une force de rappel, mais qu'elle est directement reliée à un concept prescrit du programme de physique et des concepts visés par notre épreuve. L'expert 2 a avancé que cette force était régulièrement jugée comme négligeable et qu'elle était par conséquent couramment absente des problèmes de physique. En revanche, les experts 1 et 3 ont nuancé cette affirmation en soutenant que la force de frottement est négligeable principalement en cinématique afin d'analyser l'accélération gravitationnelle, mais que lors de l'étude de la dynamique, la force de frottement est généralement présente. Lorsqu'elle est absente, les problèmes sont habituellement restreints à l'étude des corps immobiles et les DCL sont limités, ce qui nuirait à l'attribut (1). Au fil des discussions, les trois experts ont augmenté la valeur accordée à l'attribut (2) obtenant une moyenne de 90. Un seul des experts a accordé une valeur tout juste en bas de 90 avec une valeur de 85. L'attribut (2) a ainsi été identifié comme un attribut à conserver pour le développement de notre épreuve.

L'attribut (5) *Décomposer la force en x et en y* fut le prochain attribut sur lequel les experts ont dû se prononcer. Seulement l'expert 3 a au départ jugé qu'il devait être gardé alors que les experts 1 et 2 étaient mitigés en lui accordant chacun une note de 80. La première question soulevée a été la présence ou non de plans inclinés et de forces avec des angles différents de 0° , 90° , 180° et 270° pour lesquels une

décomposition des forces en composante x et y est nécessaire, soit ce qui est attendu par l'attribut (5). Si tous les problèmes présentés aux élèves sont seulement à la verticale ou à l'horizontale, la décomposition des forces n'est alors pas nécessaire. Les experts se sont interrogés sur le gain diagnostique de mettre des forces avec un certain angle ou de placer les corps sur des plans inclinés pour les concepts de physique prescrits visés par l'épreuve. Leur inquiétude se situait en ce qui a trait aux difficultés mathématiques des élèves concernant les rapports trigonométriques dans un triangle rectangle (sin, cos et tan). Une mauvaise réponse causée par une erreur mathématique n'est pas nécessairement reliée à des difficultés en lien avec la physique. Les experts en ont conclu que le cas du plan incliné est considéré comme une situation particulière et que la décomposition des forces apporterait une complexité non nécessaire pour diagnostiquer les difficultés en lien avec les forces pour le moment de passation. Ils en sont venus au consensus que les items peuvent être traités seulement à la verticale et à l'horizontale et que la décomposition des forces est un attribut à évaluer ultérieurement. En effet, il pourrait être utile lorsque les attributs considérés plus avancés en physique dynamique seraient maîtrisés par les élèves. La moyenne finale accordée par les experts est alors devenue de 44 avec des valeurs individuelles sous le seuil de 50.

Le dernier attribut à hiérarchiser a été l'attribut (3) *Déterminer la force résultante (norme et orientation)*. Ayant une valeur moyenne de 83, chacun des experts a accordé une valeur sous le seuil des 90. Les experts se sont interrogés au préalable si les items allaient être en équilibre ou en déséquilibre. Les situations en déséquilibres sont généralement plus complexes et sont reliées à des concepts prescrits non ciblés par la chercheuse. Les experts en sont arrivés à la conclusion que les items devront être en équilibre afin de diagnostiquer la maîtrise des attributs reliés aux forces et de ne pas générer des erreurs de diagnostic liées à l'accélération d'un corps. Il serait indiqué aux élèves lors de la passation que tous les items sont considérés comme en état d'équilibre. Ce choix a conduit les experts à se questionner sur la nécessité de demander aux élèves de trouver la force résultante pour un problème considéré en équilibre, car dans une telle situation, la force résultante est toujours égale à 0 Newton à 0°. Ils ont fini par conclure qu'un élève peut comprendre la théorie de l'équilibre et le démontrer par la maîtrise des attributs sur les forces sans pour autant avoir à calculer sa norme et son orientation. L'attribut (3) a obtenu une valeur moyenne finale de 44 avec des valeurs individuelles de 50 et moins à la suite de la discussion entre les experts. L'attribut 3 a donc été éliminé des attributs compris dans l'épreuve.

En conclusion, à la fin de la Hiérarchisation des 7 Attributs modifiés, les experts ont réussi à déterminer l'importance de chacun des attributs selon l'objectif du diagnostic cognitif en physique dynamique pour

les concepts prescrits ciblés. Le Tableau 4.3 présente les valeurs finales accordées par chacun des experts pour chacun des attributs ainsi que la valeur moyenne de ces attributs. Les experts en sont venus au constat que 4 d'entre eux seront inclus dans le développement de l'épreuve diagnostique cognitive soient les attributs (1) *Tracer le diagramme de corps libre (selon le système de référence fourni)*, (2) *Déterminer la force de frottement (norme et orientation)*, (4) *Déterminer la force de normale (norme et orientation)* et (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)*. C'est à partir de ces attributs que les experts ont pu élaborer les items de l'épreuve. Cette démarche sera présentée dans la prochaine section.

Tableau 4.3 Valeurs finales accordées pour chacun des *Attributs modifiés* par les experts et moyenne des valeurs

Attributs modifiés – Valeurs finales		Experts			Moy
		1	2	3	
1	Tracer le DCL selon le système de référence fourni	100	100	100	100
2	Déterminer la force de frottement (norme et orientation)	90	85	95	90
3	Déterminer la force résultante (norme et orientation)	42	50	40	44
4	Déterminer la force normale (norme et orientation)	95	90	90	92
5	Décomposer la force en x et en y	42	40	49	44
6	Déterminer la force de gravité (norme et orientation)	95	90	95	93
7	Déterminer la force de rappel (norme et orientation)	36	35	39	37

4.1.5 Processus d'élaboration des items

À la suite de la première rencontre entre les experts qui avait pour but d'identifier les attributs de la physique mécanique dynamique et de les hiérarchiser afin de déterminer ceux qui seraient retenus pour notre évaluation, la chercheuse a attribué à chacun des experts une liste de combinaison prédéfinie à partir desquels ils devaient créer chacun leurs 5 items. Le choix de donner des combinaisons spécifiques aux experts permettait de garantir que les recommandations identifiées lors de la recension des écrits soient que chaque attribut soit évalué individuellement et qu'il se retrouve à l'intérieur de 3 à 12 items (Loye, 2008; Loye et Lambert-Chan, 2016; Sia et Lim, 2018). De plus, chacune des combinaisons possibles d'attribut a pu être réalisée (voir Tableau 3.2). Ainsi, chaque attribut se retrouvait dans les items seul (1 item), en duo avec un chacun des attributs (3 items), en trio avec les autres attributs (3 items) et finalement dans un item contenant tous les attributs (1 item). Chacun des attributs était contenu dans 8 items sur les 15 items que contenait l'épreuve.

Les combinaisons ont été données aux experts de sorte que chacun ait au moins 1 item à créer avec 1 seul attribut, au moins 1 item avec 2 attributs et au moins 1 item avec 3 attributs. Par la suite, les combinaisons ont été divisées afin de ne pas avoir de combinaisons qui se répètent pour un même expert. Par exemple, pour les attributs 1 et 4, la combinaison 14 a été donnée à l'expert 1 alors que 146 a été donné à l'expert 2 et 124 a été donnée à l'expert 3. Le Tableau 4.4 présente les combinaisons données à chacun des experts.

Tableau 4.4 Répartition des items à développer avec combinaison des attributs

	Expert 1	Expert 2	Expert 3
Combinaisons d'attributs	1	6	2
	4	1 et 2	1 et 6
	1 et 4	2 et 4	4 et 6
	2, 4 et 6	2 et 6	1, 2 et 4
	1, 2 et 6	1, 4 et 6	1, 2, 4 et 6

4.1.6 Rencontre individuelle avec les experts

Après avoir donné les combinaisons des attributs aux experts, ceux-ci ont eu 10 jours pour créer leurs items. Durant ce délai, la chercheuse a rencontré individuellement les deux experts afin de connaître leur avancement, de faire des rappels et de répondre à leurs questions. Cette rencontre individuelle fut enrichissante sur les besoins des experts lors de l'étape 2 de l'ADC, soit l'*Élaboration des items*. Malgré leur expertise en ce qui concerne la création de situations d'apprentissage et la connaissance du programme de physique de 5e secondaire, l'identification d'attributs et la création d'items selon l'ADC étaient nouveaux pour les experts. Après discussion avec ces derniers, il est possible de ressortir l'ambiguïté qui subsistait entre les attributs utilisés par les élèves lors de la passation et le tableau des concepts prescrits. Étant donné que les attributs découlent des concepts prescrits du programme, il est évident qu'un certain lien existe entre eux sans toutefois être contraignant. Par exemple, l'épreuve devait contenir des items nécessitant la compréhension et l'application du concept de *l'Équilibre et de la résultante de plusieurs forces*. En contrepartie, aucun attribut ne calculait directement la force résultante. C'est par la maîtrise de différents attributs combinés engendrant une force résultant de 0N que l'élève pourrait démontrer sa compréhension de l'équilibre. Il a donc été nécessaire de clarifier la différence entre les concepts prescrits et les attributs qui en découlent aux experts.

De plus, un questionnement sur la ressemblance des items a été soulevé. Généralement, lors de l'élaboration d'évaluation dans une situation de classe, les contextes et les questions sont variés afin d'obtenir plusieurs méthodes de résolution. Il y a peu de questions nécessitant la même résolution considérant que le temps pour faire l'évaluation est un enjeu pour les élèves. Il a été difficile pour les experts de faire des questions semblables, car ils voyaient une redondance non nécessaire qui ne correspondait pas à leurs habitudes. Afin de changer de paradigme, la chercheuse a rappelé les principaux fondements de l'ADC aux experts ainsi que l'avantage d'évaluer les attributs dans plusieurs items, mais avec des combinaisons variées d'attributs, pour garantir la maîtrise ou la non-maîtrise de chacun des attributs.

Finalement, un rappel a aussi été réalisé sur la difficulté des items en lien avec la ressemblance des items. Les experts ont interrogé la chercheuse sur le niveau de complexité nécessaire dans les items. Trouvant que les étapes pour résoudre un problème étaient semblables d'un item à l'autre, les experts ont avancé la possibilité de rendre plus complexes les contextes afin de varier les étapes de résolution. Par exemple, afin de déterminer la maîtrise de l'attribut (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)*, les experts pourraient créer un problème sur une autre planète. Les élèves seraient alors amenés à utiliser une autre valeur que celle de la gravitation terrestre ($g_{\text{Terre}} = 9,8\text{N/kg}$). La chercheuse a précisé qu'il était possible de varier les contextes, tout en ne complexifiant pas les items à outrance. Par conséquent, elle a insisté sur l'importance de savoir si un attribut est maîtrisé ou non, sans pour autant mettre des pièges aux participants ou d'inclure des processus cognitifs non compris dans nos attributs. Dans un tel cas, les concepts prescrits et les attributs mis en application ne seraient pas nécessairement ceux ciblés ou apporteraient une lourdeur inutile à l'item, ce qui pourrait influencer le diagnostic des attributs recherchés. À la suite des rencontres individuelles, les experts ont pu réviser leurs items à la suite des réponses de la chercheuse afin d'entamer la phase de révision présentée dans la section suivante.

4.1.7 Révision des items

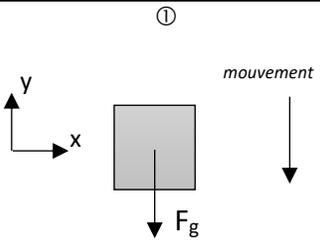
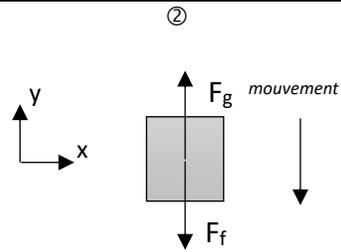
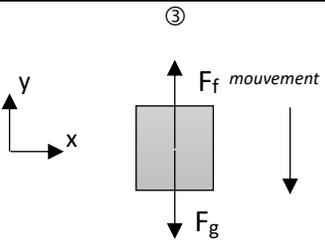
Après le délai de 10 jours suivant la première rencontre de groupe, les experts ont envoyé à la chercheuse leurs items respectifs. Celle-ci les a intégrés dans le document de révision des items (voir ANNEXE G) afin de faire 15 fiches, soit une par item. Elle a ensuite envoyé les documents de révision aux experts pour qu'ils puissent faire l'analyse des items des deux autres experts. Ainsi, chaque expert a eu 10 fiches de révision à faire. Lorsqu'ils ont eu terminé, ils ont remis leur révision et leurs commentaires à la chercheuse pour qu'elle combine ce qui a été ressorti pour chacun des items. Lors de la deuxième rencontre de groupe,

les experts ont eu accès à l’item ainsi qu’à la compilation des commentaires pour cet item. Les trois prochaines sections aborderont les modifications apportées aux items lors de la révision et seront divisées par type de modifications, soit (1) la présentation et la mise en page des items et de leur choix de réponse, (2) des énoncés en lien avec la physique et (3) les choix proposés en relation avec la physique.

4.1.7.1 Révision de la présentation et de la mise en forme des énoncés et des choix de réponses

Le premier type de changement apporté à la suite de la révision en groupe des experts a été en lien avec l’uniformisation des questions et des choix de réponses. Tout d’abord, les experts en sont venus à la conclusion que les questions devraient être présentées selon la même disposition. Par exemple, plusieurs items ne comportaient qu’un seul paragraphe pour l’énoncé et la question, alors que d’autres séparaient la question. Il a été convenu que pour chacun des énoncés, les questions seraient mises séparément du contexte de l’item. La Figure 4.10 représente le changement fait pour l’énoncé de l’item 12.

Figure 4.10 Révision de l’énoncé de l’item 12

Révision de l’énoncé de l’item 12		
<u>Avant</u>	Une masse de 20 kg glisse le long d’un mur à vitesse constante. Quelle est la force gravitationnelle et la force de frottement exercée sur la masse?	
<u>Après</u>	Une masse de 20 kg tombe à vitesse constante. – Quel est le DCL de la masse? – Quelle est la force gravitationnelle exercée par la masse? – Quelle est la force de frottement exercée par l’air sur la masse?	
Choix		
① 	② 	③ 
④ $F_g = 0,49\text{ N}$	⑥ $F_f = 0\text{ N}$	⑦ $F_f = 0,49\text{ N}$
⑤ $F_g = 196\text{ N}$		⑧ $F_f = 196\text{ N}$

À la suite de la séparation de la question des énoncés, les experts ont conclu que lorsque la force serait demandée, il serait plus judicieux d’écrire que la norme et l’orientation étaient requises. Selon leur expérience, lorsque la force est demandée, les élèves ont tendance à seulement trouver la norme. Ainsi,

il serait explicite que l'élève doit fournir autant la norme que l'orientation dans sa réponse. En revanche, la séparation de la question de l'énoncé et l'ajout de « la norme » et de « l'orientation » dans chacune des questions sur les forces ont entraîné une lourdeur et une répétition dans les questions. Afin d'alléger et de faciliter la lecture, il a aussi été convenu que les questions sur les forces seraient écrites en demandant la norme et l'orientation de la force puis en énumérant pour quelles forces ces valeurs étaient recherchées. Ce changement a permis d'être concis et clair pour les élèves dans les énoncés. La Figure 4.11 montre la modification apportée pour l'énoncé 13 à la suite de ces deux constatations.

Figure 4.11 Révision de l'énoncé de l'item 13

Révision de l'énoncé de l'item 13	
Avant	<p>Deux personnes poussent une masse de 40 kg posée sur le sol à l'aide de deux forces : $F_1 = 25 \text{ N}$ à 0° et $F_2 = 12 \text{ N}$ à 180° tel que montré sur la figure. La masse est en équilibre et avance à vitesse constante.</p> <p>Déterminer la force de frottement, la force gravitationnelle et la force normale exercées sur cet objet.</p>
1er constat	<p>Deux personnes poussent une masse de 0,4 kg posée sur le sol à l'aide de deux forces : $F_1 = 25 \text{ N}$ à 0° et $F_2 = 12 \text{ N}$ à 180° tel que montré sur la figure. La masse est en équilibre et avance à vitesse constante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la norme et l'orientation de la force de frottement subie par la masse? - Quelle est la norme et l'orientation de la force de gravitationnelle exercée par la masse? - Quelle est la norme et l'orientation de la force de normale subie par la masse?
2e constat	<p>Deux personnes poussent une masse de 0,4 kg posée sur le sol à l'aide de deux forces : $F_1 = 25 \text{ N}$ à 0° et $F_2 = 12 \text{ N}$ à 180° tel que montré sur la figure. La masse est en équilibre et avance à vitesse constante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la norme et l'orientation de la : <ul style="list-style-type: none"> o Force de frottement subie par la masse? o Force de gravitationnelle exercée par la masse? o Force de normale subie par la masse?
Réponses	
a)	$F_f = 37 \text{ N}$ à 180° $F_g = 392 \text{ N}$ à 270° $F_N = 0 \text{ N}$
b)	$F_f = 13 \text{ N}$ à 180° $F_g = 392 \text{ N}$ à 270° $F_N = 392 \text{ N}$ à 90°
c)	$F_f = 13 \text{ N}$ à 180° $F_g = 392 \text{ N}$ à 90° $F_N = 392 \text{ N}$ à 270°
d)	$F_f = 13 \text{ N}$ à 180° $F_g = 24,5 \text{ N}$ à 270° $F_N = 24,5 \text{ N}$ à 90°
e)	$F_f = 37 \text{ N}$ à 180° $F_g = 24,5 \text{ N}$ à 270° $F_N = 24,5 \text{ N}$ à 90°
f)	$F_f =$ _____ $F_g =$ _____ $F_N =$ _____

Finalement, deux changements ont été apportés dans le but d'uniformiser la présentation des choix de réponses des items. En premier lieu, une des règles à suivre par les experts lors de l'écriture et la mise en page des choix de réponses était de placer les leurres de façon aléatoire. Lors de la révision des items, les

experts ont apporté la proposition de mettre les choix de réponse en ordre croissant de valeur sans pour autant mettre les mêmes leures aux mêmes endroits d'un item à un autre. Cette suggestion vient de leur expérience en élaboration d'évaluations en physique de 5^e secondaire. Ils ont estimé qu'il est plus facile pour l'élève de décortiquer les choix proposés sans pour autant favoriser le choix de la bonne réponse lorsqu'ils sont en ordre croissant. Cette proposition est également en cohérence avec la suggestion de Haladyna (2004), Chin, Chew et Lim (2021) ainsi que de Huntley et Welch (1993) afin de diminuer la charge cognitive, de maximiser le temps et de minimiser les erreurs d'inattention. La Figure 4.12 montre un exemple de la disposition des réponses en ordre croissant de valeur de la norme puis de l'orientation pour l'item 4.

Figure 4.12 Révision de la disposition des choix de réponses de l'item 4

Énoncé – Item 4

Une masse est placée en équilibre et immobile de 10 kg au sol.

– Quelle est la norme et l'orientation de la force de gravité exercée par la masse?



Avant	
a)	$F_g = 98\text{N}$ à 270°
b)	$F_g = 10\text{N}$ à 270°
c)	$F_g = 9,8\text{N}$ à 270°
d)	$F_g = 98\text{N}$ à 90°
e)	$F_g = 98\text{N}$ à 0°

Après	
a)	$F_g = 0,98\text{N}$ à 270°
b)	$F_g = 9,8\text{N}$ à 270°
c)	$F_g = 10\text{N}$ à 90°
d)	$F_g = 98\text{N}$ à 90°
e)	$F_g = 98\text{N}$ à 270°

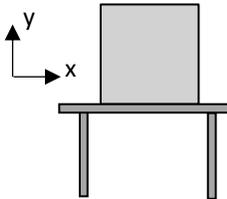
En deuxième lieu, les experts ont suggéré de séparer les différents choix de réponses pour la norme des forces selon le type de forces. Par exemple, la Figure 4.13 montre les choix de réponses écrits par l'expert 2 lors de la rédaction de l'item 14. Il était demandé à l'élève de trouver la norme de la force normale ainsi que la norme de la force de gravité. Les choix 4, 5, 6 et 10 étaient reliés à la force normale (F_N) (choix en bleu), alors que les choix 7, 8, 9 et 11 étaient ceux pour la force de gravité (F_g). Les experts ont regroupé les numéros des forces en suite (choix 4 à 7 pour la F_N et choix 8 à 11 pour la F_g) et puis ont séparé visuellement ces forces en deux catégories.

Figure 4.13 Révision de la disposition des choix de réponses de l'item 14

Énoncé— Item 14

Une masse en équilibre et immobile de 65 kg est posée sur une table.

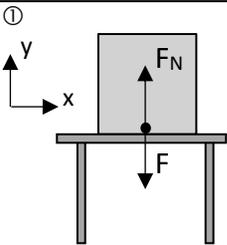
- Quel est le DCL de la masse?
- Quelle est la norme de la
 - Force de gravité exercée par la masse?
 - Force normale subie par la masse?



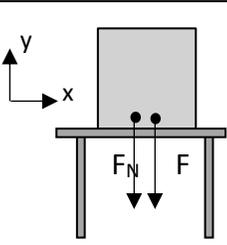
Choisir la bonne combinaison parmi les DCL et les normes de la force de gravité et de la force normale.

Choix

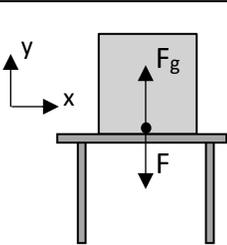
①



②



③



Avant	④ $F_N = 637\text{N}$ à 90° ⑤ $F_N = 65\text{N}$ à 90°	⑥ $F_N = 637\text{N}$ à 270° ⑦ $F_g = 9,8\text{N}$ à 270°	⑧ $F_g = 637\text{N}$ à 270° ⑨ $F_g = 65\text{N}$ à 270°	⑩ $F_N = 9,8\text{N}$ à 90° ⑪ $F_g = 65\text{N}$ à 90°
Après	④ $F_N = 9,8\text{N}$ à 90° ⑤ $F_N = 65\text{N}$ à 90°	⑥ $F_N = 637\text{N}$ à 90° ⑦ $F_N = 637\text{N}$ à 270°	⑧ $F_g = 9,8\text{N}$ à 270° ⑨ $F_g = 65\text{N}$ à 90°	⑩ $F_g = 65\text{N}$ à 270° ⑪ $F_g = 637\text{N}$ à 270°

En conclusion, le premier type de changement apporté par les experts fut des modifications en lien avec la présentation des énoncés et des réponses afin d'éviter tout biais causé par la formulation et la présentation des énoncés et des choix de réponses. Les items 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 12 et 13 ont subi des modifications en lien avec leur énoncé alors que tous les items ont nécessité une modification en lien avec la présentation des choix de réponses en ordre croissant. Aucun de ces changements n'a été en lien avec les notions, les concepts prescrits ou les processus faits par les élèves lors de la résolution de problèmes de physique. L'objectif de ces changements a été d'alléger la charge cognitive des élèves afin qu'ils puissent concentrer toute leur énergie dans leurs raisonnements cognitifs.

4.1.7.2 Révision des énoncés des items en lien avec la physique mécanique

Le deuxième type de changement a concerné les énoncés et l'étude de la physique de 5e secondaire. Premièrement, pour trouver la norme de la force normale, certains items nécessitaient l'utilisation de l'attribut (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)*. Par exemple, la montre l'énoncé de l'item 11 dans lequel seulement la maîtrise de l'attribut (1) *Tracer le diagramme de corps libre (selon le*

ystème de référence fourni) et de l'attribut (4) *Déterminer la force normale (norme et orientation)* doit être évaluée. En revanche, pour pouvoir trouver la norme de la force normale, l'élève doit maîtriser l'attribut (6) vu qu'il doit trouver la valeur de la force gravitationnelle avec la valeur de la masse, soit un attribut non désiré. Les experts ont donc convenu que dans les énoncés où la force de gravité était nécessaire, mais dans lesquels l'attribut (6) n'était pas évalué, la norme et l'orientation de la force de gravité seraient automatiquement données.

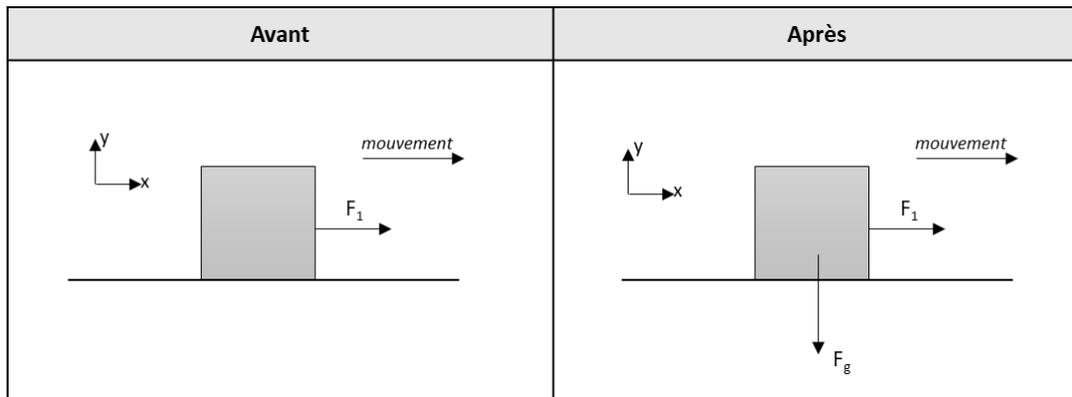
Figure 4.14 Révision de l'énoncé de l'item 11 en lien avec l'utilisation d'un attribut non sollicité

Révision de l'énoncé de l'item 11	
Avant	<p>On pousse avec une force de 14N une masse en équilibre au sol ayant de 15kg à vitesse constante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quel serait le DCL de la masse? - Quelle est la norme et l'orientation de la : <ul style="list-style-type: none"> o Force normale subie par la masse? o Force de frottement subie par la masse? <p>Choisir la bonne combinaison parmi les DCL et la norme et l'orientation de la force normale et de frottement.</p>
Après	<p>On pousse avec une force de 14N une masse en équilibre au sol exerçant une force gravitationnelle de 147N à 270° à vitesse constante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quel serait le DCL de la masse? - Quelle est la norme et l'orientation de la : <ul style="list-style-type: none"> o Force normale subie par la masse? o Force de frottement subie par la masse? <p>Choisir la bonne combinaison parmi les DCL et la norme et l'orientation de la force normale et de frottement.</p>

Choix		
<p style="text-align: center;">① <i>mouvement</i> →</p>	<p style="text-align: center;">② <i>mouvement</i> →</p>	<p style="text-align: center;">③ <i>mouvement</i> →</p>
④ $F_N = 147N$	⑥ $F_N = 14N$	⑦ $F_f = 14N$
⑤ $F_N = 161N$		⑧ $F_f = 147N$
Réponses		
a) ①④⑦		
b) ①⑤⑦		
c) ②⑥⑧		
d) ③④⑧		
e) ③⑤⑦		
f) Autre : _____		

De plus, sur la représentation donnée aux élèves pour certains items dont les énoncés contenaient la norme et l'orientation de la gravité, la force de gravité serait aussi ajoutée telle que le montre l'exemple de la Figure 4.15 concernant l'item 8.

Figure 4.15 Représentation de l'item 8 avec l'ajout de la flèche de la force de gravité lorsque la norme et l'orientation de la force de gravité étaient données dans l'énoncé.

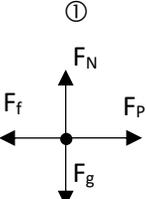
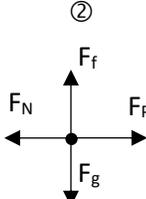
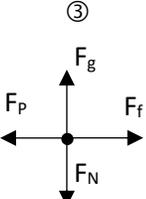


Réponses
a) $F_N = 147\text{N}$ à 90° $F_f = 22\text{N}$ à 0°
b) $F_N = 147\text{N}$ à 90° $F_f = 22\text{N}$ à 180°
c) $F_N = 147\text{N}$ à 270° $F_f = 22\text{N}$ à 180°
d) $F_N = 169\text{N}$ à 90° $F_f = 22\text{N}$ à 180°
e) $F_N = 169\text{N}$ à 90° $F_f = 147\text{N}$ à 180°
f) $F_N = \underline{\hspace{2cm}}$ $F_f = \underline{\hspace{2cm}}$

À la suite de ces changements dans certains items, des réponses proposées ont dû être modifiées afin d'assurer la cohérence entre l'énoncé et les leurres proposés. Si nous reprenons l'exemple 11 (Figure 4.16), l'expert ayant élaboré cet item a inclus initialement dans les leurres la difficulté de l'élève à différencier la force de gravité et de la masse ou de l'intensité du champ gravitationnel. Vu que la valeur de 15kg et de 9,8N/kg ne sont plus nécessaire dans la résolution, les experts ont jugé inutile de laisser présents dans les choix de réponse une norme équivalant à 15N ou à 9,8N. Ils ont donc été retirés des choix de norme pour

la force normale, ce qui a entraîné la modification des choix de réponses. La Figure 4.16 présente l'énoncé initial et les choix de réponses initiaux avant la modification de l'énoncé et du remplacement de la masse de l'objet par la force gravitationnelle. Les choix ⑤ et ⑥ surlignés en jaune sont les deux choix qui ont été retirés.

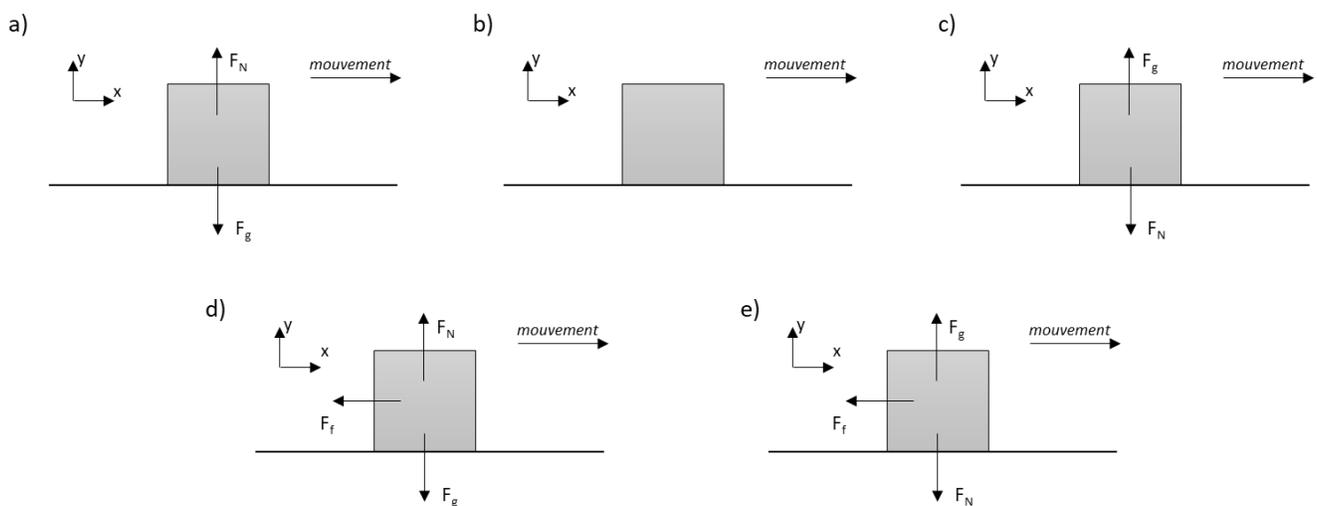
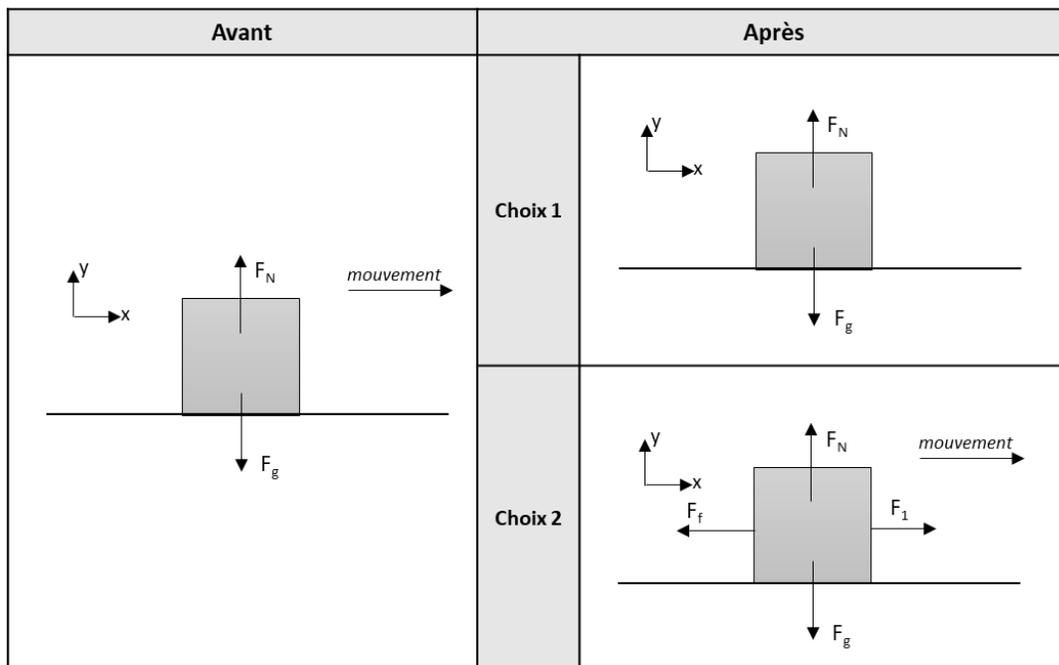
Figure 4.16 Révision des choix de la valeur de la norme de la force normale à la suite de la modification de l'énoncé de l'item 11

Révision de l'énoncé de l'item 11		
Énoncé initial	<p>On pousse avec une force de 14N une masse en équilibre au sol ayant de 15kg à vitesse constante.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Quel serait le DCL de la masse? – Quelle est la norme et l'orientation de la : <ul style="list-style-type: none"> ○ Force normale subie par la masse? ○ Force de frottement subie par la masse? <p>Choisir la bonne combinaison parmi les DCL et la norme et l'orientation de la force normale et de frottement.</p>	
Réponses initiales		
<p>①</p> 	<p>②</p> 	<p>③</p> 
<p>④ $F_N = 147\text{N}$ ⑤ $F_N = 15\text{N}$</p>	<p>⑥ $F_N = 9,8\text{N}$ ⑦ $F_N = 14\text{N}$</p>	<p>⑧ $F_f = 14\text{N}$ ⑨ $F_f = 147\text{N}$</p>
a) ① ④ ⑧		
b) ② ⑦ ⑨		
c) ③ ④ ⑨		
d) ① ⑤ ⑧		
e) ③ ⑥ ⑧		

Deuxièmement, les experts se sont questionnés sur le niveau de complexité par rapport à ce qui était attendu des élèves dans le programme éducatif du cours de physique dans trois items, soit l'item 1, l'item 12 et l'item 15. Dans l'item 1, l'expert 1 avait élaboré un problème d'une masse allant à vitesse constante vers la droite, mais n'ayant aucune force qui lui était appliqué à l'horizontale. Seules la force de gravité et la force normale étaient présentes. Les experts se sont questionnés à savoir si cet item sollicitait la maîtrise de processus cognitifs plus complexes et si la compréhension de notions théoriques nécessaires pour

résoudre cet item avait été étudiée par les élèves au moment de la passation de l'épreuve. Ils ont aussi échangé sur l'aspect concret d'une telle situation dans la vie courante. Ils en sont venus à la conclusion que l'énoncé requérait un niveau de difficulté inutilement élevé vu que la compréhension du concept prescrit de la 1^{ère} loi de Newton était nécessaire tout en n'étant pas dans les notions ciblées. L'item 1 a dû être modifié afin d'être soit (choix 1) immobile si aucune force n'était subie à l'horizontale ou soit (choix 2) à vitesse constante tout en ayant des forces horizontales qui s'équilibrent. La Figure 4.17 montre visuellement la représentation initiale de l'item 1 ainsi que les deux choix possibles de modification selon les experts et les choix de réponses initiaux. C'est finalement le choix 1 qui a été retenu par les experts vu qu'il offrait un apport diagnostique sur la compréhension des forces présentes même lorsque l'objet ne bouge pas. Une révision des choix de réponses a été réalisée afin d'enlever le mouvement et de retirer les choix de réponses où des forces horizontales étaient présentes soit les choix d) et e).

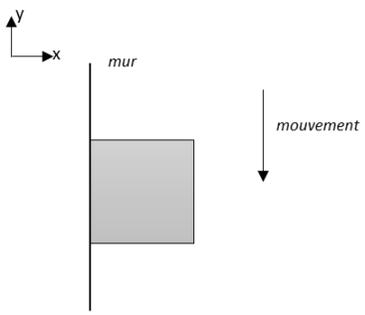
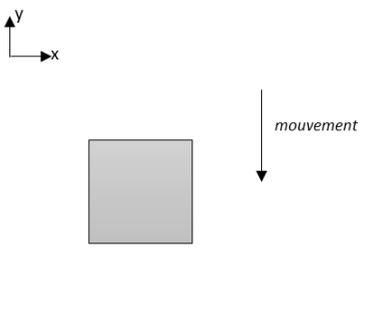
Figure 4.17 Révision de l'énoncé et des choix de réponses de l'item 1 en raison de sa complexité



Le deuxième item où la complexité était jugée trop grande pour des élèves de 5^e secondaire étudiant la physique fut l'item 12, soit une situation où une masse glissait sur un mur tout en tombant à vitesse constante comme montré à la Figure 4.18. Les experts ont trouvé que l'ajout d'un mur était très intéressant et variait le contexte des énoncés, mais l'énoncé contenait une ambiguïté en ce qui concerne le frottement de la masse sur le mur. Deux situations physiques peuvent être possibles ici, soit la présence ou l'absence du frottement entre le mur et la masse. Après un échange sur la présence ou non de cette force, les experts en sont venus à la conclusion que si eux-mêmes se posaient la question sans arriver à un

consensus, il était certain que les élèves seraient confus. Cela pourrait influencer leur choix de réponses et rendre invalide le diagnostic ressorti. L'énoncé a été modifié afin d'enlever la présence du mur et de faire tomber la masse à vitesse constante. La Figure 4.18 représente l'énoncé initial avec sa représentation ainsi que les changements apportés à l'énoncé et à la représentation à la suite du consensus avec les experts.

Figure 4.18 Révision de l'énoncé de l'item 12 en raison de sa complexité

Avant	Après
<p>Une masse de 20 kg glisse le long d'un mur à vitesse constante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la norme et l'orientation de : <ul style="list-style-type: none"> o La force gravitationnelle exercée sur la masse o La force de frottement exercée sur la masse 	<p>Une masse de 20 kg tombe à vitesse constante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la norme et l'orientation de : <ul style="list-style-type: none"> o La force gravitationnelle exercée sur la masse o La force de frottement exercée sur la masse 

Le troisième et dernier item remis en question en raison de sa complexité a été l'item 15, soit celui de l'expert 3 contenant tous les attributs. L'énoncé et la représentation initiale de l'item 5 sont présentés dans la Figure 4.19 ci-dessous. Les experts 1 et 2 ont jugé que le contexte contenait deux sous problèmes, un pendant la chute et un après la chute lorsqu'il touche le sol. L'intention de l'expert 3 était de varier le contexte de l'item. Les trois experts en sont venus à la conclusion qu'il était possible d'évaluer les 4 attributs et de varier le contexte avec une masse se déplaçant au sol à vitesse constante vers la gauche. Seulement un autre item, soit l'item 9, avait un mouvement vers la gauche. La Figure 4.19 présente l'énoncé et la représentation finale développée par les trois experts.

Figure 4.19 Révision de l'énoncé de l'item 15 en raison de sa complexité

	Énoncé	Représentation	
Avant	<p>Une masse de 13 kg tombe à vitesse constante et en équilibre.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Quel serait le DCL de la masse lors de la chute? – Quelle est la norme de la <ul style="list-style-type: none"> ○ Force de frottement subie par la masse lors de la chute? ○ Force normale subie par la masse lorsqu'elle atterrit au sol? 		
Après	<p>Une masse de 13 kg se déplace à vitesse constante est en équilibre sous l'effet d'une force $F_1 = 100\text{N}$ à 180°.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Quel serait le DCL de la masse? – Quelle est la norme de <ul style="list-style-type: none"> ○ La force de frottement subie par la masse? ○ La force gravitationnelle exercée par la masse? ○ La force normale subie par la masse? 		
<u>Choix</u>			
	①	②	③
	④ $F_f = 100\text{N}$		⑥ $F_N = 127,4\text{N}$
	⑤ $F_f = 13\text{N}$		⑦ $F_N = 13\text{N}$
<u>Réponses</u>			
a) ① ④ ⑥			
b) ① ⑤ ⑥			
c) ② ⑤ ⑥			
d) ③ ④ ⑦			
e) ③ ⑤ ⑦			
f) Autre : _____			

La modification de l'énoncé de l'item 15 a engendré la modification de tous les choix de réponses proposés. Bien qu'il ait été simple pour les experts de ressortir des difficultés, ils se sont heurtés à l'obstacle du

nombre limité de combinaisons possibles, soit entre 3 et 5 selon les experts en développement d'épreuves. Afin de diminuer la quantité de combinaisons et d'inclure dans les choix de réponses au moins deux fois chacune des normes, les experts ont décidé d'enlever dans les choix la norme de la force de gravité. Ils ont supposé qu'il serait possible d'évaluer la maîtrise ou non de l'attribut (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)* en passant par le choix de réponse de la F_N . La Figure 4.20 présente les différents choix ainsi que les combinaisons finales. Par exemple, si l'élève prenait le choix 6, nous pouvons conclure que l'élève maîtrise le calcul de la norme de la force de gravité. Si l'élève choisit l'option 7, on constate que l'élève considère que la valeur de la masse est égale à la valeur de la norme de la force de frottement. L'élève ne maîtriserait pas l'attribut (6), soit la force de gravité. Cependant, aucune combinaison ne permettait d'évaluer l'attribut (4) *Déterminer la force normale (norme et orientation)*, soit la force normale. En examinant les combinaisons finales montrées à la Figure 4.20, les experts ont conclu que le choix 3 permettait d'identifier seulement une difficulté en ce qui concerne l'orientation de la force normale. En analysant la réussite ou l'échec des autres items de l'épreuve diagnostiquant la maîtrise de l'attribut (4), les experts en sont arrivés à la conclusion que les choix proposés à l'item 15 étaient suffisants.

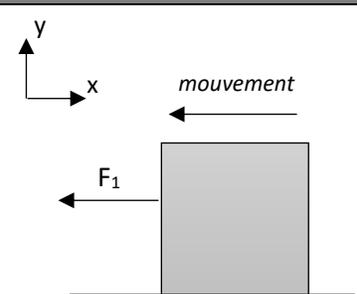
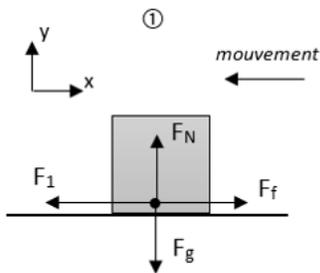
Figure 4.20 Révision des choix et des combinaisons des choix pour l'item 15

Énoncé– Item 15

Une masse de 13 kg se déplace à vitesse constante est en équilibre sous l'effet d'une force $F_1 = 100\text{N}$ à 180° .

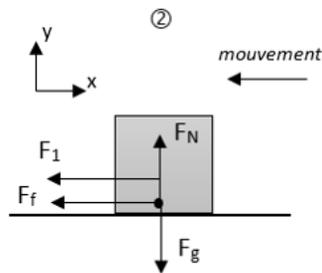
- Quel est le DCL de la masse?
- Quelle est la norme de la
 - Force de frottement exercée sur la masse?
 - Force gravitationnelle exercée par la masse?
 - Force normale subie par la masse?

Choisir la bonne combinaison parmi les DCL et les normes de la force normale et de frottement.

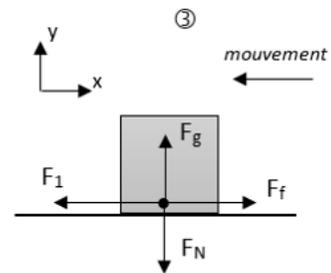
④ $F_f = 100\text{N}$

⑤ $F_f = 13\text{N}$



⑥ $F_N = 127,4\text{N}$

⑦ $F_N = 13\text{N}$



Réponses - Combinaisons
a) ①④⑥
b) ①⑤⑥
c) ②③⑥
d) ③④⑦
e) ③⑤⑦
f) Autre : _____

Bien que le nombre de combinaisons ait diminué à la suite du retrait de la force de gravité des réponses, le nombre de combinaisons encore possibles a préoccupé les experts sur le pouvoir diagnostique de cet item. Ils ont donc déterminé les choix de réponse et les combinaisons proposés dans l'épreuve en se basant sur les plus grandes difficultés vécues par les élèves selon leur expérience. En revanche, ils ont statué que l'analyse des raisonnements cognitifs des élèves et de leur choix de réponses serait primordiale à la suite de la passation afin de vérifier si les choix proposés et les combinaisons réalisées correspondaient bien à ce que les élèves pourraient obtenir.

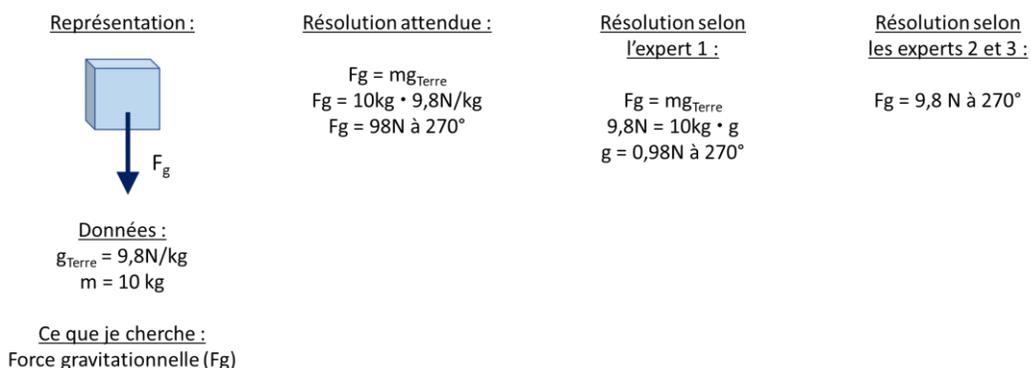
Finalement, la révision des experts en lien avec les énoncés et l'étude de la physique de 5e secondaire a premièrement permis de déceler l'utilisation non souhaitée de l'attribut (6) dans les items 6, 8 et 11 et deuxièmement, a provoqué la modification des énoncés pour les items 1, 12 et 15 en raison de leur niveau de complexité trop élevé. Ces changements ont engendré l'ajustement de choix de réponses afin que ceux-ci soient cohérents avec le nouvel énoncé. Toutefois, d'autres causes ont occasionné la révision des choix de réponses proposés aux élèves. La section suivante abordera l'analyse des choix de réponses initiaux proposés dans les items.

4.1.7.3 Révision des choix de réponses des items en lien avec la physique mécanique

Durant la révision des énoncés des 15 items, les choix de réponses proposés par les experts ont également été examinés pour refléter la probabilité qu'ils soient sélectionnés par les élèves, en particulier ceux liés à la force gravitationnelle. Premièrement, les experts ont tous avancé que selon leur expérience, les élèves rencontraient certaines difficultés à différencier la force gravitationnelle (F_g) et l'intensité du champ gravitationnel ($g = 9,8\text{N/kg}$ sur Terre) lors de l'utilisation de la formule $F_g = mg$. En revanche, cette problématique s'est traduite en deux visions dans les choix de réponses. La Figure 4.21 illustre trois calculs de la force gravitationnelle, soit le bon calcul, le calcul selon la vision de l'expert 1 et la vision des experts 2 et 3. Les experts se sont alors demandé si une des deux visions était plus probable qu'une autre et en sont venus à la conclusion que non, qu'ils s'agissaient d'erreurs fréquentes et qu'il était possible d'inclure ses deux possibilités dans les choix de réponses proposées aux élèves. Les items 4 et 12 avaient une réponse selon la vision de l'expert 1 et la vision des experts 2 et 3 était dans un choix de réponses des items 4, 7, 10 et 14.

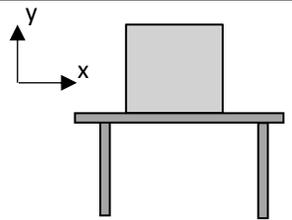
Figure 4.21 Représentation de ce qui est attendu d'un élève lors de la résolution d'un problème sur la force gravitationnelle (F_g) et les deux possibilités d'erreurs faites par les élèves selon les experts.

Si un corps possédant une masse de 10kg se trouve sur Terre, quelle est la valeur de sa force gravitationnelle?



Ensuite, les experts se sont interrogés sur l'orientation de la force gravitationnelle et sur la possibilité d'un élève rencontrant des difficultés avec cette force de choisir un choix de réponses dont l'orientation était à l'horizontale au lieu d'être à la verticale. Cette situation était présente dans les choix de réponses des items 4 et 10. Les experts 1 et 2 ont remis en doute la probabilité d'un élève à choisir cette réponse, car ils ont estimé que selon leur expérience, les élèves ne vont pas se tromper entre la verticale ou l'horizontale, mais seulement à la verticale ($\theta = 90^\circ$ ou 270°). La Figure 4.22 présente le changement réalisé pour l'item 10. Le choix de réponses a été modifié afin de mettre la force gravitationnelle à la verticale, mais vers le haut et l'orientation de la force normale a été ajustée afin d'être à l'opposé de la force gravitationnelle. Ce choix serait aussi en cohérence avec les leurres proposés par les experts lorsqu'il est demandé de choisir le bon DCL de la force gravitationnelle. Les experts ont placé à tous ces items au moins un choix où la force gravitationnelle était vers le haut.

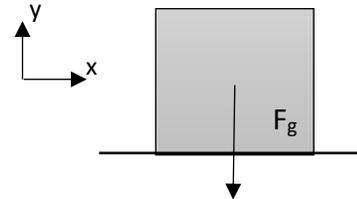
Figure 4.22 Révision du choix de réponses en lien avec l'orientation de la force gravitationnelle et la force normale pour l'item 10

Énoncé– Item 10	
<p>Une masse en équilibre et immobile de 20 kg est posée sur une table. Quelle est la norme et l'orientation de la :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Force de gravité exercée par la masse? – Force normale subie par la masse? 	
Révision - Réponses	
a) $F_g = 9,8N$ à 270° $F_N = 9,8N$ à 90°	
b) $F_g = 9,8N$ à 270° $F_N = 196N$ à 90°	
Avant	c) $F_g = 20N$ à 180° $F_N = 20N$ à 0°
Après	c) $F_g = 20N$ à 90° $F_N = 20N$ à 270°
d) $F_g = 196N$ à 90° $F_N = 196N$ à 270°	
e) $F_g = 196N$ à 270° $F_N = 196N$ à 90°	
f) $F_g =$ _____ $F_N =$ _____	

Puis, les experts se sont questionnés sur la présence d'un apport diagnostique de la force normale et de la force de frottement lorsqu'elles étaient regroupées avec la force de gravité dans les choix de réponses. Trois exemples ont été ressortis soient (1) l'absence d'une force normale n'ayant pas une orientation opposée à la force gravitationnelle dans l'item 10, (2) le manque d'une norme pour la force de frottement différent à celle de la force gravitationnelle dans l'item 12 et (3) pour la force normale dans l'item 13. Tout d'abord, pour l'item 10, les experts ont constaté qu'il n'y avait aucun choix de réponse où la force normale n'était pas à 180° de la force de gravité. Les experts se sont demandé s'il était pertinent d'inclure un choix où la force normale se trouvait dans une autre orientation qu'opposée à la force gravitationnelle et ils en sont venus à la conclusion que cela n'était pas nécessaire. Vu que l'attribut (4) comportait la maîtrise de la norme et de l'orientation, il était suffisant de mettre des leurres en lien avec la norme de la force normale sans pour autant évaluer l'orientation. Les experts en sont venus au consensus que lorsque l'on croiserait les résultats obtenus pour les différents items diagnostiquant la maîtrise de l'attribut (4), il serait possible de ressortir des conclusions tant sur la norme que sur l'orientation de cette force. Pour ce qui est de la norme de la force de frottement de l'item 12 et de la norme de la force normale de l'item 13, les experts ont estimé qu'il serait judicieux de rajouter un choix où la norme de ces forces ne serait pas égale à la force de gravité. Après avoir échangé sur les différentes possibilités de valeur, les experts ont ajouté une force de frottement nulle ($F_f = 0N$) pour l'item 12 et une force normale nulle ($F_N = 0N$) pour l'item 13. Selon eux, il s'agissait de l'erreur la plus fréquente des élèves apprenant la physique de 5e secondaire selon leur expérience.

La deuxième révision en lien avec les choix de réponses a été de s'interroger sur la présence ou non de négatif pour la valeur des normes des forces. L'expert 1 avait dans ses choix de réponses de l'item 3 un choix avec une norme négative comme montré dans la Figure 4.23. Les experts ont argumenté sur la nécessité et l'apport d'un choix de réponses avec une norme négative et en sont venus au constat que les élèves n'auraient pas tendance à choisir une valeur de norme négative. De plus, il y avait cette possibilité seulement à l'item 3 sur les 15 items élaborés rendant ainsi cette réponse non homogène aux autres et venant en contradiction avec les règles d'écritures ressorties de la recension des écrits. Les experts ont éliminé ce choix de réponse de ceux proposés, car en enlevant le signe négatif, la réponse c) et d) étaient pareil.

Figure 4.23 Révision du choix de réponse d) de l'item 3 ayant une norme négative

Énoncé – Item 3	
<p>Une masse, en équilibre et immobile au sol, subie une force gravitationnelle de 28N.</p> <p>– Quelle est la norme et l'orientation de la force normale subie par cette masse?</p>	

Avant	
a) $F_N = 0N$	
b) $F_N = 28N$ à 0°	
c) $F_N = 28N$ à 90°	
d) $F_N = -28N$ à 90°	
e) $F_N = 28N$ à 270°	
f) Autre : $F_N =$ _____	

Après	
a) $F_N = 0N$	
b) $F_N = 28N$ à 0°	
c) $F_N = 28N$ à 90°	
d) $F_N = 28N$ à 270°	
e) Autre : $F_N =$ _____	

Troisièmement, le format des choix de réponses variait lorsqu'il était demandé aux élèves de choisir un DCL et un choix de force incluant une norme et une orientation. Certains items avaient des choix qui incluaient seulement les normes alors que d'autres combinaient la norme et l'orientation. Dans ce deuxième cas, le nombre de combinaisons possibles était limité vu qu'il ne devait y avoir qu'entre 3 et 5 choix de réponses selon les recommandations des experts et qu'il y avait à avoir une cohérence entre la valeur numérique et le DCL. Cette situation est arrivée principalement dans les items 5, 6 et 14. La Figure 4.24 montre les choix de réponses de l'item 6 avant et après la révision des experts. Les experts ont discuté sur la nécessité d'avoir les orientations dans les valeurs alors que le DCL était aussi demandé. Ils ont alors retiré les orientations des valeurs et ont estimé que le DCL était suffisant pour diagnostiquer les difficultés en lien avec l'orientation d'une force. La même opération s'est réalisée pour l'item 5 avec la force de frottement et pour l'item 14 avec la force normale et la force de gravité.

Figure 4.24 Exemple de retrait des orientations dans la valeur des forces pour l'item 6

Énoncé – Item 6			
<p>Une masse exerçant une force gravitationnelle de 42N à 270° est en équilibre et immobile au sol.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quel est le DCL de la masse? • Quelle est la norme de la force normale subie par la masse? <p>Choisis la bonne combinaison parmi les DCL et les forces normales.</p>			
Choix de réponses			
Avant	<p>① </p> <p>④ $F_N = 42 \text{ N à } 90^\circ$</p>	<p>② </p> <p>⑤ $F_N = 42 \text{ N à } 270^\circ$</p>	<p>③ </p> <p>⑥ $F_N = 0 \text{ N}$</p>
	<p>① </p> <p>④ $F_N = 42 \text{ N}$</p>	<p>② </p> <p>⑤ $F_N = 0 \text{ N}$</p>	<p>③ </p>

Quatrièmement, les experts ont pris soin de vérifier pour chacun des items que les leurres étaient reliés tant en ce qui concerne les normes des forces que leur orientation. Ainsi, les experts proposaient des choix de réponses en lien avec des difficultés sur la norme seulement, sur l'orientation seulement et sur la combinaison des deux. Par exemple, pour l'item 4, nous pouvons voir l'aide de la Figure 4.25 un exemple de choix de réponses dont les leurres variaient entre la mauvaise norme et la mauvaise orientation au choix b), la mauvaise norme seulement au choix c) et la mauvaise orientation au choix d) et au choix e). En revanche, la difficulté liée à la mauvaise norme aux choix b) n'a pas la même cause qu'au choix c), de même que pour la mauvaise orientation entre le choix d) et le choix e). Le profil diagnostique ressorti selon le choix de réponse serait potentiellement enrichi.

Figure 4.25 Exemple de choix de réponses variés selon la cause de la difficulté combinant la norme et l'orientation pour l'attribut 6 sur la maîtrise de la force de gravité pour l'item 4.

Une masse est placée en équilibre et immobile de 10 kg au sol.

- Quelle est la norme et l'orientation de la force de gravité exercée par la masse?



Réponses	
a) $F_g = 98\text{N}$ $\theta = 270^\circ$	Bonne réponse
b) $F_g = 10\text{N}$ $\theta = 90^\circ$	Mauvaise norme (mélange entre F_g et m) Mauvaise orientation (vers le haut)
c) $F_g = 9,8\text{N}$ $\theta = 270^\circ$	Mauvaise norme (mélange entre F_g et g)
d) $F_g = 98\text{N}$ $\theta = 90^\circ$	Mauvaise orientation (vers le haut)
e) $F_g = 98\text{N}$ $\theta = 0^\circ$	Mauvaise orientation (force à l'horizontale)

La dernière considération des experts pour les choix de réponses a été de varier le plus possible les choix en prenant en compte la probabilité que les élèves choisissent cette réponse. Étant donné qu'un nombre limité de choix de réponses étaient possibles, soit entre 3 et 5, les experts ont examiné chacun des choix de réponses afin de ressortir ceux qui, selon leur expérience, étaient les plus pertinents. Par exemple, pour l'item 8, les experts ont hésité pour le dernier choix de réponse sur la possibilité qu'un élève additionne les forces en jeu, qu'elles soient verticales ou horizontales, ou qu'il les soustraie. Les experts en sont venus à la conclusion que les élèves vont avoir plus tendance à les additionner que de les soustraire. Ils ont donc gardé celui qui incluant l'addition des forces.

En conclusion, plusieurs préoccupations ont été prises en compte par les experts lors de la révision des choix de réponses tels que les leurres liés à la force gravitationnelle et les autres forces en jeu dépendant à la force gravitationnelle, le retrait des orientations dans les réponses des forces lorsque le DCL était aussi demandé, les combinaisons variées des leurres dans les choix de réponses ou la probabilité que les leurres soient ceux choisis par les élèves. C'est à la suite de la révision de l'ensemble de l'épreuve en ce qui concerne la présentation et la mise en page, les énoncés des items en lien avec la physique mécanique et les choix de réponses qui leur était relié que l'épreuve a été mise au point pour la phase 2, soit la

prévalidation de l'épreuve auprès de 12 élèves suivant le cours de physique de 5e secondaire. Les résultats de cette prévalidation seront présentés dans la section suivante.

4.2 Résultats de la phase 2 : Prévalidation de l'épreuve auprès des élèves

À la suite du développement de l'épreuve, nous avons entamé la deuxième phase, soit la prévalidation de notre évaluation. Cette phase avait pour objectif de comparer les résolutions obtenues par les élèves avec celles envisagées par les experts. Un total de 12 élèves suivant le cours de physique de 5^e secondaire ont complété la prévalidation en écrivant leurs démarches dans le document *Tache de l'élève* et en enregistrant leur raisonnement cognitif à l'aide du protocole verbal. C'est par le croisement du verbatim de chacun des élèves pour chacun des items avec les résolutions écrites que les experts ont pu élaborer un total de 180 cartes conceptuelles des processus cognitifs. L'utilisation du verbatim et de la démarche écrite avait pour but de garantir la validité de chacune des cartes conceptuelles. Chaque item a été analysé afin de procéder à la validation du construit ainsi que du contenu. Les résultats des analyses seront respectivement présentés dans les deux sections suivantes.

4.2.1 Validation des processus cognitifs utilisés pour chacun des items

Cette section procèdera à la validation du construit pour chacun des items. Le Tableau 4.5 présente les réponses choisies pour les 15 items lors de l'épreuve. Les cases vertes représentent la bonne réponse, les cases bleues identifient le choix « Autres » et les cases jaunes sont les absentions. Tout d'abord, un constat qui a pu être établi dès le départ est que les élèves ne connaissaient pas le terme « *Diagramme de corps libre* », concept pourtant prescrit dans le programme éducatif québécois de physique de 5e secondaire (MELS, 2007d). Les élèves ne savaient donc pas quoi répondre aux items leur demandant de déterminer le DCL malgré les choix de réponses proposés. La chercheuse leur a donc tous signifié que le diagramme du corps libre est aussi appelé officieusement « Schéma des forces ». Les élèves ont compris le synonyme qui semblait être le terme utilisé par l'enseignant et ont pu continuer l'épreuve. La chercheuse a estimé que ce n'était pas la connaissance du terme *Diagramme de corps libre* qui était important pour la prévalidation de l'épreuve, mais si les élèves savaient représenter les forces dans ce diagramme et les processus cognitifs qu'ils allaient utiliser. La chercheuse a jugé que l'impact négatif de ne pas éclaircir cette interrogation pourrait nuire davantage que de ne pas donner le synonyme vu que l'attribut (1) était nécessaire pour plus de la moitié des items, soit les items 1, 5, 6, 7, 11, 12, 14 et 15. En revanche, étant un concept prescrit du programme, le terme DCL devait être conservé. Lors d'une validation à grande échelle, il sera nécessaire de confirmer la connaissance ou non de ce terme par les élèves.

Tableau 4.5 Choix de réponses pour chacun des 15 items de l'épreuve

Item	A	B	C	D	E	F	Vide
1	0	11	1	0			
2	0	3	2	7	0		
3	0	0	11	1	0		
4	0	0	0	2	10	0	
5	1	1	2	7	0	0	1
6	0	12	0	0			
7	12	0	0	0	0	0	
8	10	0	0	0	0	1	1
9	4	0	0	8	0	0	
10	0	0	0	0	12	0	
11	10	1	0	0	1	0	
12	0	0	0	0	12	0	
13	0	9	0	0	0	3	
14	0	0	12	0	0	0	
15	9	2	0	0	0	1	

Légende :

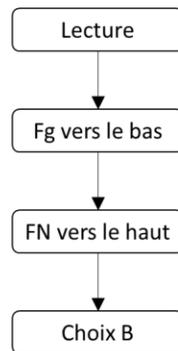
	Bonne réponse
	Choix « Autre »
	Abstention

Par la suite, en ce qui concerne la résolution de l'item 1, 11 participants sur 12 en sont arrivés à la bonne réponse en utilisant l'attribut (1) *Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni* adéquatement. En revanche, le participant 11 a réussi à identifier les deux forces en jeu, mais avec une mauvaise orientation pour la force de gravité. Son raisonnement était que la force gravitationnelle exercée sur la masse était celle de la Terre. Il a donc mis une flèche partant du bas (de la Terre) vers le haut (vers la masse). La force gravitationnelle est une force d'attraction entre deux corps. Il est certes vrai que le corps attire la Terre tout comme la Terre attire la masse avec la même force. Le participant 11 aurait eu raison si, dans la question de l'item, il avait été demandé de trouver le DCL de la Terre. Par la suite, ayant compris que la force normale équilibrait la force de gravité, il a mis la force normale vers le sol. La Figure 4.26 présente les deux résolutions obtenues pour l'item 1, soit celle attendue par les experts et utilisée par les participants 1 à 10 et 12 ainsi que celle erronée utilisée par le participant 11. Pour chacune des figures suivantes représentant les résolutions des items, nous avons mis en rouge

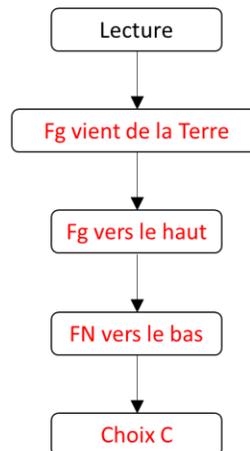
les étapes erronées des participants. L'item 1 peut donc être résolu à l'aide de l'attribut (1) sans la présence d'attributs non désirés.

Figure 4.26 Résolutions obtenues pour l'item 1

Participants 1 à 10, et 12



Participant 11

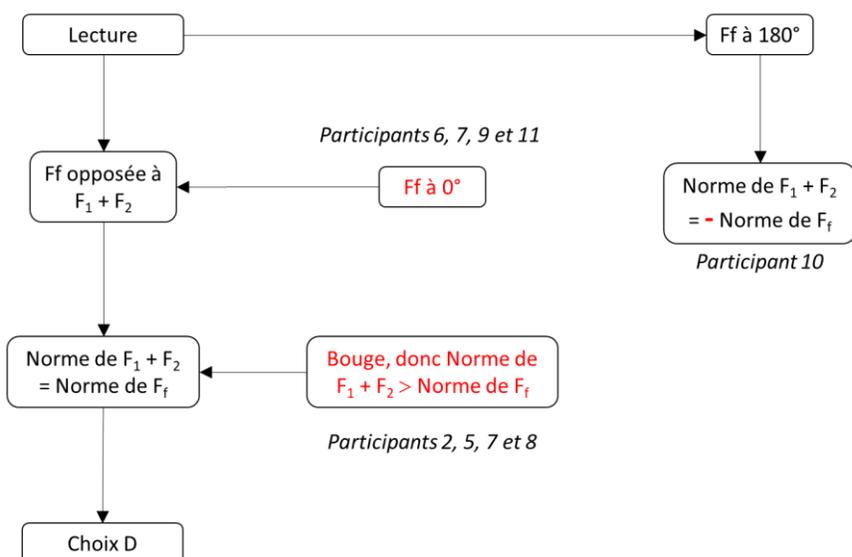


Attribut évalué : (1) Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni

Lors de la création des cartes conceptuelles pour l'item 2, plusieurs résolutions différentes sont survenues. La bonne résolution nécessitait la maîtrise de l'attribut (2) *Déterminer la force de frottement (norme et orientation)* comme envisagé par les experts sans la présence d'un autre attribut. Sur les 12 participants, 4 ont eu la maîtrise de l'attribut (2) et la bonne réponse. Pour ce qui est des 8 autres participants, ils ont soit eu de la difficulté avec l'orientation de la force de frottement, soit avec sa norme ou soit avec la combinaison des deux. Il est important de souligner que 5 participants ont changé leur réponse lors de la révision de leurs réponses durant la passation. Un nouveau processus cognitif a été appliqué soit menant à une autre mauvaise réponse, soit en effaçant la bonne réponse pour mettre en application un processus erroné ou soit en passant de la mauvaise réponse à la bonne réponse. Pour la dernière situation, seul un des deux participants choisissant finalement la bonne réponse a utilisé le bon raisonnement. Dans l'autre cas, le raisonnement fut un erroné et le participant a sélectionné la réponse qui se rapprochait le plus de sa réponse sans pour autant choisir l'option *Autre*. La Figure 4.27 présente la résolution attendue par les experts ainsi que les trois grandes erreurs. Un seul participant a eu une erreur pour la norme et pour l'orientation de la force.

Figure 4.27 Résolution attendue pour l'item 2 et les grandes erreurs de résolution

Participants 1, 3, 4 et 12



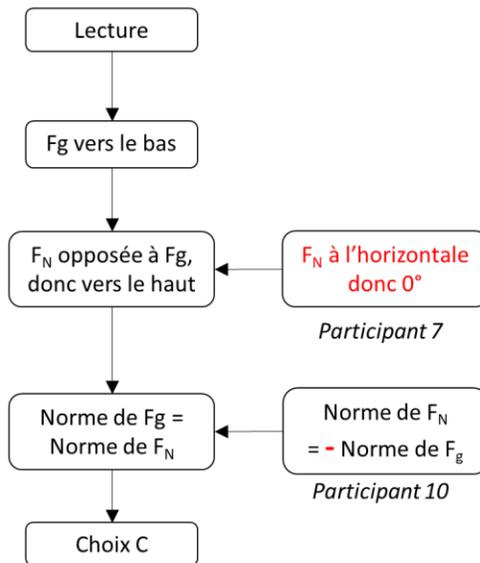
Attribut évalué : (2) Déterminer la force de frottement (norme et orientation)

Dans les erreurs identifiées, deux difficultés non envisagées par les experts ont été présentes, soit qu'un objet en mouvement doit avoir une force dans le sens du mouvement plus grande que la force de frottement (participants 2, 5, 7 et 8) et que la norme peut être négative (participant 10). En réalité, dans le premier cas, cela est faux et contrevient à la 1^{ère} loi de Newton, alors que dans le deuxième cas, la norme d'une force ne peut pas être négative. Nous discuterons plus en profondeur de ces deux situations lors du chapitre 5.

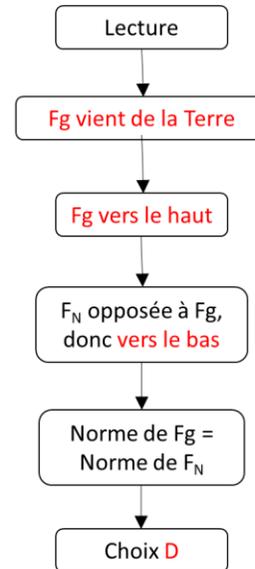
Par la suite, pour l'item 3, les experts estimaient qu'il pouvait être résolu par la maîtrise de l'attribut (4) *Déterminer la force normale (norme et orientation)*. Lors de l'analyse des cartes conceptuelles de la résolution des élèves, 10 participants sont arrivés à la bonne réponse en utilisant l'attribut prévu sans pour autant nécessiter un attribut non attendu. En revanche, 1 participant a choisi la bonne réponse avec le bon raisonnement, mais lors de sa révision, a choisi un leurre en cohérence avec la difficulté éprouvée lors de sa révision (participant 11) et 1 participant a sélectionné un choix erroné au départ puis a choisi la bonne réponse lors de sa révision (participant 7). Une situation particulière est à souligner pour le participant 10, car malgré l'utilisation de l'attribut (4) et la bonne réponse, celui-ci soulève la question de la norme négative, soit la même difficulté qu'il avait eue lors de la résolution de l'item 2. La Figure 4.28 expose la résolution des différents participants.

Figure 4.28 Résolution attendue pour l'item 3 et les grandes erreurs de résolution

Participants 2 à 5, 8 à 10 et 12



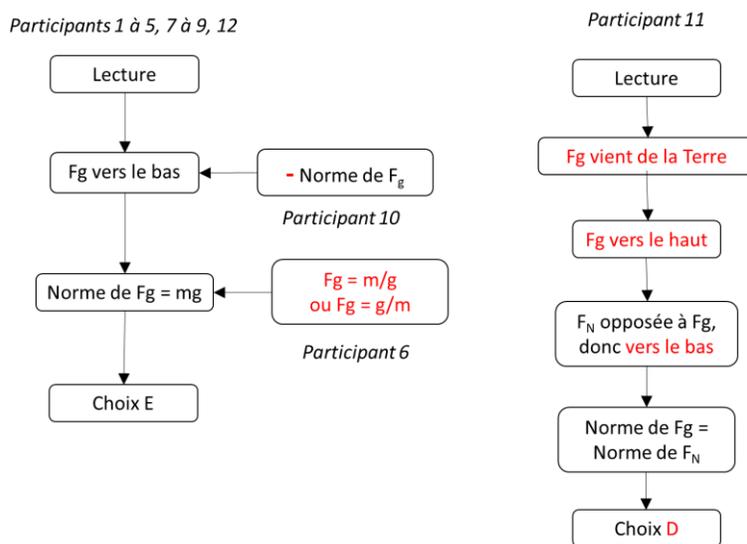
Participant 11



Attribut évalué : (4) Déterminer la force normale (norme et orientation)

Pour la résolution de l'item 4, seul l'attribut (6) *Déterminer la force gravitationnelle (norme et orientation)* devait être maîtrisé et c'est ce qui a été obtenu lors de l'analyse des cartes conceptuelles des participants. En sommes, 8 participants sont arrivés à la bonne réponse avec le raisonnement attendu dès la première fois, 1 participant a eu la bonne démarche et la bonne réponse, mais a pris un choix qui n'était pas en cohérence avec sa réponse (erreur d'étourderie), 1 élève a aussi eu la bonne démarche et a pris la bonne réponse tout en se questionnant sur le signe négatif ou non de la norme (participant 10) et 2 participants n'ont pas utilisé le bon processus cognitif et ont choisi le leurre correspondant à leur difficulté (participants 6 et 11). De ces deux participants, un seul a finalement compris son erreur et fait le bon raisonnement lors de sa révision lui permettant d'arriver à la bonne réponse (participant 6). La Figure 4.29 présente la résolution de l'item 4 et les principales erreurs des participants.

Figure 4.29 Résolution attendue pour l’item 4 et les grandes erreurs de résolution



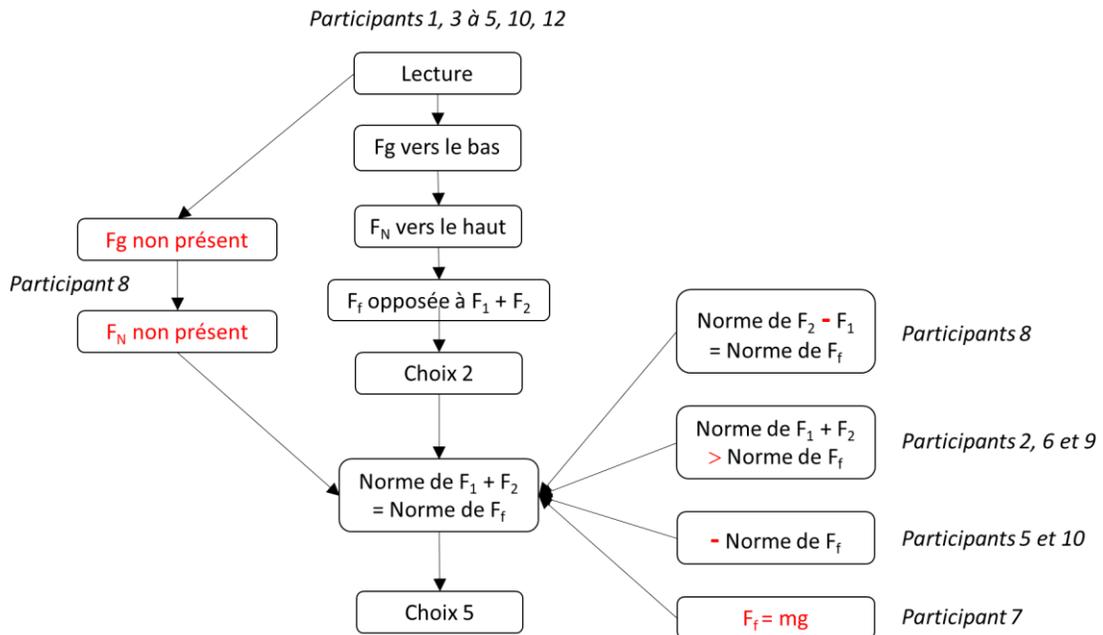
Attribut évalué : (6) Déterminer la force de gravité (norme et orientation)

À partir de l’item 5, un minimum de deux attributs devait être maîtrisé afin de réussir l’item. Ce sont les attributs (1) et (2) qui étaient recherchés pour l’item 5 et une combinaison de deux choix devait être sélectionnée dans les choix de réponses par les élèves. Tout d’abord, 4 participants ont choisi la bonne combinaison de choix en utilisant les deux attributs attendus. Deux autres participants en sont venus aux bons raisonnements cognitifs et à la sélection de la bonne combinaison lors de la révision. En revanche, il subsistait des doutes quant au signe négatif de la norme (participants 5 et 10). Le participant 9 a tout d’abord fait le bon raisonnement puis l’a changé lors de sa révision en supposant que la force de frottement devait être plus petite que la somme des forces dans le sens du mouvement pour que la masse puisse se déplacer. Lors de sa révision finale, il en est revenu à sa réponse de départ, qui était celle attendue par les experts.

Ensuite, nous constatons que trois participants ont choisi le bon DCL, mais la mauvaise norme de la force de frottement. Leur difficulté venait en revanche de trois causes différentes, soit que la force de frottement devrait être plus petite que la somme des forces dans le sens du mouvement (participant 2), soit que les deux forces ne pouvaient tout simplement pas être additionnées, donc la force de frottement devait être égale à la différence de valeur de norme de ces deux forces (participant 8) ou soit que pour trouver la valeur de la norme, l’élève devait utiliser la formule de la force gravitationnelle ($F_g = mg$) et sélectionner le choix dont la norme était la plus près (participant 7). De plus, un participant a trouvé la

bonne norme, mais n'a pas pris en considération la présence des forces verticales vu qu'elles n'étaient pas mentionnées dans le problème (participant 8). Finalement, un participant n'a tout simplement pas terminé le problème (participant 11). Il n'avait ni sélectionné de choix ni terminé de mettre en application aucun des deux attributs. La Figure 4.30 montre la résolution exacte ainsi que les différentes erreurs des participants pour l'item 5. Il est possible de constater que la nature des erreurs est variée.

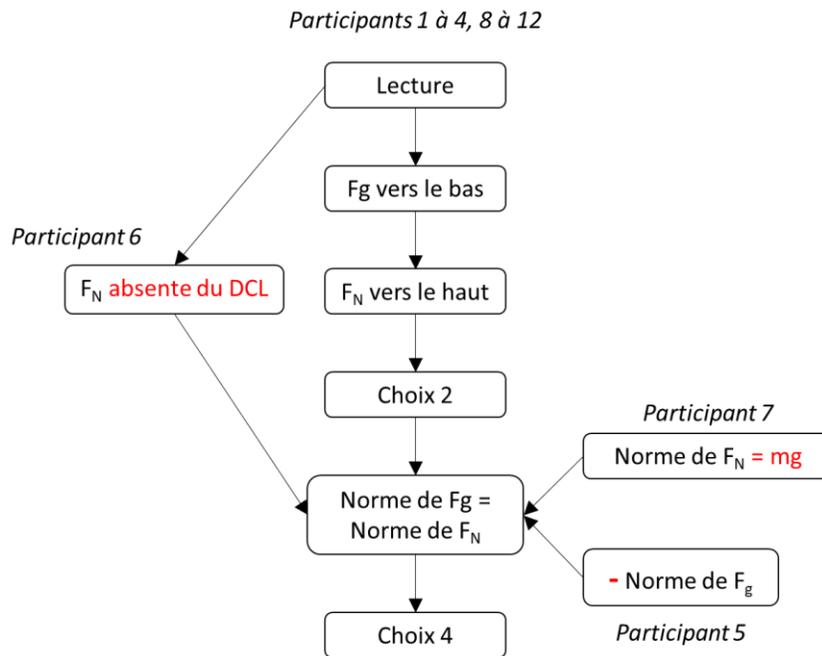
Figure 4.30 Résolution attendue pour l'item 5 et les grandes erreurs de résolution



Attributs évalués : (1) Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni et (2) Déterminer la force de frottement (norme et orientation)

L'item 6 nécessitait la maîtrise des attributs (1) et (4) pour être réussi. Lorsque nous observons les résultats obtenus à la suite de la passation, 9 des 12 participants ont résolu l'item en utilisant correctement les 2 attributs attendus, 1 participant a obtenu la bonne réponse, mais s'est questionné sur la possibilité d'avoir une norme négative (participant 5), 1 participant a obtenu la bonne réponse, mais en utilisant un raccourci, soit de mettre directement $F_N = mg$ sans passer par F_g (participant 7) et 1 participant est arrivé à la bonne réponse, car la combinaison qu'il voulait entre le choix du DCL et de la norme de F_N n'existait pas. La résolution attendue ainsi que les principales erreurs de résolution sont résumées dans la Figure 4.31.

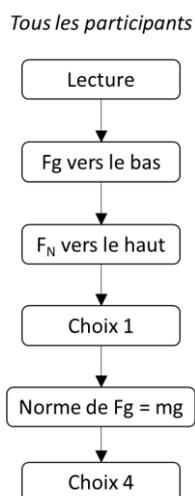
Figure 4.31 Résolution attendue pour l'item 6 et les grandes erreurs de résolution



Attributs évalués : (1) Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni et
(4) Déterminer la force normale (norme et orientation)

Ensuite, l'item 7 a été très bien réussi, car les 12 participants sont arrivés à la bonne réponse en utilisant tout d'abord l'attribut (1) sur la détermination du diagramme de corps libre. Les participants ont été capables d'identifier les forces présentes, soit la force gravitationnelle et la force normale. Cette dernière ne devait être que positionnée et non mesurée par la suite. À la suite de quoi les élèves ont été capables de calculer la force gravitationnelle et démontrer leur maîtrise de l'attribut (6) concernant la force gravitationnelle. La résolution attendue est représentée dans la Figure 4.32.

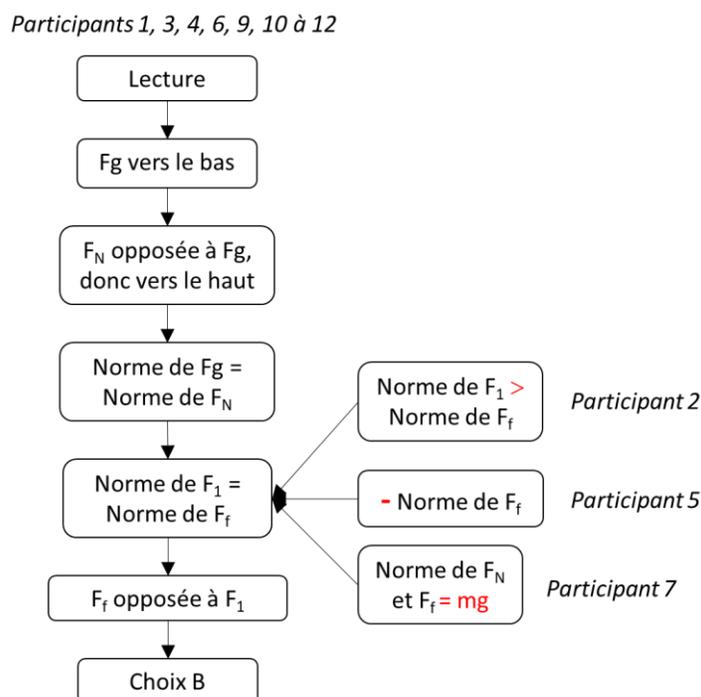
Figure 4.32 Résolution attendue pour l'item 7



Attributs évalués : (1) *Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni et*
(6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)*

La résolution de l'item 8 nécessitait la maîtrise des attributs (2) et (4) soit sur la norme de la force de frottement et sur la norme de la force normale. Sur les 12 participants, 7 sont arrivés à la bonne réponse par la mise en application des attributs attendus par les experts. Aucun autre attribut n'était nécessaire. Deux autres participants ont obtenu la bonne réponse en utilisant les bons attributs, mais ont soulevé un questionnement, soit la présence ou non d'un négatif pour la norme (participant 5) et l'incompréhension de l'équilibre alors que l'objet est en mouvement à vitesse constante (participant 11). Ensuite, 2 participants ont avancé que vu que l'objet était à vitesse constante, la force de frottement était nécessairement plus petite que la force dans le sens du mouvement. Ils ont choisi la bonne réponse, mais lors de leur révision, l'un des participants a inventé une réponse avec une force de frottement plus petite que la force de poussée (participant 2) alors que l'autre participant n'a finalement pas choisi de réponse (participant 8). Le dernier participant avait de la difficulté à trouver la valeur de la norme des forces. Il a supposé que la force normale puisse être mesurée par $F_N = mg$, soit ce qui est véridique ici, car les deux conditions étaient remplies : lorsque F_N et F_g sont parfaitement opposées et que l'objet est en équilibre (participant 7). En revanche, il s'agit d'un raccourci qui n'est pas infaillible, car dès que l'une des conditions n'est pas satisfaite, $F_N \neq F_g$. Ce participant a choisi la bonne réponse, car il s'agissait du seul choix où les orientations étaient justes et que la valeur de la norme de la force normale était aussi exacte. La Figure 4.33 présente les différentes résolutions obtenues.

Figure 4.33 Résolution attendue pour l'item 8 et les grandes erreurs de résolution

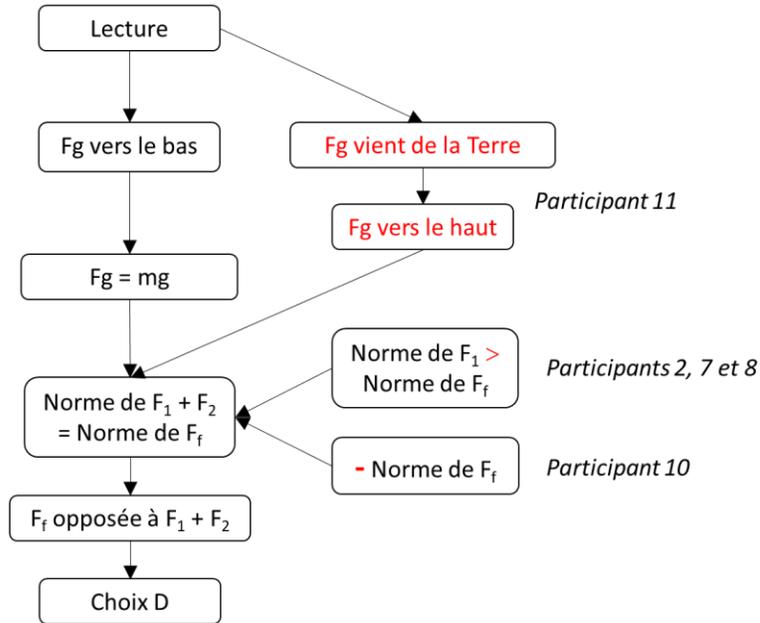


Attributs évalués : (2) Déterminer la force de frottement (norme et orientation) et
(4) Déterminer la force normale (norme et orientation)

Pour l'item 9, les élèves devaient maîtriser les attributs (2) et (6) pour atteindre les résolutions attendues par les experts. Un total de 6 participants a résolu adéquatement le problème et a choisi la bonne réponse, un participant a par inadvertance choisi la mauvaise réponse tout en ayant la bonne résolution. De plus, un participant s'est questionné sur la norme et sur l'absence de son signe négatif de la force de gravité tout en optant pour la bonne réponse (participant 5) et 1 participant aurait voulu mettre la force de gravité vers le haut, mais n'ayant pas cette possibilité dans les choix, a décidé d'être cohérent avec les autres énoncés sur l'orientation de la force gravitationnelle (participant 11). Finalement, 3 participants n'ont pas choisi la bonne réponse, car ils ont considéré que vu que la masse est en mouvement, la force de frottement a une norme plus petite que la somme des deux forces dans le sens du mouvement (participants 2, 7 et 8). La Figure 4.34 résume les différentes résolutions des participants pour l'item 9.

Figure 4.34 Résolution attendue pour l'item 9 et les grandes erreurs de résolution

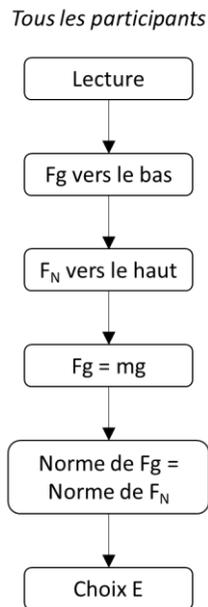
Participants 1, 3 à 6, 9 et 12



Attributs évalués : (2) Déterminer la force de frottement (norme et orientation) et (6) Déterminer la force de gravité (norme et orientation)

L'item 10 a été réussi par tous les participants comme les experts l'attendaient à l'aide des attributs (4) et (6) seulement, soit la détermination de la force normale et de la force de gravité tant en ce qui concerne la norme que l'orientation. Les élèves ont tout d'abord trouvé la force gravitationnelle en utilisant la formule de la force gravitationnelle puis ont spécifié que cette force est toujours orientée vers le bas. Les participants ont ensuite égalé la norme de la force de gravité à la force normale puis l'ont orientée en opposée à la force de gravité. La Figure 4.35 représente la résolution de l'item 10.

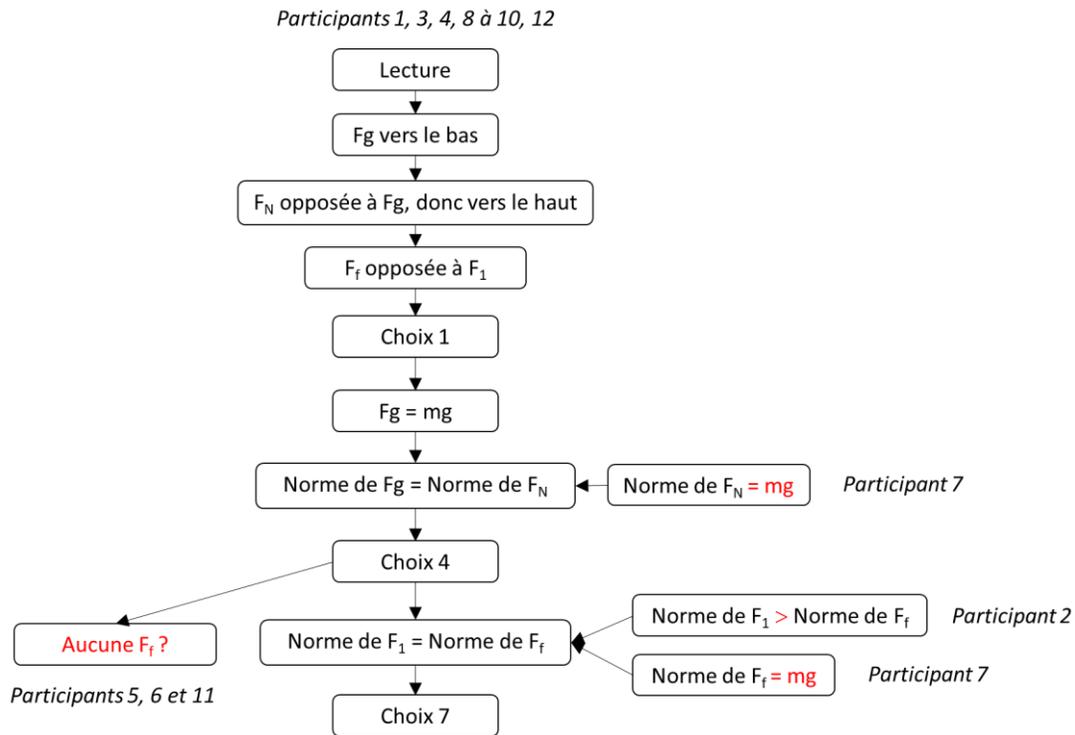
Figure 4.35 Résolution attendue pour l'item 10



Attributs évalués : (4) Déterminer la force normale (norme et orientation) et
(6) Déterminer la force de gravité (norme et orientation)

À partir de l'item 11, les élèves devaient maîtriser 3 attributs pour réussir l'item. Dans le cas de l'item 11, les élèves devaient utiliser les attributs (1), (2) et (4). Sur les 12 participants, 7 participants ont fait la résolution présagée par les experts. De plus, les participants 5, 6 et 11 sont aussi arrivés à la bonne réponse tout en étant incertains de leur choix. Ils ont soulevé qu'aucune force de poussée n'était représentée dans le schéma de départ les faisant ainsi douter de leur réponse considérant que la force de frottement dépend de la force de poussée en ce qui a trait à sa norme et à son orientation, soit son opposée. De ce fait, les participants ont utilisé la technique de l'élimination pour trouver la bonne réponse. Pour les deux derniers élèves, le participant 7 ne savait pas comment calculer les normes des forces et est allé au hasard pour trouver la réponse alors que le participant 2 a indiqué que la force de frottement devait être plus petite que la force de poussée et a inventé une réponse. Ils ont trouvé le bon DCL, la bonne norme pour la force normale, mais une norme erronée pour la force de frottement. La Figure 4.36 expose la résolution attendue ainsi que les résolutions erronées pour l'item 11 à la suite de la prévalidation.

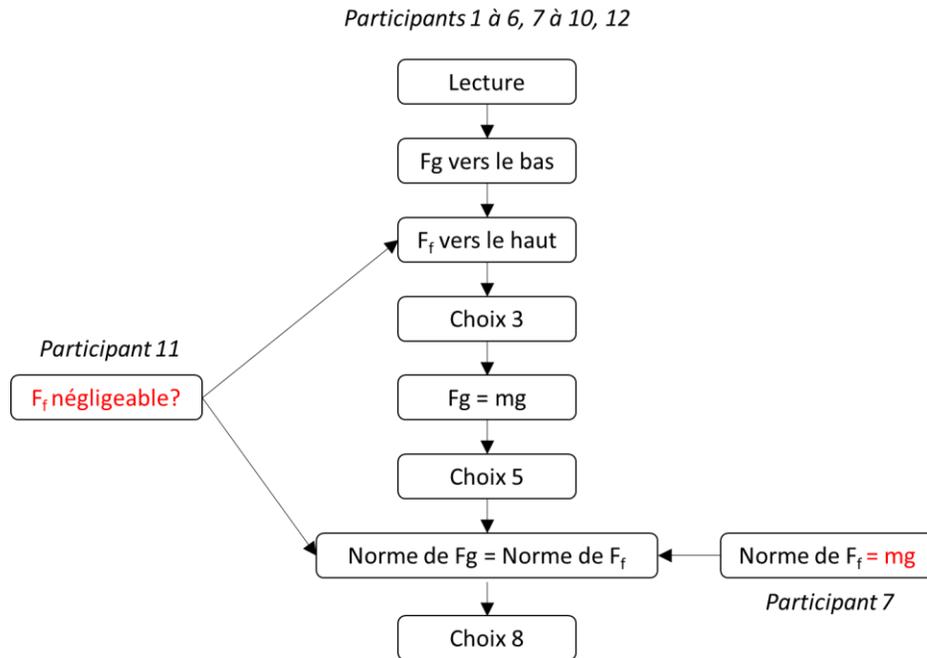
Figure 4.36 Résolution attendue pour l'item 11 et les grandes erreurs de résolutions



Attributs évalués : (1) Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni,
 (2) Déterminer la force de frottement (norme et orientation) et
 (4) Déterminer la force normale (norme et orientation)

Pour l'item 12, tous les participants sont arrivés à la bonne réponse, mais seulement 10 ont eu exactement le bon raisonnement en utilisant les attributs (1), (2) et (6). Les participants 7 et 11 y sont arrivés par déduction et par hasard. Pour le participant 7, celui-ci a été capable d'arriver à la bonne réponse pour le DCL et pour la norme de la force de la force de gravité, mais ne savait pas comment calculer la norme de la force de frottement. Une seule combinaison proposait le bon DCL et la bonne norme de la force gravitationnelle. Il a donc pu arriver à la bonne réponse. Pour le participant 11, il se questionnait sur la probabilité que la force de frottement de l'air soit négligeable. Dans plusieurs numéros, lors de l'apprentissage des bases de la physique mécanique, il est commun de considérer la force de frottement de l'air comme négligeable. Il hésitait donc entre un DCL qui n'avait pas la force de frottement combiné avec le choix $F_f = 0N$ ou un DCL dont la force de frottement était présente et dont la valeur de la force de frottement était celle attendue. Par hasard, il a pris la bonne réponse. Il n'a donc pas considéré que la masse tombait à vitesse constante et que les forces s'égaliaient en utilisant de ce fait le concept de l'équilibre. La Figure 4.37 résume les diverses résolutions de l'item 12 obtenues après la passation.

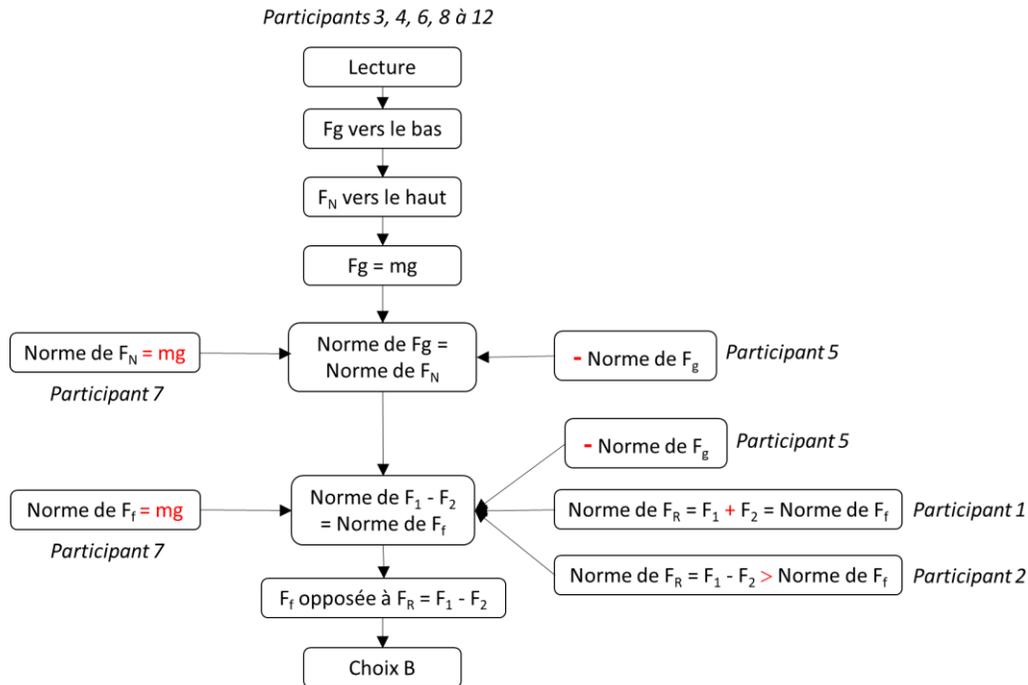
Figure 4.37 Résolution attendue pour l’item 12 et les grandes erreurs de résolutions



Attributs évalués : (1) Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni,
 (2) Déterminer la force de frottement (norme et orientation) et
 (6) Déterminer la force de gravité (norme et orientation)

Pour l’item 13, 8 des 12 participants ont réalisé ce qui était attendu par les experts en utilisant seulement les attributs (2), (4) et (6), 1 participant est arrivé à la bonne réponse en se questionnant si la réponse ne devait pas être négative (participant 5) et 1 participant n’a pas pu trouver la bonne norme des forces, car contrairement à des questions précédentes, il n’a pas pu y aller par élimination des choix de réponse (participant 7). Pour les deux autres participants, ils sont arrivés à la bonne réponse de la norme de la force gravitationnelle et de la force normale, mais non à la bonne valeur de la force de frottement. Pour le participant 1, il n’a pas pris en considération l’orientation des forces de poussée et les a additionnées au lieu de trouver la différence pour l’égaliser à la force de frottement, alors que pour le participant 2, considérant que l’objet était en mouvement, la force de frottement ne pouvait pas être égale à la différence de la force de poussée. Il est possible de voir les différentes résolutions et erreurs des participants dans la Figure 4.38.

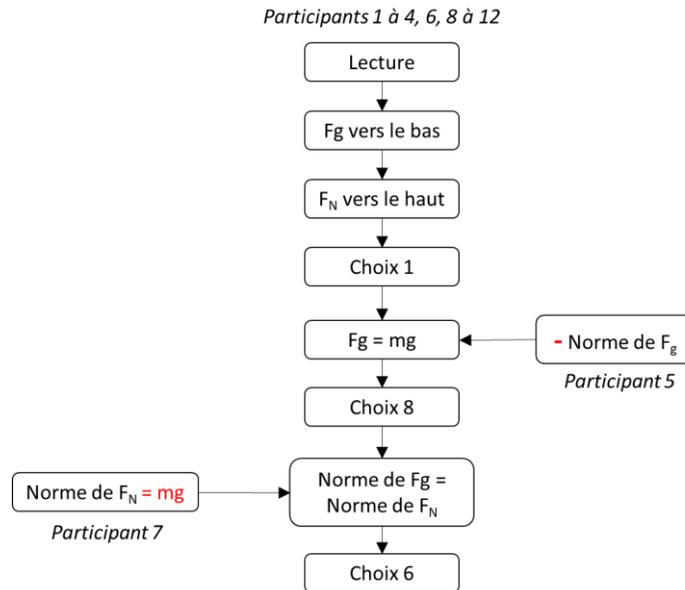
Figure 4.38 Résolution attendue pour l’item 13 et les grandes erreurs de résolutions



Attributs évalués : (2) Déterminer la force de frottement (norme et orientation),
 (4) Déterminer la force normale (norme et orientation) et
 (6) Déterminer la force de gravité (norme et orientation)

L’item 14 nécessitait la maîtrise des attributs (1), (4) et (6). Les 12 participants sont parvenus à la bonne réponse, 11 avec la bonne résolution et 1 par déduction (participant 7) telle que présentée à la Figure 4.39. Ce dernier a été capable de déterminer le DCL et la valeur de la norme de la force de gravité. En revanche, il n’a pas été en mesure de calculer la norme de la force normale. Vu qu’un seul choix de réponse combinait son choix de DCL et de la norme de la force gravitationnelle, il a réussi à déduire la norme de la force normale. De plus, le participant 5 a soulevé son questionnement, pareillement aux items précédents, sur le fait que la norme des forces ne soit pas négative lorsqu’elles sont orientées vers le sol.

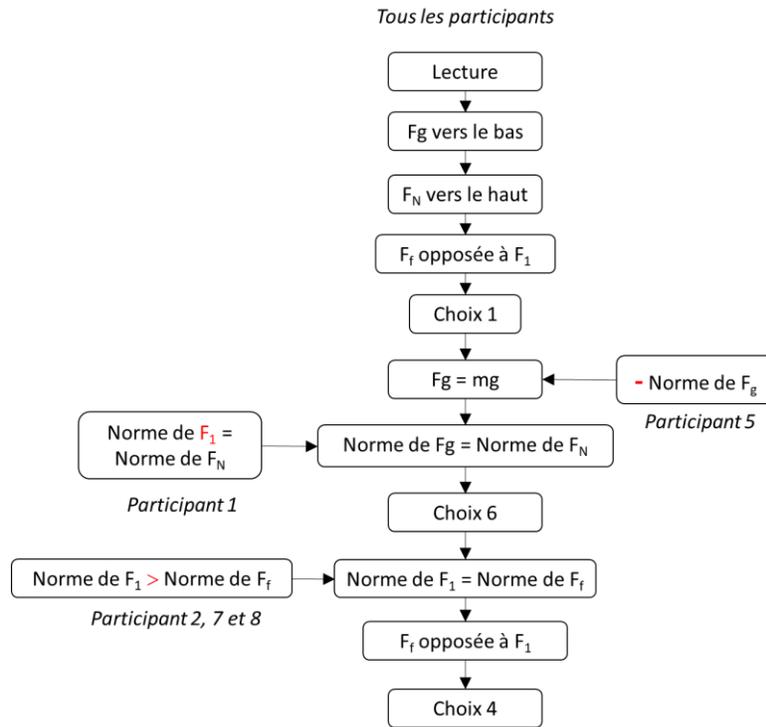
Figure 4.39 Résolution attendue pour l’item 14 et les grandes erreurs de résolutions



Attributs évalués : (1) Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni,
 (4) Déterminer la force normale (norme et orientation) et
 (6) Déterminer la force de gravité (norme et orientation)

Finalement, pour l’item 15 qui était le dernier de l’épreuve, les 4 attributs évalués devaient être maîtrisés. Un peu plus de la moitié des participants, soit 7 sur 12, ont su choisir la bonne réponse par la mise en application des attributs demandés. En revanche, 1 de ces participants s’est encore une fois interrogé sur la négativité ou non d’une force qui est à 270° (participant 5). Des participants restants, 1 participant (participant 6) a trouvé la bonne réponse, mais par déduction en ce qui concerne la valeur de la force normale, et 1 participant (participant 8) a trouvé la bonne réponse par déduction malgré le fait qu’il ait préféré avoir une norme de la force de frottement plus petite que la force de poussée. Finalement, trois participants n’ont pas utilisé les attributs attendus adéquatement soit parce qu’ils ont mélangé les forces horizontale et verticale (participant 1) ou soit parce qu’ils ont déduit que la norme de la force de frottement devait être plus petite que la force de poussée (participants 2 et 7). Les différentes résolutions sont présentées à la Figure 4.40.

Figure 4.40 Résolution attendue pour l'item 15 et les grandes erreurs de résolutions



Attributs évalués : (1) Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni,
 (2) Déterminer la force de frottement (norme et orientation),
 (4) Déterminer la force normale (norme et orientation) et
 (6) Déterminer la force de gravité (norme et orientation)

À la suite de l'analyse de chacune des cartes conceptuelles, nous pouvons faire la synthèse des réponses pour chaque item selon chaque participant dans le but de ressortir un début de profil diagnostique cognitif. Lors de la validation à grande échelle de l'épreuve, il sera possible de ressortir des profils diagnostiques plus détaillés des participants par l'analyse des résultats avec les modèles de classifications diagnostiques. Ces profils nous permettront de connaître le niveau de maîtrise de chacun des attributs ressortis pour l'épreuve selon chaque participant. Le Tableau 4.6 expose la réussite ou non de l'item pour chacun des élèves. Les cases contenant 1 signifie la réussite de l'item alors que le 0 signifie un échec. Pour chacun des items, le total d'élèves ayant réussi l'item (en nombre absolu et en pourcentage) est calculé à la fin de chaque colonne. Pour ce qui est du nombre total d'items réussis pour chacun des élèves, celui-ci est indiqué à la fin de chaque ligne.

Tableau 4.6 Synthèse du taux de réussite des items des participants

Élèves	Items															Total	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	11	73
2	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	8	53
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	100
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	100
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	100
6	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	87
7	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	9	60
8	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	11	73
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	100
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	100
11	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	67
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	100
Total	11	7	11	10	7	12	12	10	8	12	10	12	9	12	9		
%	92	58	92	83	58	100	100	83	67	100	83	100	75	100	75		

De plus, bien qu'ayant réussi tous les items, certains participants ont parfois obtenu la bonne réponse par une résolution ou un raisonnement erroné. C'est le cas du participant 5 qui était confus avec le mouvement de l'objet et la force de frottement (items 2 et 11) ou avec la possibilité d'avoir une norme négative (items 5, 6, 8, 14 et 15). Pourtant, les résultats finaux indiquent qu'il devrait maîtriser tous les attributs. Lors du chapitre 5, nous reviendrons sur des recommandations à la suite des certaines constatations réalisées dans ce présent chapitre et nous proposerons une possibilité de garder le format de questions à choix multiples tout en réduisant les difficultés liées à un nombre limité de choix de réponses, soit entre 3 et 5 choix de réponse. Finalement, nous pouvons constater que la réussite des items ne semble pas être liée au nombre d'attributs nécessaires pour réussir l'item. Ainsi, certains items avec 1 attribut ont eu un taux de réussite d'environ 1 personne sur 2 tel que l'item 2 alors que des items requérant 3 attributs ont été réussis, par exemple l'item 12.

Nous pouvons conclure que l'attribut posant le plus de défis pour les élèves est l'attribut (2) *Déterminer la force de frottement (norme et orientation)*, ce constat étant cohérent avec les principales erreurs soulevées lors de l'analyse des cartes conceptuelles de résolution. Les participants 2 et 7 se sont distingués par le plus faible taux de réussite global ainsi que par une maîtrise plus faible de chacun des attributs, notamment pour les items impliquant l'attribut (2) sur la détermination de la force de frottement. Pour le

participant 1, une maîtrise remarquable des items liés à l'attribut (1) en lien avec DCL a été observée. Cependant des difficultés ont été rencontrées pour les attributs (1), (4) et (6). Quant au participant 8, une bonne maîtrise des attributs (1), (4) et (6) liés respectivement aux DCL, à la force normale et à la force de gravité a été démontrée, mais seulement 4 des 8 items impliquant la détermination de la force de frottement ont été correctement résolus. Le participant 11 a réussi 10 des 11 items impliquant au moins deux attributs. Cependant, il a échoué aux 4 items portant sur des attributs individuels ainsi qu'à l'item 5 impliquant les attributs (1) et (2). Enfin, les participants 3, 4, 5, 6, 9, 10 et 12 ont réussi la majorité, voire tous les items, démontrant ainsi une maîtrise élevée de chaque attribut. Il convient toutefois de souligner qu'une évaluation uniquement basée sur le résultat global peut être trompeuse pour diagnostiquer les difficultés des participants. En effet, les participants 1 et 8 ont obtenu le même score global, soit 73 %, bien que leur profil cognitif diagnostique semble différent. Le participant 1 a éprouvé des difficultés avec les attributs (2), (4) et (6), tandis que les difficultés du participant 8 semblent être spécifiquement liées à l'attribut (2). Il est donc crucial d'examiner la réussite des attributs individuellement afin de dresser un diagnostic précis des compétences maîtrisées et de celles posant des problèmes, dans le but de mettre en place des stratégies de remédiation adaptées aux difficultés identifiées.

En conclusion, lorsque nous analysons les réponses obtenues par les participants, nous constatons que les items pouvaient bien être résolus à partir des attributs attendus par les élèves et qu'aucun autre attribut n'était nécessaire dans la démarche. En revanche, il est possible de remarquer des redondances dans les réponses erronées et dans les questionnements des participants. Elles seront abordées dans le dernier chapitre de ce mémoire. De plus, les élèves sont à l'occasion arrivés à la bonne réponse, mais par déduction à l'aide des autres choix de réponses et des différentes combinaisons. Une analyse des choix de réponses et des leurres sera aussi présentée dans le chapitre suivant. Finalement, après avoir fait l'analyse des réponses des élèves, il convient maintenant de faire l'analyse des contenus attendus par les experts représentant les concepts prescrits ciblés par la chercheuse lors de recension des écrits.

4.2.2 Validation du contenu pour chacun des items

La section suivante présentera l'analyse des contenus présents dans les items par la comparaison de ce qui était envisagé par les experts et les contenus réellement utilisés par les participants. Pour chacun des items des 12 participants, une révision des contenus a été réalisée à l'aide de la fiche de révision (voir ANNEXE J). Le contenu attendu y était inscrit ainsi qu'un espace supplémentaire pour le contenu « Autre ». Dans cet espace, le contenu non prévu pouvait y être inscrit.

À la suite de la compilation des fiches de révision pour chacun des items, il a été possible de constater que les contenus présents dans les items ont été ceux utilisés par les élèves lors de la passation sauf en ce qui concerne le concept prescrit de l'équilibre et de la force résultante. Ce concept pourtant présent et nécessaire dans les items 1 à 3, 5, 6, 8 à 15, soit 13 items sur les 15 de l'épreuve. Pour chacun de ces items, les experts s'attendaient à ce que les élèves mentionnent l'état d'équilibre, soit parce que le corps est immobile (items 1, 3, 6, 2 et 3) ou à vitesse constante (items 2, 5, 8, 9, 11 à 13, 15). Il y avait davantage d'items à vitesse constante qu'immobile, car pour qu'il y ait une force de frottement, en physique de 5^e secondaire, nous considérons qu'il doit y avoir un mouvement. Par conséquent, pour tous les numéros nécessitant la maîtrise de l'attribut (2), soit *Déterminer la force de frottement*, l'objet devait être à vitesse constante. Le Tableau 4.7 présente le nombre de participants ayant mentionné au moins une fois le concept de *l'Équilibre* pour chacun des items ainsi que la raison, soit que la masse était *Immobile* ou à *Vitesse constante*. En ce qui concerne les items 4 et 7, la masse était bel et bien à l'équilibre, mais ce concept n'était pas nécessaire pour réussir les items. Ils n'ont donc pas été inclus dans le tableau.

Tableau 4.7 Nombre de participants ayant mentionné que la masse était en équilibre à cause de l'immobilité ou de la vitesse constante de la masse pour chacun des items.

Item	Équilibre	Immobilité	Vitesse constante
1	4	3	-
2	1	-	2
3	5	5	-
5	2	-	1
6	2	3	-
8	2	-	0
9	1	-	0
10	3	2	-
11	3	-	0
12	0	-	1
13	4	-	1
14	1	3	-
15	0	-	0

Bien que peu de participants aient abordé l'équilibre des situations, il est possible de voir qu'ils ont, en général, bien compris ce concept lorsqu'un objet à l'immobilité vu que les cartes conceptuelles des résolutions montrent que les participants ont équilibré les forces à l'horizontale et à la verticale. En revanche, lorsque l'objet était à vitesse constante, moins d'élèves abordaient le concept de l'équilibre. De plus, plusieurs élèves ont douté que les forces devaient s'équilibrer. Dans seulement 9 résolutions sur les

180, soit 5% du temps, les élèves ont mentionné la force résultante. Cette idée qu'un corps en mouvement n'est pas en équilibre correspond à une conception spontanée fréquente chez les apprenants (Aguzzi et Dintinger, 2015; Gunstone, 1987; Mildenhall et Williams, 2001; Viennot, 1978). Ainsi, le lien existant entre l'équilibre et la force résultante ne semble pas avoir été considéré par les élèves, notre épreuve apportant un doute sur l'évaluation de ce concept dans le contenu prévu dans notre épreuve.

En conclusion, notre épreuve avait pour objectifs : (1) d'identifier des attributs relevant de la physique dynamique, (2) d'élaborer des items permettant d'évaluer la maîtrise de ces attributs et (3) de prévalider ces items. Concernant le premier objectif, la méthodologie utilisée pour identifier les attributs en physique de 5e secondaire nécessitant un diagnostic a permis aux experts de constituer une première liste de 7 attributs (*Attributs modifiés*). Ensuite, notre processus a permis de ressortir 4 attributs (*Attributs finaux*) pour lesquels un diagnostic cognitif était nécessaire. Pour le deuxième objectif, nos résultats montrent que le panel d'experts a pu élaborer une série de 15 items exigeant différentes combinaisons des 4 *Attributs finaux* pour être résolus. Ces items évaluent les concepts prescrits liés au diagramme de corps libre, à la force de gravité et à la force de frottement. Enfin, en ce qui concerne le troisième objectif, nous avons prévalidé ces items auprès d'un groupe d'élèves de 5e secondaire suivant le cours de physique. À la suite de cette passation et aux résultats obtenus, nous pouvons remarquer que notre épreuve permet de diagnostiquer les difficultés des élèves en ce qui a trait à la maîtrise d'attributs de la physique mécanique dynamique. En revanche, nous avons également constaté certaines limites dans notre épreuve, notamment le manque de preuves concernant l'utilisation du concept d'équilibre, plus particulièrement lorsque le corps se déplace à vitesse constante, ainsi que la maîtrise du concept prescrit de la force résultante par nos items. Par conséquent, plusieurs observations ont été réalisées en lien avec les choix de réponses proposés par les experts, les processus utilisés par les participants et le contenu des items. Dans le chapitre suivant, nous interpréterons les résultats obtenus en les reliant à nos objectifs de recherche et nous aborderons les limites de notre étude.

CHAPITRE 5

Interprétation, discussion et conclusion

Dans le chapitre 4, nous avons présenté les résultats obtenus à la suite du développement d'une épreuve diagnostique cognitive en physique pour les élèves de 5e secondaire. Ce processus comprenait deux phases : la consultation d'un panel d'experts pour concevoir l'épreuve, suivie d'une phase de prévalidation auprès des élèves participant au cours de physique. Dans ce chapitre, nous procéderons à une discussion sur les résultats de notre recherche en faisant l'alignement avec les objectifs de recherche ainsi que ses forces et limites. Finalement, nous formulerons des recommandations concernant le développement et la prévalidation d'épreuves diagnostiques cognitives qui pourraient être appliquées non seulement en physique, mais aussi dans d'autres disciplines.

Notre recherche a pour objectif de développer une épreuve diagnostique cognitive visant à identifier les forces et les faiblesses des raisonnements cognitifs d'élèves de 5e secondaire résolvant des problèmes de la physique mécanique dynamique. La méthodologie utilisée consistait à adapter les 4 étapes de Lee et Sawaki (2009) du développement d'une épreuve basée sur l'ADC avec l'ajout de l'étape de la création des items. Cette démarche a été réalisée en combinant trois cadres de références en développement d'épreuves (AERA *et al.*, 2014; Irwing et Hughes, 2018; Lane *et al.*, 2016). Considérant que la méthodologie proposée par Lee et Sawaki (2009) permettait d'adapter une épreuve existante basée sur une autre approche, soit la méthode nommée inductive, et que dans le cadre de notre recherche, nous avons comme objectif de développer une épreuve dès le départ sur l'ADC, soit la méthode déductive, l'ajout de l'étape d'élaboration des items et l'utilisation de cadres de références détaillant la création d'items sont devenus essentiels. Étant donné que le développement d'une épreuve selon l'ADC est relativement nouveau et peu détaillé, un processus itératif de validation s'est révélé nécessaire afin de pouvoir évaluer la qualité des items élaborés. De cette méthodologie ont découlé nos trois sous-objectifs : (1) l'identification d'attributs nécessaires lors de la résolution d'items en lien avec la physique dynamique, (2) la création d'items nécessitant les attributs ressortis et (3) la prévalidation de l'épreuve à l'aide d'un groupe d'élèves de 5^e secondaire. Les deux premiers sous-objectifs correspondaient à la phase 1, soit le *Développement de l'épreuve à l'aide d'un panel d'experts*, alors que le sous-objectif 3 correspondait à la phase 2, soit la *Prévalidation de l'épreuve à l'aide d'un groupe d'élèves suivant le cours de physique de 5e secondaire*. À partir de ces sous-objectifs, nous entamerons la discussion et l'interprétation de nos résultats obtenus. Tout d'abord, nous aborderons les choix effectués concernant les critères de sélection des experts et la

confirmation du contenu de l'épreuve. Ensuite, nous analyserons le processus d'identification et de hiérarchisation des attributs selon la méthode MACB. Nous examinerons également le nombre d'items de notre épreuve et les ressources fournies aux experts pour la création des items. Par la suite, nous engagerons une discussion sur la validité du contenu et du construit, en examinant respectivement le contenu présent et les attributs utilisés dans chacun des items par rapport à ceux envisagés par les experts. Nous nous pencherons ensuite sur la prévalidation des choix de réponses et des combinaisons élaborées par les experts. Enfin, nous conclurons en formulant des recommandations visant le développement d'une épreuve diagnostique cognitive en physique et raffinant le diagnostic cognitif ressorti des élèves.

5.1 Choix des experts et du contenu

Lors de la phase 1, la chercheuse a sollicité l'expertise de deux experts pour la conception de son épreuve. Le choix des experts est crucial pour notre recherche, car durant tout le processus de développement du test, leur jugement, leur discernement et leur compétence vont influencer significativement les décisions prises, et par le fait même, la validité du contenu et du construit de l'épreuve (AERA *et al.*, 2014; Cronbach et Meehl, 1955; Haynes *et al.*, 1995; Lee et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Li *et al.*, 2021; Loye, 2009; Lynn, 1986, Ricard, 2007; Yusoff, 2019). Nos critères de sélection des experts étaient alignés à ceux utilisés lors de recherches réalisées avec l'approche diagnostique cognitive tel que Bradshaw, Izsak, Templin et Jacobson (2014), Chin, Chew et Lim (2021), Loye (2009), Loye et Lambert-Chan (2016) et Tjoe et de la Torre (2013). Ces études recommandent une sélection d'experts en fonction de leur rôle et de leur spécialisation dans le domaine d'études concerné. Dans le cadre de notre recherche, nos choix étaient basés sur une expérience pertinente dans l'enseignement de la physique et une participation significative à l'élaboration d'évaluations en physique. Ainsi, nous avons recruté deux enseignants en plus de la chercheuse ayant plus de 10 ans d'expérience en sciences et technologie et en physique, avec une spécialité universitaire en physique lors de leur baccalauréat, garantissant ainsi une connaissance approfondie de l'apprentissage de la physique. Le choix des critères a été judicieux, car ayant enseigné tant en physique qu'en sciences du 1^{er} au 4^e secondaire, les trois experts étaient familiers avec les concepts préalables pour le cours de physique vus lors des 4 premières années du secondaire. Leur expertise a enrichi les échanges et les argumentations lors de la méthode MACB facilitant ainsi l'atteinte d'un consensus sur les attributs à conserver. De plus, leur expérience en évaluation leur a permis de créer aisément des items basés sur le contenu de notre épreuve, grâce à leur maîtrise des attentes, des processus cognitifs utilisés, du niveau de langage approprié et des difficultés fréquemment rencontrées. Ce constat rejoint les résultats des recherches sur le développement d'épreuves basées sur l'ADC, soulignant l'importance du recrutement

d'enseignants avec une expérience considérable en enseignement et évaluation dans le domaine spécifique étudié (Bradshaw, Izsak, Templin et Jacobson, 2014; Chin, Chew et Lim, 2021; Loye, 2009; Loye et Lambert-Chan, 2016; Tjoe et de la Torre, 2013). Leur expérience permet de mettre en lumière les attributs utilisés par les élèves lors de l'apprentissage et de créer des items en adéquation avec le niveau de difficulté approprié en lien avec le programme de formation.

En ce qui concerne le nombre d'experts choisis, nous avons constaté lors de notre recension des écrits que celui-ci varie d'une étude à l'autre et d'une étape à l'autre du développement d'une épreuve. Au cours de notre recherche, en considérant les besoins de faire appel à des experts du domaine tout en facilitant les échanges pour cette prévalidation, deux experts ont collaboré avec la chercheuse, formant ainsi un panel total de trois experts. Ce chiffre est cohérent avec ceux utilisés dans diverses études relatives au développement d'épreuves à visée diagnostique cognitive (Chin, Chew, Lim et Thien, 2021; Loye, 2009; Loye et Lambert-Chan, 2016; Tjoe et de la Torre; 2013). Bien que le nombre de trois experts soit inférieur aux recommandations pour la méthode MACB, nous avons réussi à obtenir une variété de points de vue tout en facilitant les échanges et en parvenant à un consensus. Nous estimons que 3 experts, selon les critères de sélection que nous avons mis en place, ont été adéquats pour identifier les attributs importants en physique mécanique dynamique, pour les hiérarchiser afin de déterminer ceux qui seraient inclus dans notre épreuve et pour créer des items nécessitant ces attributs. Un nombre plus élevé d'experts aurait peut-être été nécessaire dans le cas où ces derniers auraient eu moins d'expérience en enseignement de la physique et en élaboration d'évaluations liées à ce cours. Il est important de souligner que nos items ainsi que les attributs utilisés ont fait l'objet d'une prévalidation par un groupe d'élèves inscrit dans le cours de physique de 5^e secondaire. Cette étape a permis de consolider les décisions prises par les experts, étayés par leurs résolutions écrites et leurs protocoles verbaux comme recommandé par Jang (2005), Leighton (2004), Sia, Lim, Chew et Kor (2019) et Wang et Gierl (2007).

Par la suite, le contenu de l'épreuve a été identifié et confirmé par les experts. La sélection du contenu est une partie importante dans le développement d'une épreuve diagnostique cognitive. Il doit présenter des difficultés récurrentes et déterminantes pour les apprenants afin d'exiger un diagnostic (Leighton et Gierl, 2007; Nichols, 1994) tout en possédant une granulométrie alignée sur les objectifs du test pour permettre la mise en place de moyens de remédiation (De la Torre et Minchen, 2014; Lee et Sawaki, 2009). Par conséquent, un compromis est nécessaire dans la précision du contenu et des attributs ressortis afin qu'il soit possible d'analyser profondément, mais aisément, les forces et les faiblesses des apprenants. Lors du

développement de notre épreuve, nous avons mis en pratique les recommandations issues d'études dans le développement d'épreuve, en particulier celles liées à l'ADC. Ce processus implique la détermination du contenu à diagnostiquer en deux phases distinctes : (1) une recension des écrits, puis, (2) une confirmation par des experts (Bradshaw, Izsak, Templin, et Jacobson, 2014; Chapel et Kroiss, 2020; De la Torre et Minchen, 2014; GDM Québec, 2008; Irwing et Hughes, 2018; Jang, 2005; Kane, 2015; Li et Suen, 2013; Li, Zhen, et Liu, 2021; Loye, 2010; Nichols, 1994; NRC, 1997; Perie et Huff, 2015; Rai et Kumar, 2019; Raouf *et al.*, 2016; Raymond, 2015; Taber, 2013; Tjoe et de la Torre, 2013, 2014). La première phase a d'abord permis de ressortir les difficultés cognitives liées à l'apprentissage de la physique en cohérence avec le PFEQ en physique. La seconde phase a ensuite permis de confirmer les choix initiaux de la chercheuse par le panel d'experts concernant le contenu à diagnostiquer. Cette approche en deux phases a permis de combiner la théorie cognitive sur l'apprentissage de la physique, en particulier les défis liés au raisonnement des élèves, avec l'expérience des experts travaillant auprès des apprenants. Les résultats présentés dans le chapitre 4 mettent en évidence que la méthodologie en deux phases utilisée pour définir le contenu était appropriée, permettant ainsi d'identifier les concepts prescrits du PFEQ en physique nécessitant un diagnostic. La prévalidation auprès des élèves suivant le cours de physique et les difficultés rencontrées durant la passation ont également témoigné que les contenus ciblés par les experts étaient en cohérence avec les obstacles rencontrés lors de l'apprentissage de la physique. À partir du contenu de l'épreuve, la chercheuse a pu déterminer les attributs initiaux qui ont été confirmés par le panel d'experts. La section suivante détaillera le processus qui a conduit à un consensus sur les attributs finaux en utilisant la méthode MACB.

5.2 Processus d'identification des attributs selon la méthode MACB

La première étape de l'élaboration d'une épreuve basée sur l'ADC selon la méthode déductive nécessite la création d'une liste d'attributs. Considérant que le nombre de recherches en développement d'épreuves basées sur l'ADC selon la méthode déductive est faible, peu de méthodologies existantes décrivent le processus pour identifier les attributs d'un domaine d'apprentissage, plus particulièrement en physique. Lors de sa recherche, Loye (2008) a fourni au panel d'experts une liste d'attributs tirée d'études antérieures en mathématiques, au lieu de laisser les experts créer eux-mêmes la première liste d'attributs, soit une adaptation de la méthode MACB. Dans notre recherche, l'absence de recherches concernant les processus cognitifs utilisés lors de l'apprentissage de la physique a nécessité la création d'une liste d'attributs initiaux par la chercheuse à la suite de sa recension des écrits ainsi qu'en se basant sur le PFEQ de physique. Elle a pu déterminer 10 *Attributs initiaux* considérés comme les plus importants pour le

contenu ciblé et pour le moment de la passation dans la planification annuelle. Les experts avaient par la suite la possibilité de modifier les *Attributs initiaux* selon leur jugement et leur expérience afin de dresser une liste consensuelle (*Attributs modifiés*), puis de les hiérarchiser selon les besoins en diagnostic (*Attributs finaux*). À la suite de l'obtention d'une liste d'attributs acceptée par le panel d'experts, ces derniers ont estimé avantageux d'avoir une liste initiale ressortie par la chercheuse, car bien qu'ils aient eu une rencontre d'informations sur l'ADC et la nature d'un attribut, cette approche restait relativement nouvelle pour eux. Ils ont trouvé que déterminer une liste d'attributs (*Attributs modifiés*) à partir d'une liste préétablie (*Attributs initiaux*) était plus accessible. Similaire à notre recherche, la complexité associée à la notion d'attribut a également été éprouvée par l'expert 2 dans l'étude de Loye (2008). Cependant, dans le panel d'experts de Loye (2008), la chercheuse n'était pas incluse, et pendant la première phase, chaque expert travaillait individuellement, limitant ainsi l'assistance que le reste du panel aurait pu apporter. La présence de la chercheuse dans le panel d'experts lors de notre recherche, combinée à une liste préétablie directement liée au contenu ciblé, a contribué à diminuer les difficultés liées à la nouveauté de la méthode pour les experts.

À partir de 10 attributs identifiés par la chercheuse, nous avons retiré 3 attributs à la suite des discussions avec le panel d'experts. Les 7 attributs qui restent ont été combinés pour former 6 attributs et nous avons ajouté un nouvel attribut à la liste, ce qui donne un total de 7 attributs. La méthodologie consistant à définir préalablement une liste d'attributs s'est avérée appropriée vu qu'il est possible de constater que le domaine et le contenu identifiés par la chercheuse ont été validés par les autres membres du panel. Bien que les attributs aient été modifiés, ils proviennent, étant donné leur nature, de la liste d'*Attributs initiaux*. Tout d'abord, la majorité des attributs de la liste d'*Attributs modifiés* (soit 6 sur 7) provient de la modification de 7 *Attributs initiaux* identifiés par la chercheuse. De plus, l'attribut ajouté représente un concept qui était initialement inclus dans les attributs initiaux et qui a été isolé permettant une augmentation de la précision des attributs et non un attribut oublié. Finalement, les 7 attributs couvrent l'ensemble du contenu confirmé par le panel d'experts au départ. L'expérience des experts dans l'enseignement des cours préalables (sciences de 1er au 4e secondaire) ainsi que leurs années d'enseignement de la physique s'est révélée bénéfique lors de l'élaboration d'une liste d'attributs modifiés, leur permettant d'identifier 3 attributs qui ont été retirés. L'élimination a été motivée par trois raisons, toutes basées sur l'expérience des experts: un attribut pouvait être évalué dans le contenu sans nécessairement constituer un attribut à part entière (Attribut initial 7), un attribut était considéré comme un préalable devant être acquis antérieurement (Attribut initial 9) et un attribut était jugé de niveau trop

complexe pour le moment de la passation de l'épreuve (Attribut initial 10). Pour cet attribut, soit *Déterminer des variables liées au mouvement à l'aide des forces et de la F_R* , l'intention derrière cet attribut était de relier les concepts de la cinématique, soit les notions de déplacement, vitesse, accélération et temps, avec les concepts de la dynamique, soit les forces. Bien que les experts aient jugé cet attribut pertinent pour la physique mécanique dynamique, ils ont également noté qu'il était trop complexe pour le moment désiré dans la planification annuelle de l'apprentissage de la physique selon le programme scolaire des élèves. En revanche, pour une épreuve diagnostique cognitive en physique prévue après la période visée par notre étude, il serait avisé d'accorder une attention plus particulière à cet attribut et d'approfondir son lien avec les concepts prescrits recherchés, sa formulation ainsi que sa possibilité de sous-division en plusieurs attributs.

En somme, la méthodologie employée pour identifier les attributs cognitifs dans le domaine de la physique a été particulièrement bénéfique pour notre recherche, surtout étant donné que nos deux experts recrutés étaient peu familiers avec l'ADC. De plus, la réduction du nombre d'attributs lors de la première partie de la méthode MACB ne se traduit pas nécessairement par une diminution de la précision, étant donné que la chercheuse avait préalablement divisé la norme de l'orientation pour chacune des forces, tandis que le panel d'experts trouvait plus intuitif de les combiner, vu leur interdépendance. Ainsi, les experts ont estimé que ce sont les choix de réponses qui permettront de confirmer la provenance de la difficulté, soit de la norme ou de l'orientation, permettant un diagnostic cognitif distinctif des deux paramètres malgré leur combinaison dans un seul attribut. Une recommandation sur les choix de réponses sera abordée ultérieurement dans le chapitre, visant à assurer une identification plus précise de l'origine des difficultés pour chacune des forces.

5.3 Processus de hiérarchisation des attributs selon la méthode MACB

À la suite du consensus sur la liste des attributs, les experts ont hiérarchisé ces 7 attributs par ordre d'importance. L'attribut considéré comme essentiel devant servir d'attribut de référence a été l'attribut (1) *Tracer un diagramme de corps libre (DCL) en fonction du système de référence fourni*. Les discussions lors de la rencontre, la comparaison avec l'attribut ayant une valeur de 100, c'est-à-dire l'attribut (1), ainsi que le jugement et l'expérience des experts ont guidé l'attribution des valeurs entre 0 et 100. Conformément aux recommandations de la méthode MACB (Vanderwood *et al.*, 1993), l'attribut (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)* a été retenu, sa valeur individuelle pour chacun des experts ainsi que sa moyenne étant au-dessus de 90, tandis que les 5 autres attributs ont obtenu une

valeur moyenne supérieure à 60, mais inférieure à 90. Ces 5 attributs ont nécessité une discussion approfondie pour évaluer leur importance et parvenir à un consensus entre les experts. Selon la méthodologie du MACB, il est proposé de commencer par les attributs ayant des valeurs très hautes ou très basses, en se concentrant particulièrement sur ceux dont des experts ont accordé des valeurs divergentes par rapport aux autres (Shyyan *et al.*, 2013; Vanderwood *et al.*, 1993). C'est en suivant cette méthodologie que Christensen, Shyyan et Stewart (2018) ont pu parvenir à une hiérarchisation de leurs énoncés en lien avec les difficultés d'apprentissage des élèves. Nous avons suivi cette recommandation en commençant les discussions autour de l'attribut ayant la valeur la plus élevée et la plus proche de la limite de 90. En revanche, les experts ont constaté qu'il était difficile d'échanger sur un attribut sans aborder les valeurs accordées aux autres de la liste. Les allers-retours constants entre les attributs, la modification des valeurs et la comparaison entre eux semblent être un déroulement normal dans la méthode MACB qui est la phase la plus cruciale du processus (Vanderwood *et al.*, 1993).

Un total de 4 attributs sur les 7 *Attributs modifiés* ont obtenu une valeur moyenne supérieure à 90. Bien que nous utilisions une méthode chiffrée pour discerner les attributs conservés, il s'agit d'une méthode qualitative sujette à interprétations. Par conséquent, il était nécessaire de s'interroger si un total de 4 attributs était suffisant pour notre épreuve afin de pouvoir ressortir suffisamment d'éléments diagnostics cognitifs et de fournir une rétroaction appropriée à l'élève. Malgré une réduction de 60% du nombre d'attributs par rapport à la liste d'attributs initiaux, un nombre de 4 attributs correspond à ce qui est recommandé par les études préconisant un nombre limité d'attributs pour une évaluation individuelle dans un item, ainsi que leur combinaison dans plusieurs items (De la Torre et Minchen, 2014; Leighton et Gierl, 2007; Loye, 2008; Loye et Lambert-Chan, 2016; Sia et Lim, 2018; Tjoe et de la Torre, 2013). Par exemple, plusieurs études en diagnostic cognitif convergent vers un nombre restreint d'attributs, comme Henson, Templin et Willse (2009) avec 3 attributs, De la Torre et Chiu (2016), Jang (2009) et Tatsuoka (1983) avec 4 attributs, De la Torre (2008) avec 5 attributs, Tjoe et de la Torre (2013), Li, Zhen et Liu (2021) et Loye (2009) avec 6 attributs. Loye et Lambert-Chan (2016) ont souligné, entre autres, dans leur étude que 13 attributs étaient un nombre trop important pour une épreuve d'une durée entre 1h et 1h30, soit une durée légèrement supérieure à celle visée par notre recherche de 1h. Le processus de validation du construit utilisée lors de notre recherche repose sur l'accumulation de preuves empiriques comme recommandé par les cadres de développement d'épreuves ainsi que par les recherches basées sur l'ADC (AERA *et al.*, 2014; Bertrand et Blais, 2004; De la Torre et Minchen, 2014; Lane *et al.*, 2016; Li et Suen, 2013; Marcoux *et al.*, 2014; Rey, 2016; Haynes *et al.*, 1995; Yang et Embretson, 2007). Il est de ce fait

nécessaire d'évaluer à plusieurs reprises chacun des attributs sans pour autant alourdir l'épreuve ni surcharger la charge cognitive des élèves. Considérant que nos 4 attributs permettaient 15 combinaisons différentes, les experts ont estimé que ces attributs pouvaient être évalués en nombre suffisant dans la durée prévue pour le moment de passation ciblé.

Par ailleurs, le nombre d'attributs doit tenir compte des besoins et des objectifs de l'épreuve (Li et Suen, 2013). Les experts ont conclu que le nombre de 4 attributs était adéquat pour cibler les processus cognitifs problématiques chez les élèves lors de l'apprentissage de la physique mécanique dynamique. Premièrement, 3 attributs sur 4 avaient la capacité d'apporter des informations cruciales sur les origines multiples des difficultés liées aux forces, à savoir la norme de la force et l'orientation de la force, améliorant ainsi le diagnostic cognitif résultant de ces 3 attributs. Deuxièmement, 3 des 4 thèmes des concepts prescrits ciblés initialement étaient entièrement vus par ces 4 attributs, soit le *Diagramme de corps libre (DCL)*, la *Force de frottement* et la *Force gravitationnelle* (voir Tableau 4.1). Seul le thème *Équilibre et résultante de plusieurs forces* n'était pas complètement traité par les attributs conservés, car une partie relevait principalement des notions mathématiques et l'un des attributs non conservés de la hiérarchisation représentait ce concept prescrit. Néanmoins, le panel d'experts considérait que le concept de l'équilibre pouvait être intégré au contenu de l'épreuve sans pour autant être un attribut lors de l'élaboration des items. Nous aborderons plus en détail la notion d'équilibre contenue dans l'épreuve lors des discussions et des interprétations des résultats concernant la prévalidation de l'épreuve.

Nous pouvons conclure que le premier sous-objectif de l'étude, soit (1) *l'identification d'attributs nécessaires lors de la résolution d'items en lien avec la physique dynamique*, a pu être atteint. En suivant la méthode MACB, nous avons élaboré, en collaboration avec un panel d'experts en physique, une première liste d'attributs associés à la physique mécanique dynamique. Les experts, en partant de la liste initiale de 10 attributs fournie par la chercheuse, ont abouti à un consensus sur une liste de 7 attributs couvrant les concepts prescrits ciblés. Il est possible de constater que le travail préalable de la chercheuse dans la sélection initiale des attributs a facilité le processus du panel d'experts. Par la suite, nous avons hiérarchisé ces attributs pour déterminer ceux nécessitant un diagnostic cognitif, soit 4 attributs, qui seraient ceux contenus dans notre épreuve. Comme indiqué dans la méthodologie du MACB, la phase de discussion lors de la hiérarchisation des attributs, permettant des échanges et des modifications aux valeurs accordés aux attributs, est cruciale pour aboutir à une liste capable de fournir un diagnostic cognitif précis sur le contenu défini initialement (Vanderwood *et al.*, 1993). La réduction du nombre d'attributs est

conforme à ce que nous avons observé dans notre revue de la littérature sur les recherches liées à l'ADC, tout en permettant un pouvoir diagnostique cognitif adéquat des concepts. Dans l'ensemble, cette méthodologie nous a permis de tirer parti de l'expertise individuelle des experts tout en favorisant le consensus de groupe, comme le démontrent d'autres recherches liées à l'ADC (Christensen *et al.*, 2018; Loye, 2008, 2009; Jang, 2005; Tjoe et de la Torre, 2014). À la suite du consensus final sur les attributs, le panel d'experts a élaboré des items qui ont ensuite été prévalidés auprès d'un groupe d'élèves de 5e secondaire. Cette prévalidation a confirmé la pertinence générale des attributs identifiés par le panel d'experts. La section suivante présentera les différents constats liés à l'élaboration des items et à leur prévalidation.

5.4 Élaboration de l'épreuve

5.4.1 Nombre d'items

Le format de l'épreuve consistait en un questionnaire comprenant 15 items à choix multiples (QCM). Le choix d'utiliser des QCM pour une épreuve diagnostique cognitive reposait sur la facilité d'administrer le test, sur les leures des choix de réponses liés à des difficultés récurrentes ainsi que sur la correction objective et rapide dans un but d'apporter rapidement des rétroactions aux élèves (AERA *et al.*, 2014; Ammar et Houssein, 2018; Delozanne *et al.*, 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016; Morissette, 1997; Ricard, 2007; Tjoe et de la Torre, 2013). Le nombre d'items correspondait à la somme de toutes les combinaisons possibles avec 4 attributs. De plus, cela concordait avec les recommandations des études indiquant qu'il doit y avoir deux fois plus d'items que d'attributs, que chaque attribut doit être évalué individuellement et qu'il doit se retrouver dans plusieurs items (Henson, Templin et Willse, 2009; Loye, 2008; Loye et Lambert-Chan, 2016; Sia et Lim, 2018; Tjoe et de la Torre, 2013).

Dans un premier temps, notre approche va au-delà de la recommandation d'avoir deux fois plus d'items que d'attributs. Étant donné que la validation de notre épreuve repose sur l'accumulation de preuves empiriques, nous avons la conviction qu'un nombre plus élevé d'items, combiné à une variété d'attributs, renforce la fiabilité et la validité de notre test. En comparaison avec d'autres études recensées sur le diagnostic cognitif, nous observons que le nombre d'items dans ces études varie de 2,06 à 6 fois le nombre d'attributs, avec une moyenne de 3,19 (Buck et Tatsuoka, 1998; De la Torre et Chiu, 2016; De la Torre, 2008; Henson *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2021; Loye, 2008; Tatsuoka, 1983; Tatsuoka, 1990; Tjoe et de la Torre, 2013), alors que notre étude présente un ratio de 3,75 fois plus d'items que d'attributs. Les experts de notre panel ont conclu qu'il serait avantageux d'inclure toutes les combinaisons possibles, permettant aux

élèves de répondre à 15 items dans la durée idéale de notre épreuve, soit une heure. Après la passation, nous avons observé que les élèves ont pu répondre aux 15 items, élaborer leurs démarches et compléter les protocoles verbaux en moins d'une heure. Bien que cela indique que le test peut être réalisé dans une seule période de classe, nous exprimons des préoccupations quant au temps nécessaire dans un contexte réel où les élèves n'auraient pas à verbaliser leurs raisonnements cognitifs. Une possibilité envisagée serait d'ajouter des items supplémentaires, pouvant être inclus dans l'épreuve initiale selon le contexte de passation et le jugement de l'enseignant, afin de raffiner le diagnostic ressorti. Dans les sections suivantes, nous proposerons à quelques reprises que l'ajout d'items puisse diminuer certaines limites de notre épreuve, ce qui nous permettrait de préciser le profil diagnostique cognitif des apprenants tout en restant dans la durée visée par l'épreuve.

Une recommandation supplémentaire des études recensées était d'inclure des items ne contenant qu'un seul attribut. Comme le suggèrent les études de Henson, Templin et Willse (2009), Loye et Lambert-Chan (2016) et Tjoe et de la Torre (2013), l'avantage d'avoir des items évaluant individuellement un seul attribut favorise la collecte d'informations pour les élèves les moins performants, qui peuvent réussir certains attributs individuellement tout en échouant des items contenant plusieurs attributs. À titre d'exemple, dans notre épreuve, les participants 2 et 7 ont réussi les attributs 1, 4 et 6 individuellement, correspondant respectivement au DCL, à la force normale et à la force de gravité. Cependant, ils ont échoué à l'item 2, qui évaluait uniquement l'attribut 2, à savoir la force de frottement. En analysant ensuite les items suivants pour ces deux élèves, nous constatons un échec de 7 des 8 items pour l'élève 2 et de 6 des 8 items pour l'élève 7 contenant l'attribut 2 en combinaison avec d'autres attributs, tandis que les items ne contenant pas cet attribut ont tous été réussis. Nous pouvons avancer que l'échec des items est peut-être seulement dû à la non-maitrise de l'attribut 2, bien que cela puisse influencer le diagnostic associé aux attributs 1, 4 et 6 qui, individuellement, ont été réussis, mais échoués, lorsque combiné à l'attribut 2. Cette situation a été approfondie lors de la section de la prévalidation des attributs. La présence d'items ne contenant qu'un seul attribut favorise donc la précision du diagnostic. L'ajout d'items supplémentaires évaluant individuellement et en combinaisons tous les attributs pourrait permettre une meilleure identification des attributs posant des difficultés et ainsi, améliorer le diagnostic. De plus, une modification possible dans le format des choix de réponses pourrait accroître la précision du diagnostic des difficultés sans pour autant augmenter le nombre d'items. Cette recommandation sera proposée et développée plus en détail à la fin du chapitre. À la suite de l'identification des attributs présents dans l'épreuve, du nombre d'items et des diverses combinaisons d'attributs, les experts ont conçu chacun individuellement cinq items. La section

suivante présentera une discussion des différents résultats et des observations ressorties de cette démarche.

5.4.2 Ressources pour l'écriture des items et répartition des items entre les experts

Le travail individuel des experts lors de la phase de création des items s'est concentré initialement à l'élaboration de 5 items relevant des combinaisons d'attributs qui leur avaient été attribuées, suivi de la révision des 10 éléments créés par les deux autres experts. Pour la première partie, ils disposaient de la liste d'*Attributs finaux* découlant de la hiérarchisation selon la méthode MACB ainsi que le document de travail lié à l'élaboration des éléments. Ce dernier contenait le tableau de spécifications présenté lors de la première rencontre, les directives d'écriture d'items issues de la recension des écrits et des cadres de référence en développement d'épreuves, ainsi qu'un modèle de résolution de problème en physique conforme aux critères d'évaluation du PFEQ en physique (voir Annexe F). Ces documents ont facilité la création des items, car les experts connaissaient les attentes spécifiques de rédaction qui seraient la base des critères de révision par les autres experts, tout en permettant d'uniformiser la présentation des démarches.

De plus, nos choix de ressortir les attributs avant à l'élaboration des items, de créer des items contenant toutes les combinaisons possibles d'attributs et de répartir les attributs entre les experts pour diversifier le plus possible les combinaisons d'items a permis : (1) d'obtenir une distribution uniforme des attributs dans les items, (2) de rédiger les items en fonction d'attributs spécifiques, (3) d'avoir des items avec un seul attribut et (4) de donner à chaque expert l'opportunité de travailler avec tous les attributs. Dans leur étude, Loye et Lambert-Chan (2016), ont demandé aux experts de ressortir des attributs simultanément à la création des éléments à l'aide de ressources diverses. Les chercheuses de cette dernière étude ont constaté qu'il était difficile pour les experts de produire des items tout en définissant les attributs nécessaires pour les résoudre. Cette approche diffère de celle de Tjoe et de la Torre (2014) qui ont fourni aux experts les attributs identifiés préalablement ainsi qu'un exemple de démarche à suivre pour la création de leurs items, ce qui s'est avéré bénéfique pour la rédaction des items. Cependant, dans cette dernière étude, aucune distribution précise n'a été fournie aux experts en ce qui concerne les combinaisons d'attributs. En conséquence, certains attributs n'ont pas été évalués dans leurs 16 items, d'autres ont été évalués de manière individuelle à 2 ou 3 reprises, certains attributs n'ont jamais été évalués seuls, mais plutôt systématiquement en combinaison avec d'autres, et enfin, un attribut était présent dans tous les items. Ces constats mettent en évidence une répartition inégale des attributs dans

les items et une contradiction avec les recommandations de diverses recherches en diagnostic cognitif concernant la distribution des attributs dans les items (Henson, Templin et Willse, 2009; Loye, 2008; Loye et Lambert-Chan, 2016; Sia et Lim, 2018; Tjoe et de la Torre, 2013).

À la suite de la création des items, chaque expert a procédé à une révision individuelle des items des autres experts avant une correction finale en groupe. Cette démarche en deux temps a offert à chaque expert l'opportunité d'analyser les items de manière individuelle, sans être influencé par les opinions des autres. Par la suite, lors de la réunion du panel d'experts, ils ont confronté leurs points de vue, permettant ainsi de tirer parti de l'expertise individuelle et de la rétroaction de groupe. Cette approche concernant la révision a été bénéfique pour apporter des ajustements pertinents aux items en lien avec le contenu, le construit diagnostiquer, la mise en page des questions et des choix de réponses et le choix des leurres. Ces modifications ont été guidées par les recommandations provenant des écrits et des cadres de référence utilisés pour le développement de notre épreuve (AERA *et al.*, 2014; Campion, 2015; Graf et van Rijn, 2015; Haladyna, 2015; Irwing et Hughes, 2018; Jang, 2005; Lane et Iwatani, 2015; Lane *et al.*, 2016; Tjoe et de la Torre, 2013, 2014; Perie et Huff, 2015; Rodriguez, 2015; Wise et Plake, 2015). De plus, ce constat est en cohérence avec les conclusions de recherches en lien avec le développement et la validation d'une épreuve diagnostique cognitive, soulignant qu'il s'agit d'un processus continuellement itératif et empirique (Borsboom et Mellenbergh, 2007; Chin, Chew et Lim, 2021; De la Torre et Minchen, 2014; Lee et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Li et Suen, 2013; Li, Zhen, et Liu, 2021; Tjoe et de la Torre, 2013). Il est important de noter que la décision d'attribuer à chaque expert des combinaisons comprenant tous les attributs s'est avérée bénéfique. En ayant la possibilité de manipuler chaque attribut, les différentes visions des experts concernant les résolutions et les choix de réponses ont enrichi et diversifié les discussions, notamment en ce qui concerne les leurres liés à la force gravitationnelle. Finalement, la grille de révision (voir Annexe G) a facilité le processus de révision en guidant les experts sur les points essentiels à examiner.

À la suite de la discussion sur l'élaboration des items, nous pouvons conclure que le sous-objectif 2, soit la *Création d'items nécessitant les attributs ressortis pour être résolus*, a été atteint. Celui-ci visait à créer des items représentant de manière adéquate le domaine de la physique dynamique, et pouvant être résolu avec les attributs identifiés. Nous avons développé 15 items au format QCM, en suivant les recommandations de diverses recherches sur l'ADC ainsi que des cadres de références pour le développement d'épreuves. Ces recommandations ont été particulièrement bénéfiques pour le choix du

format des items, le nombre d'items inclut dans notre épreuve ainsi que les ressources disponibles pour les experts pendant le processus d'élaboration et de révision des items. De plus, nous avons pu contourner certaines limites ressorties dans les recherches basées sur le diagnostic cognitif, tel que de fournir préalablement aux experts une liste d'attributs définis pour élaborer les items ou de distribuer uniformément toutes les combinaisons possibles aux experts. Le troisième et dernier sous-objectif de notre recherche se concentre sur la prévalidation de l'épreuve élaborée et nous examinerons les principaux éléments issus de cette étape dans la section suivante.

5.5 Prévalidation du contenu

Lors de la prévalidation des items, plusieurs constats ont été faits en lien avec les items créés ainsi qu'avec le raisonnement cognitif utilisé par les élèves, comparativement à celui prévu par les experts. Cette phase a permis de répondre au 3^e sous-objectif, soit la *Prévalidation de l'épreuve à l'aide d'un groupe d'élèves*, ainsi qu'au 2^e sous-objectif, soit la *Création d'items nécessitant les attributs ressortis pour être résolus*. En effet, c'est par la prévalidation des items à l'aide de groupe de participants que nous avons pu confirmer que les attributs attendus ont bel et bien été utilisés par les élèves dans les items. Cette section traitera premièrement de la prévalidation du contenu et de l'utilisation du concept de l'équilibre lors de la résolution des items, ainsi que de son impact sur la validité du contenu. Dans une seconde partie, nous procéderons à la prévalidation du construit et de l'épreuve elle-même, en évaluant son pouvoir diagnostique cognitif des attributs relevant de la physique qui ont été identifiés. Deux éléments seront discutés : (1) la norme et l'orientation de la force normale selon la perception des élèves par rapport à la théorie et (2) l'influence du contexte de la question de nos items sur la maîtrise de l'orientation de la force de gravité.

La prévalidation du contenu de notre épreuve a été effectuée en utilisant la grille de validation du contenu des items (Annexe J) élaborée à partir des trois méthodologies qualitatives retenues pour cette épreuve (Haynes *et al.*, 1995; Lynn, 1986; et Yusoff, 2019). Cette démarche a permis de confirmer rapidement, efficacement et objectivement que les contenus attendus de l'épreuve étaient bien représentés et qu'aucun autre contenu n'était présent. Cependant, un seul élément, lié au principe de l'équilibre, n'a pas pu être confirmé avec certitude. Les élèves ont peu mentionné le concept d'équilibre lors de leur résolution, bien que 13 des 15 items reposaient sur ce principe. Dans les situations à l'immobilité, tous les élèves ont correctement appliqué le principe d'équilibre en comparaison aux situations à vitesse constante, où une minorité d'élèves n'ont pas fait usage de ce concept. Lors de cette dernière situation, ils ont

considéré que la force de frottement devait être nécessairement inférieure à la force dans le sens du mouvement sous prétexte que le corps était en mouvement.

Cette idée qu'un corps en mouvement à vitesse constante n'est pas en équilibre correspond à une conception spontanée persistante et fréquente chez de nombreux apprenants lors de l'apprentissage de la physique mécanique dynamique (Aguzzi et Dintinger, 2015; Gunstone, 1987; Mildenhall et Williams, 2001; Taber, 2013; Viennot, 1978). Lors de la passation du test, il était attendu que les élèves aient acquis ce concept. Les experts avaient donc la conviction que lors de la résolution des items, les élèves mentionneraient et utiliseraient le principe de l'équilibre comme tout autre préalable. En revanche, la faible utilisation de ce concept prescrit lors de la prévalidation ne nous permet pas de confirmer que les élèves associent ce concept à l'étape d'égalisation des forces dans leur résolution ni que l'évaluation créée contient le principe de l'équilibre dans son contenu. Une prévalidation à plus grande échelle pourrait permettre de confirmer si le concept doit être retiré des contenus évalués ou si notre échantillon de 12 élèves ne présentait pas naturellement le réflexe de mentionner ce concept. L'utilisation de la grille de validation du contenu des items a donc été bénéfique pour soulever cet aspect. En parallèle de la prévalidation du contenu, des cartes conceptuelles de résolution ont été élaborées pour chaque participant et pour chaque item. Ces cartes de résolution ont servi de base pour valider nos items et les attributs utilisés. La section suivante présentera les éléments de discussion en lien avec la prévalidation.

5.6 Prévalidation des attributs prévus et ceux utilisés

La prévalidation de notre épreuve repose sur la méthode empirique d'accumulation de preuves (AERA *et al.*, 2014; Bertrand et Blais, 2004; De la Torre et Minchen, 2014; Lane *et al.*, 2016; Li et Suen, 2013; Marcoux *et al.*, 2014; Rey, 2016; Haynes *et al.*, 1995; Yang et Embretson, 2007). Ainsi, nous avons combiné l'analyse des résolutions écrites des élèves avec leurs protocoles verbaux afin d'obtenir le maximum de renseignement sur leurs raisonnements cognitifs. Cette démarche nous a permis de confirmer la mise en application des attributs recherchés, ce qui est en accord avec d'autres études ayant utilisé une méthodologie similaire de collecte d'informations (Bradshaw, Izsak, Templin, et Jacobson, 2014; Jang, 2005; Loye et Lambert-Chan, 2016; Sia *et al.*, 2019; Tjoe et de la Torre, 2013). Ainsi, nous pouvons affirmer que notre épreuve a un potentiel diagnostique cognitif en physique mécanique dynamique.

Lors de l'analyse des résultats des participants individuellement, nous observons que les deux élèves identifiés comme étant forts lors de la sélection des participants (participants 9 et 12) ont parfaitement

maitrisé chacun des attributs diagnostiqués, ce qui correspond aux attentes. Pour les élèves de niveau moyen et faible, nous pouvons relever des résultats de profil diagnostique cognitif à l'aide de la matrice Q qui concordent en grande partie avec les difficultés rencontrées lors de la passation de l'épreuve. L'attribut principal en difficulté a été l'attribut (2) *Détermination de la force de frottement (norme et orientation)*. Comme discuté lors de la résolution de chaque item et lors de la prévalidation du contenu des éléments, une confusion existait concernant l'équilibre d'un objet à vitesse constante. La difficulté provenait principalement de la valeur de la norme plutôt que de l'orientation de la force. La combinaison des attributs a influencé le diagnostic obtenu pour les élèves en ce qui concerne les autres attributs, car chaque item nécessitant la maîtrise de la force de frottement a pu être échoué. La compilation des résultats à l'aide de la matrice Q a indiqué une difficulté dans la maîtrise des autres attributs. Par exemple, les participants 2, 7 et 8 ont un niveau de maîtrise bas pour l'attribut (2). En revenant aux verbatims de ces élèves pour les items contenant l'attribut (2), il est clair que la force de frottement pose un problème à ces élèves. En revanche, les items contenant l'attribut (2), combiné à d'autres attributs, étaient également erronés dans 6 cas sur 7 pour le participant 2, dans 5 cas sur 7 pour le participant 1 et dans 3 cas sur 7 pour le participant 8. Dans la section des recommandations, nous proposerons une approche possible de la mise en page des choix de réponses pour atténuer l'impact de l'échec d'un attribut sur le profil diagnostique cognitif concernant la maîtrise des autres attributs.

Lors de la prévalidation de la maîtrise des attributs pour l'ensemble des participants et des items, nous avons identifié deux limitations dans le diagnostic obtenu : celle liée à l'attribut (4) *Déterminer la force normale (norme et orientation)* et celle associée à l'attribut (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)*. Tout d'abord, lors de l'analyse des cartes conceptuelles des résolutions, nous avons remarqué la présence d'un lien erroné et inattendu entre la force normale et la force de gravité en ce qui a trait à la norme et à l'orientation. Les experts s'attendaient lors de la résolution à ce que les élèves positionnent l'orientation de la force normale à 90° avec la surface. Dans leurs résolutions, les élèves ont trouvé l'orientation de la force normale soit en mentionnant qu'elle était toujours vers le haut ou qu'elle était toujours opposée à la force gravitationnelle, soit dans les deux cas à 90° selon le système de référence fourni, ce qui est partiellement vrai. Dans nos items, il est véridique que notre force normale est toujours opposée à la force de gravité et qu'elle est de ce fait, toujours à 90° selon le système de référence qui a été donné dans l'épreuve. En revanche, ce n'est pas toujours le cas et ce n'est pas ce qui est recherché lors de la maîtrise de l'attribut (4) *Déterminer la force normale (norme et orientation)*. De plus, les élèves égalaient automatiquement la valeur de norme de la force normale à celle de la force de gravité, ce qui

n'est pas toujours véridique. Les experts s'attendaient lors de la résolution à ce que les élèves mentionnent que la force normale soit égale à la somme des forces subies par la surface. Malheureusement, dans notre épreuve, tous les items dans lesquels il était demandé de trouver la norme de la force normale revenaient à être égale à celle de la force de gravité.

En somme, les items de notre épreuve visant à évaluer la maîtrise de l'attribut (4) *Déterminer la F_N (norme et orientation)* ne nous permettent pas de confirmer de manière adéquate la maîtrise de cet attribut, que ce soit en ce qui concerne la norme ou l'orientation, dans toutes les situations relevant de la physique mécanique dynamique. Nos items évaluent la maîtrise de cet attribut seulement lorsque la force normale est opposée à la force de gravité, sans qu'aucune autre force n'interfère dans l'équilibre vertical. Ceci constitue une limite de notre épreuve en ce qui concerne le diagnostic ressorti pour la norme et l'orientation de la force normale et influence également la validité du sous-objectif (2) *Création d'items nécessitant les attributs ressortis pour être résolus*. Pour dépasser cette limitation, nous pourrions envisager deux approches : la modification des items existants ou l'ajout de nouveaux items. Ces deux possibilités seront présentées plus en détail dans la section des recommandations.

Ensuite, l'analyse des enregistrements audios des élèves nous a permis de constater qu'une majorité d'entre eux ont effectué une révision, soit 8 élèves sur 12. Nous avons pu récolter davantage d'information sur leurs processus cognitifs lors de la résolution des items, car les élèves ont généralement ajouté des indications supplémentaires liées à leurs raisonnements par rapport à la première fois. Dans le chapitre 4, pour chacun des items, nous avons examiné les modifications apportées après chaque révision, en identifiant la cause du changement pour chacun des participants. Lorsque nous avons compilé les révisions, nous avons constaté que certains élèves ont ajusté leurs réponses après avoir lu les autres items, ce qui représente 8,9% des réponses. Ces ajustements ont conduit (1) à la correction de la réponse dans 6 cas, (2) à la correction d'une réponse correcte en une réponse incorrecte dans 8 cas, et (3) à la modification d'une réponse erronée par une autre dans 2 cas. Lors de la prévalidation de notre épreuve, une révision fréquente qui a eu une incidence sur le diagnostic ressorti en lien avec la maîtrise de l'attribut (6), *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)*, consistait à modifier le choix pour l'angle de la force de gravité afin qu'il soit à 270° . L'orientation de la force gravitationnelle était indiquée dans l'énoncé (dans le texte ou la figure) pour les items 3, 8 et 11, dans les choix de réponses pour l'item 5 et à la fois dans l'énoncé et les choix de réponses pour l'item 6. Bien que l'attribut (6) ne soit pas évalué dans ces items, ils donnent la réponse de l'orientation de la force de gravité pour les autres items. Le diagnostic ressorti en

lien avec l'attribut (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)* devient ainsi partiellement erroné affectant la validation du construit et le profil diagnostique des élèves ressortis ainsi que l'atteinte du sous-objectif (2) *Création d'items nécessitant les attributs ressortis pour être résolus*. L'ajustement du contexte des questions des items 3, 5, 6, 8 et 11 devient nécessaire et sera abordé dans la section des recommandations.

En conclusion, à la suite de la prévalidation des attributs de la physique mécanique dynamique, nous avons constaté que notre épreuve possède un potentiel diagnostique cognitif. Cependant, il est important de noter que la non-maitrise d'un attribut peut influencer le profil diagnostique cognitif établi pour les autres attributs tel que survenu dans notre épreuve avec la maitrise de la force de frottement. De plus, nous avons identifié deux problématiques liées à l'atteinte du sous-objectif (2) *Création d'items nécessitant les attributs ressortis pour être résolus*. Il s'agit de l'orientation et de la norme de la force normale pour les items évaluant la maitrise de l'attribut (4) *Déterminer la force normale (norme et orientation)* ainsi que les enjeux liés à la modification des réponses lors de la révision à la suite de l'influence des autres items, principalement pour l'attribut (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)*. Dans la section des recommandations, nous présenterons en détail différentes possibilités pour diminuer l'effet de ces limitations. Dans la suite de notre discussion, nous aborderons les choix de réponses effectués, ainsi que leur combinaison pour obtenir les différentes options disponibles.

5.6.1 Prévalidation des choix de réponses et des combinaisons

Les choix de réponses et les combinaisons offertes aux élèves ont été déterminés par un consensus des experts lors de la phase 1 du développement de l'épreuve. Selon leur expérience et leur jugement, ces choix ont été basés sur les difficultés les plus courantes rencontrées par les élèves lors de la résolution de problèmes en physique. De plus, leur combinaison a été conçue en tenant compte de la nature spécifique de ces difficultés. Dans cette section, nous nous pencherons sur les choix de réponses proposés puis nous aborderons une difficulté récurrente : la confusion entre une composante négative et la norme de la force.

Tout d'abord, la phase de la prévalidation a permis de confirmer les réponses et les leurres proposés aux élèves. En revanche, lorsque les réponses sont choisies par élimination ou par hasard, le diagnostic cognitif ressorti peut être erroné (Chin, Chew et Lim, 2021; Loye, 2009). Cette observation a été faite lors de l'analyse des réponses, car certaines combinaisons de réponses pouvaient parfois donner des indices aux élèves. Par exemple, lors de la résolution de l'item 11, le participant 6 a sélectionné la bonne réponse en

éliminant les choix qui ne correspondaient pas à ce qu'il savait être correct. Parmi les options restantes, il a pu déduire la réponse attendue. Ainsi, bien que le participant 6 ait choisi la bonne réponse, nous ne pouvons pas garantir sa maîtrise de l'orientation des forces dans un DCL ni de son calcul de la norme de frottement (attribut (2)).

Un autre exemple concerne le participant 11, qui a rencontré des difficultés avec l'orientation des forces, mais non avec leur norme. Lors des items 1 à 4 où il n'y avait qu'un attribut par item, le participant 11 a échoué ces items, car dans les choix de réponses, la norme correcte était présente à plusieurs reprises, mais combinée avec des angles différents. Cependant, lorsque deux attributs ou plus étaient combinés, le participant 11 pouvait déduire les bonnes réponses en se basant sur la valeur correcte des normes, sans nécessairement maîtriser l'orientation des forces. Ainsi, dans ce cas également, le profil diagnostique obtenu peut être potentiellement erroné.

Ces situations se sont répétées à plusieurs reprises lors de la prévalidation, conduisant à la conclusion que la combinaison de la norme d'une force et de son orientation dans les choix de réponse représente une limitation du diagnostic cognitif. De plus, pour déterminer ces choix de réponses, les experts devaient évaluer la cohérence des options avec les difficultés rencontrées par les élèves lors de l'apprentissage de la physique, tout en se limitant à un nombre restreint de choix. Ils devaient identifier les leurres les plus susceptibles d'être choisis et écarter ceux qui ne correspondaient pas aux difficultés les plus fréquentes. Cette contrainte du nombre limité d'options souligne l'importance, dans notre épreuve, d'évaluer chaque attribut dans plusieurs items, en tenant compte de différentes combinaisons d'attributs et de types d'erreurs dans les leurres. Cela permet de réduire l'impact du hasard et d'obtenir un profil diagnostique cohérent avec la maîtrise des attributs par les élèves (Haladyna, 2004; Morissette, 1997).

De plus, une difficulté non retenue par les experts lors de la révision des choix de réponses était d'inclure des normes négatives parmi les choix de réponses. Lors de la phase 1 du développement de l'épreuve, l'expert 1 avait mis une option avec une norme négative dans les choix de réponses de l'item 3. Cette possibilité vient de la confusion des élèves entre une norme et la composante d'une norme qui elle peut être négative. Les experts avaient jugé qu'il s'agissait d'une erreur possible, mais que les élèves ne seraient pas portés à choisir cette option principalement parce qu'aucune force ne serait décomposée. L'option de mettre des normes négatives a donc été écartée. En revanche, lors de l'analyse des raisonnements cognitifs des élèves, il est apparu que dans 11 cas sur 180 cartes conceptuelles, soit 6,11 %, les participants

ont exprimé leur incertitude à savoir si la norme devait être négative ou non dans leur résolution ainsi que pour la réponse finale. Étant donné l'absence d'options avec une réponse négative, ils ont pris la même valeur de norme, mais en positif. Le nombre limité d'options a influencé la décision des experts de retirer les réponses négatives des choix, ce qui a restreint le diagnostic cognitif ressorti. Lors d'une prévalidation subséquente, il serait intéressant d'inclure des normes négatives afin de déterminer si les élèves les choisiraient ou non, puis de comparer les profils diagnostiques obtenus avec et sans normes négatives. Nous examinerons la limite du nombre restreint de choix de réponses dans les recommandations ainsi qu'une approche possible pour atténuer son impact sur le diagnostic cognitif ressorti.

En résumé, deux réflexions émergent de l'analyse des réponses : (1) les différentes combinaisons de réponses peuvent fournir des indices aux élèves et (2) la présence ou l'absence de normes négatives dans les choix de réponses. Ces deux aspects peuvent influencer la validité du construit et conduire à des réponses incorrectes lors de l'analyse des profils cognitifs des élèves. Bien que le sous-objectif (2) *Création d'items nécessitant les attributs ressortis pour être résolus* soit en grande partie atteint, puisque les items créés proposent des choix de réponses et des combinaisons pouvant identifier les sources d'erreurs des attributs contenus dans les items, il existe une limite dans notre recherche liée aux choix de réponses proposés. Pour atténuer l'effet du hasard, faciliter le processus d'identification des choix de réponses pour les experts et permettre l'ajout de normes négatives, une recommandation sera présentée dans la section des recommandations.

Pour conclure ces sections sur la prévalidation du construit et du contenu de notre épreuve et sur l'atteinte des sous-objectifs de notre recherche, nous pouvons affirmer que la quasi-totalité du contenu prévu a été évaluée dans notre épreuve et que celle-ci possède un pouvoir diagnostique cognitif pour les quatre attributs évalués dans notre évaluation. Le seul contenu prévu qui n'a pas été confirmé à la suite de cette étape est celui du concept de l'équilibre des forces plus particulièrement lorsque le contexte était basé sur un objet à vitesse constante. En ce qui a trait à la prévalidation des attributs prévus et ceux utilisés, nous avons identifié quelques limites dans le pouvoir diagnostique cognitif de notre épreuve : (1) l'influence d'un attribut en échec sur les résultats obtenus pour les autres attributs à partir de la matrice Q constaté dans notre épreuve à l'aide de l'attribut *Déterminer la force de frottement* (norme et orientation), (2) le lien non désiré entre la valeur de la norme et de l'orientation de la force normale et ceux de la force de gravité, (3) l'impact de la révision des élèves sur leurs réponses précédentes, plus particulièrement en ce qui concerne la force de gravité, (4) l'effet du hasard et de l'élimination pour choisir la bonne réponse sur

le profil diagnostique cognitif ressortit pour les élèves et finalement, (5) l'absence de norme négative dans les choix de réponses. L'atteinte du sous-objectif (3) de notre épreuve, soit la prévalidation de celle-ci à l'aide des items élaborés, nous a permis de ressortir la maîtrise ou non des attributs recherchés et d'identifier les limites et les éléments problématiques affectant la validité du construit et du contenu de notre épreuve. En revanche, le sous-objectif (2) en lien avec la création d'items n'a pas été totalement atteint pour certaines situations. Toutefois, le développement d'une épreuve à l'aide de l'ADC prévoit un processus itératif afin de raffiner la matrice Q et de modifier les items plus particulièrement lorsqu'il n'existe aucune liste d'attributs préalablement ressortis dans le domaine ciblé. L'étude de Loye et Lambert-Chan (2016) portant sur le développement d'une épreuve en mathématiques pour la formation professionnelle basée sur l'ADC en est un exemple. Elles ont réalisé dans leur recherche trois phases de développement comprenant plusieurs créations d'items et d'identification d'attributs relevant des mathématiques. Elles sont arrivées à une liste finale d'attributs ainsi que d'items nécessitant une prévalidation additionnelle à l'aide d'un petit groupe avant une validation à grande échelle. Contrairement à leur recherche où l'identification des attributs se faisait à simultanément l'élaboration d'items, nous avons demandé aux experts de créer une liste d'attributs avant de créer une série d'items. Nous arrivons tout de même au constat semblable que plusieurs phases de création, de modification et de prévalidation peuvent être nécessaires afin de s'assurer du pouvoir diagnostique cognitif ressorti de nos items selon ce qui est prévu par les experts. Afin de garantir l'utilisation exclusive des attributs prévus par les experts, la modification de certains items et de leur choix de réponses est nécessaire et exige une nouvelle prévalidation avant une passation à grande échelle avant de confirmer leur potentiel diagnostique cognitif. Ces ajustements seront présentés dans la section suivante.

5.7 Recommandations pour une prévalidation subséquente à la suite des constats et des limites

La section précédente a exposé les constats et limites de notre épreuve en ce qui a trait au processus d'identification et de hiérarchisation des attributs, de la prévalidation des attributs utilisés ainsi que des choix de réponses et des combinaisons proposés. Toutefois, des modifications pourraient atténuer ou prévenir l'impact de ces limites sur le diagnostic cognitif établi par l'épreuve. Cette dernière section présentera les éléments méthodologiques essentiels à prendre en compte pour orienter les futures recherches dans le développement d'épreuves diagnostiques cognitives, indépendamment du domaine d'apprentissage d'application. Par la suite, elle exposera les changements et ajustements envisageables concernant la méthode pour collecter les commentaires des élèves sur les items de notre épreuve. Aussi, cette section abordera des suggestions concernant la modification et l'ajout d'items visant à diminuer

l'influence du contexte des questions sur le diagnostic ressorti concernant la maîtrise de l'attribut en lien avec la force normale et celui de la force de gravité. En conclusion, nous proposerons une organisation des choix de réponses qui permettrait d'offrir un profil diagnostique cognitif plus conforme à la véritable maîtrise des attributs pour chaque participant.

5.7.1 Recommandations d'ordre méthodologique

Plusieurs aspects méthodologiques de notre recherche peuvent être recommandés pour le développement d'épreuves basées sur l'ADC. Tout d'abord, nous conseillons de sélectionner un panel d'experts en fonction de leur expérience en enseignement et en évaluation dans le domaine visé par le test tel que recommandé dans les écrits (AERA *et al.*, 2014; Cronbach et Meehl, 1955; Haynes *et al.*, 1995; Lee et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Li *et al.*, 2021; Loye, 2009; Lynn, 1986, Ricard, 2007; Yusoff, 2019). Les experts jouent un rôle crucial tout au long du processus de développement et de prévalidation de l'évaluation, notamment dans la délimitation du contenu, l'identification et la hiérarchisation des attributs, la création des items et la prévalidation de l'épreuve. Il est donc essentiel d'accorder une attention particulière aux critères de sélection, car ils influenceront tout le processus d'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive. Dans notre recherche, les critères de sélection incluaient une expérience pertinente en enseignement de la science et de la technologie, notamment en physique de 5e secondaire, ainsi qu'en élaboration d'évaluations dans ce domaine. Nous avons constaté que l'expérience et le jugement des experts ont permis d'élaborer une épreuve cohérente avec les concepts prescrits et les attentes du programme de formation en physique.

En ce qui concerne le nombre d'experts composant le panel, nous recommandons un minimum de 3 experts venant d'établissements différents afin de varier les opinions et les contextes d'apprentissage tout en facilitant les échanges. Selon notre recension des écrits, le minimum acceptable d'experts dans un panel correspond à 2 (Yusoff, 2019), bien que le nombre total d'experts soit variable (1 à 10 experts) d'une étude à l'autre tel qu'abordé lors de la méthodologie (Chin, Chew, Lim et Thien, 2021; Loye, 2009; Loye et Lambert-Chan, 2016; Ricard, 2007; Tjoe et de la Torre, 2013; Vanderwood *et al.*, 1993; Yusoff, 2019). L'objectif d'une épreuve basée sur l'ADC est de pouvoir être administrée à grande échelle, quel que soit le milieu. La variété des provenances des experts favorise la diversité des expériences et des réalités vécues lors de l'apprentissage des élèves en physique. Enfin, nous recommandons la présence du chercheur lors des différentes étapes où les experts interviennent, telles que l'identification des attributs, la hiérarchisation ou l'élaboration des items. Bien qu'ils soient des spécialistes dans leur domaine, ils ne le

sont pas nécessairement dans l'ADC. La présence du chercheur sert ainsi de référence pour les autres experts pour la méthodologie employée lors des différentes phases de développement d'une épreuve.

Pour l'identification du contenu de l'épreuve, nous recommandons une validation en trois étapes synthétisée des écrits sur la validation du contenu (Haynes et al., 1995; Lynn, 1986; Ricard, 2007; Yusoff, 2019) : la revue de littérature, la validation par les experts et finalement, l'analyse des résolutions écrites et des verbatims lors de la prévalidation. Dans un premier temps, nous suggérons de délimiter les concepts prescrits posant des difficultés lors de l'apprentissage en se basant sur une recension des écrits ainsi que sur le programme de formation (AERA et al., 2014; Cureton, 1951; Demeuse et Henry, 2004; Irwing et Hughes, 2018; Lane et al., 2016). Cette démarche permettra de cibler les notions difficiles tout en restant en adéquation avec le curriculum. L'objectif principal lors de l'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive est de fournir un outil utile pour les intervenants scolaires afin d'accompagner les élèves dans leur apprentissage. Il est donc essentiel que le contenu de l'évaluation soit en cohérence avec les concepts du programme de formation. Ensuite, le recours au panel d'experts permet de confirmer que le contenu identifié par une revue de la littérature correspond aux difficultés rencontrées par les élèves et qu'il est intégré de manière appropriée dans la progression des apprentissages selon le moment de passation de l'évaluation (AERA et al., 2014; Cureton, 1951; Demeuse et Henry, 2004; Irwing et Hughes, 2018; Lane et al., 2016). Enfin, il est suggéré de vérifier que les élèves utilisent effectivement le contenu prévu par les experts et seulement ce contenu après la prévalidation de l'épreuve pour chaque item à l'aide par exemple d'un tableau de spécifications (Haynes et al., 1995; Lynn, 1986; Ricard, 2007; Yusoff, 2019).

En ce qui concerne l'identification des attributs contenus dans l'épreuve, nous recommandons l'utilisation de la méthode MACB. Dans le cadre de notre recherche, nous avons adapté la première étape en fournissant aux experts une liste initiale d'attributs relevant de la physique, établie par la chercheuse. Cette approche peut être particulièrement utile lorsque qu'aucune liste d'attributs n'existe dans le domaine ciblé ou lorsque les experts recrutés ne sont pas spécialisés dans l'ADC et que la notion d'attributs peut leur être nouvelle. Cette liste initiale peut servir de référence lors de l'étape 2 de la méthode MACB, où les experts peuvent la modifier et parvenir à un consensus de groupe sur les attributs à hiérarchiser. Bien que la méthode MACB présente des limites concernant l'identification et la hiérarchisation des attributs, car elle repose sur l'expérience et le jugement des experts, il est crucial de souligner que les critères de sélection des membres du panel joueront un rôle déterminant dans l'élaboration de l'épreuve et par conséquent, sur la liste finale d'attributs (AERA et al., 2014; Cronbach et Meehl, 1955; Haynes et al.,

1995; Lee et Sawaki, 2009; Leighton et Gierl, 2007; Li *et al.*, 2021; Loye, 2009; Lynn, 1986, Ricard, 2007; Yusoff, 2019). Une attention particulière en cohérence avec les besoins de l'épreuve doit être accordée lors de l'établissement des critères de sélection des experts. De plus, il est important de noter que le nombre d'attributs doit être limité dans l'épreuve, afin que chacun puisse être évalué individuellement dans un item ainsi qu'en combinaison avec d'autres attributs.

Le choix du format et du nombre d'items est crucial lors du développement d'une épreuve diagnostique cognitive. L'objectif est de recueillir un maximum d'informations sur chaque attribut dans une durée déterminée, tout en évitant de surcharger cognitivement les élèves. Nous recommandons tout d'abord l'utilisation de QCM pour assurer une correction objective et rapide, en particulier dans le cadre de passations à grande échelle, des avantages recensés dans les écrits (Ammar et Houssein, 2018; Delozanne et al. 2010; Loye et Lambert-Chan, 2016; Morissette, 1997; Ricard, 2007). Pour ce qui est du nombre d'items, nous suggérons que chaque attribut soit évalué individuellement ainsi qu'en combinaisons avec d'autres attributs afin d'obtenir au minimum le double d'items que d'attributs comme recommandé par les recherches et conformément à notre propre méthodologie (Loye et Lambert-Chan, 2016; Sia et Lim, 2018). De plus, il est important de tenir compte du nombre de combinaisons pour garantir que chaque attribut se retrouve dans plusieurs items avec des combinaisons différentes afin d'accumuler suffisamment de preuves de la maîtrise ou non des attributs par les participants (Loye et Lambert-Chan, 2016; Sia et Lim, 2018). Par exemple, notre épreuve comprenait 4 attributs évalués individuellement, puis combinés avec un, deux, et trois autres attributs pour créer un total de 15 items éléments. Toutes les combinaisons possibles ont été explorées.

Cependant, lors de notre prévalidation, nous avons constaté que la durée d'une heure pourrait être excessive, surtout lorsque les élèves ne sont pas obligés d'enregistrer leur raisonnement audio. Afin d'optimiser la récolte d'informations sur la maîtrise des attributs et de maximiser le nombre d'items dans une période d'une heure, il pourrait être envisagé d'ajouter des items supplémentaires reprenant certaines combinaisons d'attributs.

Ensuite, pour le processus d'élaboration et de révision des items, il est recommandé de fournir aux experts le tableau des concepts prescrits contenus dans l'épreuve, la liste des attributs finaux hiérarchisés et un tableau énumérant les règles d'écriture pour les énoncés et leurs choix de réponses. Ces trois ressources permettent de garantir que le contenu et les concepts visés sont bien compris dans les items et que seuls

ces éléments sont présents. De plus, les consignes d'écriture synthétisées lors de notre recension des écrits (Durand et Chouinard, 2006; Fontaine *et al.*, 2020; Fortin et Gagnon, 2016; Gauthier, 2003; Moreno *et al.*, 2006; Noyé et Piveteau, 2018; Van der Maren, 1996) rappellent aux experts les directives nécessaires pour garantir l'équité entre les élèves et prévenir tout biais susceptible d'influencer le choix de réponses. Enfin, lors de la révision des items, les experts devront se baser sur ces règles de rédaction. Il est donc recommandé de leur fournir ces directives dès l'élaboration des items afin de les familiariser avec les attentes et d'assurer l'uniformité des énoncés et des choix de réponses. Par la suite, nous conseillons d'attribuer à chaque expert des items avec des attributs prédéterminés en fonction des différentes combinaisons. Ainsi, chaque membre du panel serait en mesure de créer des items comprenant au minimum à une reprise chaque attribut, tout en évitant la répétition des combinaisons pour un même expert. Finalement, en ce qui concerne l'étape de révision des items, nous suggérons de la diviser en deux phases. Tout d'abord, une partie individuelle par les experts à l'aide d'une grille de révision leur permettant de guider l'analyse des items et de leur résolution, sans l'influence des autres experts. Ensuite, une partie en groupe où les différents points de vue des membres du panel pourraient être confrontés.

À la suite de la passation de notre épreuve, nous avons procédé à la validation de son contenu et de son construit. Comme cela a été fait durant notre recherche, nous recommandons de valider le contenu avec l'aide d'une grille d'évaluation spécifique par les experts. Par la suite, les experts pourraient comparer leurs réponses et arriver à un consensus si les contenus peuvent être considérés comme présents ou non et en quantité suffisante à l'intérieur de l'épreuve. Ce processus simple garantit que seuls les concepts souhaités se retrouvent dans les réponses des élèves. Ces deux dernières recommandations font écho à la méthodologie utilisée lors de la méthode MACB où une première partie seule permet de favoriser l'expertise individuelle, alors que la deuxième partie en groupe met de l'avant la confrontation des idées en vue d'arriver à un consensus de groupe (Loye, 2008; Shyyan, Christensen, Thurlow et Lazarus, 2013; Vanderwood, Ysseldyke et Thurlow, 1993).

En ce qui concerne la validation du construit envisagé par le panel d'experts, une analyse attentivement des réponses écrites, accompagnées des protocoles verbaux serait à privilégier afin de créer des cartes conceptuelles pour chaque item et pour chaque participant. Dans la mesure du possible, chaque expert pourrait effectuer cette prévalidation, puis comparer ses résultats avec ceux des autres experts. Dans le cas où les experts devraient se diviser les analyses, une rencontre entre eux serait nécessaire au préalable afin d'établir des balises de correction pour assurer la cohérence entre les analyses. Lors de leur recherche,

Brienza et Mèche (2019) ont constaté qu'elles codaient différemment les données recueillies et analysées. Leur méthodologie comprenait une validation interjuge, ce qui leur a permis de constater leurs divergences et d'établir des balises communes. Dans le cas d'une recherche où une validation interjuge ne pourrait être réalisée et que les analyses devraient être divisées, il est primordial d'assurer une uniformité lors de la récolte et de l'analyse des données afin de minimiser les erreurs de validation des diagnostics ressortis. Un exemple en groupe pourrait aussi être une bonne avenue lors de cette rencontre. La méthode de validation du construit, par l'analyse des verbatims et des réponses écrites, permet de confirmer l'utilisation par les élèves des attributs définis par les experts, de détecter les difficultés rencontrées par les élèves et enfin, de fournir des informations supplémentaires sur le choix des réponses leurs.

En analysant les protocoles verbaux, nous avons observé qu'il était plus facile de recueillir les opinions et les commentaires des élèves grâce aux enregistrements audios plutôt que dans la section « Commentaire » prévue dans leur cahier. Cette difficulté a déjà été soulevée par Ricard (2007) dans le cadre de sa recherche sur l'élaboration d'une épreuve diagnostique. Lors de la passation de son épreuve, elle a observé que les élèves semblaient souvent hésiter quant aux commentaires à fournir. Il est vrai qu'ils sont rarement invités à exprimer leur opinion concernant les questions des évaluations et encore moins à participer à la création de ces questions. Ricard a ainsi pris l'initiative, durant la passation, d'écrire au tableau des questions qui pourraient guider les commentaires des élèves. Pour remédier à cette problématique, et en accord avec les recommandations de Ricard (2007), nous suggérons d'intégrer à la fin de chaque item dans le cahier de l'élève une grille de révision de l'énoncé des items. Cette grille, utilisée par les experts lors de la révision des items de notre épreuve, permettrait aux élèves de mieux comprendre les attentes et de cocher les cases appropriées pour chaque critère tout en laissant une possibilité de commentaire. Ainsi, nous pourrions recueillir plus facilement l'opinion des élèves pour chaque item lors de la prévalidation.

Finalement, la dernière recommandation en lien avec la méthodologie pour le développement d'une épreuve basée sur l'ADC fait suite aux limites de notre recherche provoquée par la combinaison des choix de réponses. Nous avons réalisé qu'il devenait plus ardu de faire une variété de combinaisons lorsque le nombre d'attributs augmentait vu qu'il est recommandé de n'avoir seulement que de 3 à 5 choix de réponses par question. Nous nous sommes demandé s'il existait une modification possible permettant d'empêcher les participants de trouver la bonne réponse par l'élimination des choix de réponses sans pour autant augmenter la charge cognitive des élèves ni la correction de l'épreuve. Nous suggérons, lorsque le nombre d'attributs engendre un grand nombre de combinaisons, de séparer les réponses au lieu de les

regrouper. Par exemple, si nous reprenons l’item 11 de notre épreuve, nous demandions à l’élève de trouver un DCL, la norme de la force normale et la norme de la force de frottement. Dans notre épreuve, nous n’avions que 5 combinaisons, soient le maximum recommandé par les recherches sur les QCM. Il serait très intéressant de séparer les réponses afin d’avoir 5 choix de réponses pour le DCL, 5 choix pour la norme de la force normale et 5 choix pour la norme de la force normale. L’élève ferait donc un choix pour le DCL, un choix pour la norme de la force normale et un choix pour la norme de la force de frottement donnant ainsi une combinaison à trois chiffres.

Cette modification augmente la précision du diagnostic cognitif ressorti pour l’élève tout en minimisant l’impact des stratégies d’élimination pour trouver la bonne réponse. La charge cognitive du participant ne serait pas augmentée vu qu’il serait en réalité toujours avec un maximum de 5 choix compartimentés par question. De plus, l’avantage de garder le même contexte est aussi pour diminuer la charge cognitive de l’élève à s’approprier une nouvelle situation. Pour ce qui est de la correction, elle serait tout autant facile vu que nous serions en réalité avec le même nombre de questions à choix de réponses pour une même situation. Finalement, le diagnostic cognitif serait nettement plus précis vu qu’il serait possible de dire exactement quel attribut l’élève n’a pas réussi, que ce soit en lien avec la norme et/ou l’orientation de la force, et d’identifier la cause de la difficulté en utilisant les 4 leurres. Cette proposition viendrait atténuer plusieurs limites soulevées précédemment, dont l’impact d’un attribut non maîtrisé sur le résultat obtenu indiquant la maîtrise de l’item ou la déduction de la bonne réponse par élimination à l’aide des combinaisons proposées. Il est important de souligner que cette recommandation pourrait ne pas être applicable pour tous les domaines évalués par une épreuve diagnostique cognitive. De plus, cette méthode serait à expérimenter lors d’une prévalidation subséquente afin de déterminer si elle a un réel pouvoir diagnostique cognitif plus précis que celle que nous avons utilisée lors du développement de notre épreuve. Dans la section suivante, nous proposerons des recommandations en lien avec l’apprentissage de la physique, domaine ciblé par notre épreuve.

5.7.2 Recommandations concernant le domaine de la physique de 5e secondaire

Lors de notre recension des écrits, nous avons constaté l’absence d’épreuves basées sur l’ADC dans le domaine de la physique. Dans le but d’aider le développement d’évaluations diagnostiques cognitives en physique de 5^e secondaire, nous proposerons différentes recommandations en lien avec les limites soulevées dans notre recherche concernant la validation du construit. Premièrement, nous avons constaté lors de la prévalidation que le diagnostic cognitif ressorti vis-à-vis de la maîtrise de la force normale pouvait

être erroné en ce qui a trait à sa norme et à son orientation. Afin de nous assurer que l'élève comprenne la théorie derrière la force normale, nous pourrions introduire des situations où cette force ne possède pas la même valeur de norme et n'est pas orientée directement à l'opposé de la force de gravité ou à 90° par rapport au système de référence donné. Par exemple, nous pourrions ajouter une autre force qui viendrait déséquilibrer le lien entre la force normale et la force de gravité. Cette approche nous permettrait d'évaluer plus précisément la maîtrise par l'élève de l'attribut (4) *Déterminer la force normale (norme et orientation)* dans toutes les situations relevant de la physique mécanique dynamique. Ces nouveaux items devraient faire l'objet d'une prévalidation avant d'être soumis à une validation à grande échelle, afin de confirmer qu'ils pallient adéquatement les lacunes identifiées pour l'attribut (4) par rapport à nos items actuels. Si le temps de passation le permet, il serait préférable d'ajouter de nouveaux items plutôt que de modifier ceux déjà existants. Nous estimons que dans un contexte réel de classe, notre épreuve peut être complétée en moins d'une heure permettant ainsi l'ajout d'items. En procédant ainsi, nous pourrions mieux évaluer le niveau de maîtrise des élèves en ce qui concerne l'attribut (4), car il est apparu que les items actuels présentent un niveau cognitif de maîtrise plus faible que dans des situations où la mesure de la force normale nécessite l'interaction de plusieurs forces autres que la gravité.

Deuxièmement, pour ce qui a trait à la limitation de l'orientation de la force gravitationnelle, la révision a révélé que dans certaines situations, les participants ont modifié leurs réponses après avoir résolu d'autres items, car ceux-ci ont fourni des indices quant à la direction de la force de gravité. Cette situation est survenue lors des items 3, 5, 6, 8 et 11 et est venue influencer les résultats diagnostiques cognitifs vis-à-vis la maîtrise de l'attribut (6) *Déterminer la force de gravité (norme et orientation)*. Modifier le contexte des items sans altérer la tâche, le contenu et les attributs de ces items en éliminant les indices peut être une avenue efficace, rapide et simple pour garantir la validité de nos items et pour atteindre le sous-objectif (2) *Création d'items nécessitant les attributs ressortis pour être résolus* de notre recherche. Par exemple, dans le contexte, nous pourrions échanger la force de gravité par une force quelconque vers le bas pouvant à la fois être la force de gravité ou la somme de plusieurs forces. Ce changement enlève l'indice lié à l'orientation de la force de gravité. La prévalidation de ces items serait nécessaire afin de garantir qu'ils atteignent l'objectif recherché.

En résumé, nous avons proposés plusieurs recommandations en lien avec les différentes étapes d'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive, comme les critères de sélection des experts et leur nombre dans le panel, le processus d'identification des attributs et d'élaboration des items et leur nombre

respectif dans notre épreuve ainsi que la méthodologie employée lors de la validation du contenu et du construit de notre épreuve. De plus, nous avons présenté une possibilité de disposition des options dans les choix de réponses afin d'améliorer le pouvoir diagnostique cognitif, de réduire l'effet de déduction des réponses et de faciliter le travail des experts sans pour autant augmenter la charge cognitive de l'élève. En lien avec le domaine de la physique, nous recommandons la modification ou l'ajout d'items dont le contexte de la question influencerait l'équilibre des forces évitant ainsi une opposition directe entre la force normale et la force de gravité. Finalement, nous suggérons de réviser l'énoncé des éléments n'évaluant pas l'attribut (6) lié à la force de gravité, afin d'éliminer toute indication sur l'orientation de cette force.

CONCLUSION

Pour conclure notre recherche, les principales difficultés rencontrées par les élèves lors de l'apprentissage de la physique sont liées aux processus cognitifs, pouvant découler des limites à transférer les apprentissages d'une matière ou d'une année à une autre ou encore des conceptions spontanées ou alternatives. Ces obstacles, invisibles à l'œil nu et complexes, rendent parfois ardue l'identification des lacunes cognitives chez les élèves. Il est néanmoins essentiel de diagnostiquer ces difficultés afin de mettre en place des stratégies de remédiation adaptées. Considérant que le programme éducatif du cours de physique est construit en continuum, les faiblesses rencontrées par les élèves peuvent s'accumuler et entraîner des problèmes plus importants de compréhension. Étant donné la nature des difficultés rencontrées, une épreuve permettant de mettre en évidence les obstacles cognitifs des élèves dans l'apprentissage de la physique s'avère essentielle pour les aider à surmonter ces défis et à éviter l'accumulation de lacunes. En revanche, aucune évaluation existante ne permet de répondre à ce problème, en particulier dans le domaine de la physique mécanique dynamique. Dans le cadre de notre recherche, nous avons exploré l'approche diagnostique cognitive (ADC) comme une solution prometteuse à cette problématique. L'ADC, une méthode mixte combinant la science cognitive et la psychométrie, offre en effet des avantages pour identifier les difficultés cognitives des élèves. Malgré les avantages que cette approche offre pour diagnostiquer les obstacles rencontrés par les apprenants, peu d'épreuves ont été conçues en se basant sur l'ADC, en particulier de la physique.

Ce mémoire vise à documenter les étapes de l'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive basée sur la physique mécanique dynamique dans le but de détecter et de remédier aux difficultés rencontrées dans ce domaine. Trois sous-objectifs spécifiques ont été définis : (1) identifier les processus cognitifs impliqués dans la résolution de problèmes en physique dynamique, (2) concevoir des items représentatifs du domaine de la physique dynamique, conçus pour être résolus par les attributs identifiés et (3) prévalider l'épreuve auprès d'un groupe d'élèves. Le processus de développement de notre évaluation s'est déroulé en deux phases distinctes, soit l'élaboration d'une épreuve à l'aide d'un panel d'experts et la prévalidation de l'épreuve à l'aide d'un groupe d'élèves suivant le cours de physique de 5^e secondaire. Nous avons suivi les quatre premières étapes de la méthodologie adaptée de Lee et Sawaki (2009) pour élaborer l'épreuve selon une approche déductive, à savoir l'*identification des attributs*, la *création des items*, l'*élaboration de la matrice Q* et la *prévalidation de l'épreuve*. De plus, afin de renforcer notre démarche méthodologique, nous nous sommes appuyés sur trois cadres de référence reconnus en

développement d'épreuve : les *Standards for Educational and Psychological Testing* (AERA et al., 2014), *The Wiley Handbook of Psychometric Testing* (Irwing et Hughes, 2018), et le *Handbook of Test Development* (Lane et al., 2016). Durant la première phase, les experts ont suivi la méthode MACB afin d'identifier les 4 attributs contenus dans l'épreuve et ont créé 15 items pouvant être résolus grâce à ces attributs. Pour la deuxième phase du développement de notre test, nous avons procédé à la prévalidation de nos items en impliquant un groupe de 12 élèves de 5e secondaire. Durant la passation, nous avons recueilli à la fois les résolutions écrites des participants et enregistré leur raisonnement audio. L'analyse combinée des verbatims de ces enregistrements avec les résolutions écrites des élèves nous a permis de valider le contenu de notre épreuve ainsi que le construit nécessaire à chacun des items.

Les résultats de la prévalidation mettent en évidence l'efficacité de la méthodologie utilisée et l'atteinte de nos trois sous-objectifs dans cette étude, confirmant que les attributs identifiés relevant de la physique mécanique dynamique étaient effectivement utilisés par les élèves et que les items nécessitaient les attributs prévus pour être résolus. Cependant, certaines limites ont été observées concernant le développement de l'épreuve ainsi que le domaine d'apprentissage évalué. Tout d'abord, lors du processus d'élaboration de l'évaluation, la plus grande difficulté rencontrée par les experts a été de sélectionner les leurres parmi les choix de réponses. Plus le nombre d'attributs combinés augmentait, plus il devenait difficile de limiter les options à un maximum de 5 choix. L'analyse des résultats a révélé que ce nombre restreint de choix permettait aux élèves de deviner certaines réponses, ce qui pouvait fausser le diagnostic cognitif obtenu. Dans nos recommandations, nous proposons de diviser chaque réponse demandée en différentes sections, augmentant ainsi le nombre de possibilités tout en précisant le diagnostic, sans pour autant accroître la charge cognitive. De plus, cette modification de la présentation des choix de réponses devrait réduire les solutions trouvées par élimination et par devinette.

Les limites du diagnostic cognitif de nos items en physique mécanique dynamique sont principalement liées aux concepts d'équilibre, à la relation entre la force normale et la force de gravité, ainsi qu'à l'orientation de cette dernière. D'abord, nous avons constaté que la compréhension du concept d'équilibre ne pouvait être pleinement évaluée au cours de notre recherche, notamment dans des situations de mouvement à vitesse constante. L'analyse des verbatims et des résolutions écrites révèle que peu d'élèves ont fait appel à ce concept dans leur raisonnement. Par ailleurs, bien que les participants aient souvent spontanément établi un lien entre la force normale et la force gravitationnelle, en ce qui concerne leur norme et leur orientation, cette corrélation n'est pas toujours valide. Enfin, nous avons observé que

certaines élèves ont révisé leurs réponses et que quelques indices dans des items non directement liés à la force de gravité ont permis aux participants de déduire des informations relatives à cette force et de modifier leurs réponses en conséquence. Dans ces deux derniers cas, le diagnostic cognitif ressorti pour ces élèves peut être erroné. Pour de futures recherches visant une validation à grande échelle, il serait recommandé de modifier ou d'ajouter des items portant spécifiquement sur la force normale et l'orientation de la force de gravité, tout en les prévalidant préalablement.

Notre recherche a contribué à l'approfondissement des connaissances liées au développement d'une épreuve basée sur l'ADC ainsi que sur l'apprentissage et les difficultés rencontrées par les élèves lors du cours de physique de 5e secondaire. Sur le plan méthodologique, nous avons méticuleusement documenté chaque étape de l'élaboration d'une évaluation diagnostique cognitive, offrant ainsi des perspectives précieuses pour toute recherche basée sur l'ADC qui pourraient s'appliquer à d'autres disciplines. Cela inclut notamment la présentation de chacune des étapes du processus d'identification des attributs pertinents et de création d'items basés sur ces attributs. En ce qui concerne l'apprentissage de la physique, notre étude a mis en lumière les difficultés spécifiques rencontrées par les élèves dans le domaine du DCL, de la force gravitationnelle, de la force normale et plus particulièrement de la force de frottement. De plus, notre recherche a établi une première liste d'attributs essentiels en physique mécanique dynamique, qui pourrait servir de point de départ pour des études futures. Enfin, nous avons élaboré une série d'items pouvant être résolus à l'aide de ces attributs dans des contextes d'apprentissage de la physique.

Sur le plan de la pertinence sociale, cette recherche a permis le développement d'un outil de diagnostic cognitif destiné à renforcer l'apprentissage. Cette épreuve est conçue pour identifier les forces et les faiblesses des élèves suivant le cours de physique de 5e secondaire, en alignement avec le programme de formation de l'école québécoise. En répondant à la première finalité de l'évaluation de ce programme, qui est de soutenir l'apprentissage, ce test s'inscrit parfaitement dans les valeurs fondamentales de l'évaluation, à savoir l'équité, l'égalité et la justice (MEQ, 2003). Elle offre aux intervenants scolaires ainsi qu'aux élèves un outil simple, accessible et efficace pour évaluer les raisonnements cognitifs employés dans le cadre de la physique mécanique dynamique. Ainsi, notre épreuve fournit les informations nécessaires pour concevoir des moyens de remédiation adaptés en fonction des compétences acquises et des difficultés rencontrées par les élèves, notamment avant d'aborder de nouveaux concepts. Ces

interventions ciblées visent également à aider les apprenants à atteindre leurs objectifs en lien avec leur parcours postsecondaire.

En ce qui concerne la pertinence scientifique, cette recherche offre des perspectives méthodologiques permettant d'enrichir le développement d'épreuves fondées sur l'ADC, notamment dans les domaines des sciences et de la technologie ainsi que de la physique. Jusqu'à présent, peu de tests ont été conçus selon la méthode déductive, c'est-à-dire avec une visée de diagnostic au départ, mettant en lumière le manque d'informations et de méthodologies susceptibles de soutenir le développement d'évaluations basées sur cette approche et sur des besoins spécifiques en matière de difficultés. Plus précisément, notre recherche détaille les étapes d'identification d'attributs à partir de la revue de la littérature et d'un programme de formation, ainsi que la hiérarchisation de ces attributs en fonction des besoins diagnostiques. De plus, elle expose l'intégralité de la procédure d'élaboration et de révision d'items basés sur des combinaisons spécifiques d'attributs. Ensuite, notre recherche décrit le processus de prévalidation du contenu et du construit des items en combinant des résolutions écrites et des protocoles verbaux. Par ailleurs, tout au long de ces étapes, notre étude fournit des éléments méthodologiques pour soutenir le développement d'épreuves basées sur l'ADC, telles que le choix des experts, le nombre d'attributs et d'items, ainsi que leur corrélation et les ressources fournies aux experts. En conclusion, alors que les recherches fondées sur l'ADC se concentrent principalement sur les domaines des langues et des mathématiques, notre recherche ouvre la voie à l'élaboration d'épreuves diagnostiques cognitives en physique.

ANNEXE A

Lettre d'informations et formulaire de consentement pour le recrutement des experts

6 février 2023

Madame,
Monsieur,

Je me permets d'assumer que votre temps est important et je l'apprécie. Cette communication a pour but de connaître votre intérêt à participer à l'élaboration de l'épreuve diagnostique cognitive : identifier les stratégies, habiletés et processus cognitifs posant des difficultés aux élèves de 5e secondaire suivant le cours de physique, et ce, en hiver 2023.

Je m'appelle Geneviève St-Onge-Ross. Depuis 2013, je suis enseignante en sciences et technologies au secondaire au Collège Letendre à Laval, plus particulièrement en physique, et depuis l'hiver 2020, étudiante à la maîtrise en éducation à l'UQAM. Le sujet de mon mémoire porte sur les difficultés des élèves suivant le cours de physique de 5e secondaire et sur l'utilisation d'une évaluation diagnostique cognitive pour identifier ces difficultés. Une épreuve diagnostique cognitive consiste à dépister les forces et les faiblesses des élèves en ce qui concerne leurs processus cognitifs (stratégies, habiletés, raisonnement) pour mettre en place un plan de remédiation en cohérence avec les difficultés soulevées. Ce projet est réalisé sous la direction de Dan Thanh Duong Thi, professeur du département d'éducation et pédagogie de la Faculté de l'éducation de l'UQAM.

Votre avis et votre expérience en enseignement de la physique de 5e secondaire pourront m'aider à élaborer cette épreuve. La clientèle est les élèves de 5e secondaire et le contenu de l'épreuve est celui prescrit dans le programme de formation de l'école québécoise pour le cours de physique de 5e secondaire. Vous aurez l'opportunité de partager les difficultés que vos élèves rencontrent lors de l'apprentissage de la physique plus particulièrement en ce qui concerne la dynamique.

Votre participation permettra de faire avancer la recherche du dépistage des difficultés d'apprentissage de la physique et de l'évaluation basée sur l'approche diagnostique cognitive dans une optique de réussite pour tous. Pour participer en tant qu'expert, vous devez enseigner ou avoir enseigné la physique et ainsi que participé à l'élaboration des évaluations en physique.

Vous pouvez me rejoindre au st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca pour les prochaines étapes. Sinon, je ferai un suivi avec vous d'ici le début de la semaine prochaine. *Le formulaire de consentement en pièce jointe devra être remis au plus tard le 20 février 2023.*

Cordialement,

Geneviève St-Onge-Ross

Étudiante à la *Maitrise en Éducation à l'Université du Québec à Montréal*

Concentration *Éducation et Pédagogie*

Profil *Recherche*

Courriel : st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT – PHASE 1

Titre du projet de recherche

Élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive pour dépister les difficultés d'apprentissage des élèves de 5e secondaire en physique

Étudiant-chercheur

*Geneviève St-Onge-Ross,
Maîtrise en éducation, Concentration
Éducation et Pédagogie, Profil Recherche
Courriel :
st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca*

Direction de recherche

*Projet réalisé sous la direction de Dan Thanh
Duong Thi, professeur en mesure et évaluation
du département d'éducation et pédagogie de la
Faculté de l'éducation de l'UQAM.
Téléphone : (514) 987-3000, poste 7985
Courriel : duong_thi.dan_thanh@uqam.ca*

Préambule

Nous vous invitons à participer à un projet de recherche qui implique votre point de vue et votre expérience lors de 3 séances d'échange avec d'autres experts sur les difficultés vécues par les élèves de 5e secondaire lors de l'apprentissage de la physique. Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire de consentement vous présentera le projet ainsi que ses objectifs, la nature et la durée de votre participation, les avantages et les risques liés à votre participation, la participation volontaire et la possibilité de retrait, les mesures de confidentialité et d'anonymat mises en application, l'utilisation des données secondaires, la compensation de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le présent formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles.

Description du projet et de ses objectifs

Description du projet :

Cette recherche a pour but de déterminer dans quelle mesure l'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive selon la méthode déductive pourrait permettre de dépister les difficultés des élèves en physique de 5e secondaire.

Une épreuve diagnostique cognitive consiste à dépister les forces et les faiblesses des élèves en ce qui concerne leurs processus cognitifs (stratégies, habiletés, raisonnement) pour mettre en place un plan de remédiation en cohérence avec les difficultés soulevées.

Objectifs du projet :

- *Ressortir les processus cognitifs (attributs) utilisés lors de la résolution de problème relevant de la physique dynamique.*
- *Composer des tâches (items) représentant adéquatement le domaine de la physique dynamique pouvant être résolu avec les attributs ressortis précédemment.*
- *Confectionner une ébauche d'une matrice Q permettant de faire ressortir les profils diagnostiques des répondants.*

Déroulement du projet :

Le projet sera divisé en deux grandes phases d'expérimentation :

- *Phase 1 : Identification des attributs et élaboration d'items*
 - *Identification des attributs*
 - *Élaboration des items*
- *Phase 2 : Prévalidation des items*

La participation des experts se situe dans la Phase 1 - Identification des attributs et élaboration d'items

Population ciblée :

Enseignants.es de physique participant à l'élaboration des évaluations en physique de votre école.

Nombre de participants :

Un total de 2 experts avec la chercheuse

Date :

Hiver 2023

Durée :

- *Identification des attributs : Deux séances de 1h et travail individuel d'environ 1h entre les séances*
- *Élaboration des items : Travail individuel d'environ 4 heures échelonné sur 3 semaines et une rencontre de 2h*

Nature et durée de la participation

Nombre de rencontres :

Un total de trois rencontres et du travail individuel seront nécessaires :

- *Identification des attributs*
 - *Étape 2 - Obtention d'un consensus sur les attributs par les experts*
 - *Étape 3 - Hiérarchisation des attributs afin de cibler ceux retenus.*
- *Élaboration des items*
 - *Étape 1 - Élaboration d'une banque d'items*
 - *Étape 2 - Révision des items développés*

Déroulement :

Identification des attributs

- 1^{ère} rencontre : Séance d'informations et identification de l'attribut le plus important
 - o Séance d'information sur :
 - Nature d'une épreuve diagnostique cognitive et d'un processus cognitif
 - Méthode Multi- Attribute consensus building
 - Présentation du tableau de spécification et des concepts prescrits
 - o Révision des attributs ressortis par la chercheuse
 - o Identification de l'attribut le plus important parmi ceux ressortis par la chercheuse
- Travail individuel : Attribution des valeurs
 - o Attribution d'une valeur à chacun des attributs ressortis par la chercheuse

- 2e rencontre : Hiérarchisation des attributs afin de cibler ceux retenus.
 - o Hiérarchisation des attributs selon leur importance vis-à-vis des difficultés lors de l'apprentissage de la physique mécanique dynamique.

Élaboration des items

- Travail individuel : Élaboration d'une banque d'items
 - o Élaboration individuelle de 5 items selon une combinaison préétablie par la chercheuse d'attributs provenant de l'Identification des attributs
- 3^e rencontre : Révision des items développés
 - o Révision des items des autres experts ainsi que des choix des leurres du choix de réponses.

Contenu

Le contenu de l'épreuve est celui prescrit dans le programme de formation de l'école québécoise pour le cours de physique de 5e secondaire. Il porte sur le thème de la Mécanique, orientation Dynamique.

Lieu où se déroulera la phase 1 :

Rencontre par visioconférence

Avantages liés à la participation

Il se peut que vous retiriez un bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons vous l'assurer. Par ailleurs, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans le domaine du dépistage des difficultés d'apprentissage de la physique et de l'évaluation basée sur l'approche diagnostique cognitive dans une optique de réussite pour tous.

Risques liés à la participation

En principe, aucun risque n'est lié à votre participation à cette recherche.

Participation volontaire et possibilité de retrait

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision à la chercheuse responsable de ce projet de vive voix ou par courriel avant, pendant ou après la passation. Toutes les données vous concernant seront détruites.

Confidentialité

Durant votre participation à ce projet de recherche, la chercheuse responsable de ce projet recueillera, à l'aide des documents fournis aux experts, diverses informations permettant l'identification des attributs et l'élaboration d'items en lien avec la physique mécanique dynamique.

Seuls les renseignements nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet seront recueillis. Les informations personnelles ne seront connues que de la chercheuse et ne seront pas dévoilées lors de la diffusion des résultats. Les documents fournis aux experts seront numérotés et seule la chercheuse aura la liste des experts et du numéro qui leur aura été attribué. Les documents fournis aux experts seront conservés sous clef durant la durée de l'étude. Les différents documents numériques seront conservés sur l'ordinateur de la chercheuse responsable et seront protégés par un code d'accès connu que par celle-ci. L'ensemble des documents sera détruit 1 an après la dernière communication scientifique.

Utilisation secondaire des données

Acceptez-vous que les données de recherche soient utilisées pour réaliser d'autres projets de recherche dans le même domaine ?

Ces projets de recherche seront évalués et approuvés par un Comité d'éthique de la recherche de l'UQAM avant leur réalisation. Les données de recherche seront conservées de façon sécuritaire. Afin de préserver votre identité et la confidentialité des données de recherche, vous ne serez identifié que par un numéro de code.

Oui *Non*

Acceptez-vous que les données de recherche soient utilisées dans le futur par d'autres chercheurs à ces conditions ?

Oui *Non*

Possibilité de commercialisation des résultats

Les résultats de la recherche découlant de votre participation pourraient conduire à la création d'un nouvel outil de diagnostic cognitif à des fins commerciales. Cependant vous ne pourrez pas en retirer aucun avantage financier.

Indemnité compensatoire

Aucune indemnité compensatoire ne sera accordée pour votre la participation.

Des questions sur le projet ?

Pour toute question additionnelle sur le projet, vous pouvez communiquer avec les responsables du projet : Geneviève St-Onge-Ross (st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca) et Dan Thanh Duong Thi ((514) 987-3000, poste 7985, duong_thi.dan_thanh@uqam.ca)

Des questions sur vos droits ? Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE) a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche sur le plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la coordination du CERPE : cerpe-pluri@uqam.ca.

Remerciements

Votre collaboration est essentielle à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier.

Consentement

Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les risques et les inconvénients auxquels je m'expose tels que présentés dans le présent formulaire. J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à ma satisfaction.

Je, soussigné(e), accepte volontairement de participer à cette étude. Je peux me retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision.

Une copie signée de ce formulaire d'information et de consentement doit m'être remise.

Prénom Nom du participant

Signature du participant

Date

Je veux être informé lors de la publication de cette étude :

(Inscrire adresse courriel) _____

Engagement de la chercheuse (Phase 1)

Je, soussigné(e) certifie

- (a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire ;*
- (b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard ;*
- (c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus ;*
- (d) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.*

Prénom Nom de la chercheuse

Signature de la chercheuse

Date

ANNEXE B

Lettre d'autorisation à la direction pédagogique pour la participation des élèves de 5e secondaire

6 février 2023
Laval, Québec

Madame,
Monsieur,

Je me permets d'assumer que votre temps est important et je l'apprécie.

Cette communication a pour but d'autoriser une partie de vos élèves de physique de 5^e secondaire à participer à la prévalidation d'une épreuve diagnostique cognitive. Celle-ci permettra de déceler les processus cognitifs en difficultés pour des élèves de 5^e secondaire suivant le cours de physique, plus particulièrement dans le domaine de la mécanique dynamique. L'expérimentation aura lieu à la fin du printemps 2023.

Je m'appelle Geneviève St-Onge-Ross. Depuis 2013, je suis enseignante en sciences et technologies au secondaire au Collège Letendre à Laval, plus particulièrement en physique, et depuis l'hiver 2020, étudiante à la maîtrise en éducation à l'UQAM. Le sujet de mon mémoire porte sur les difficultés des élèves suivant le cours de physique de 5e secondaire et sur l'utilisation d'une évaluation diagnostique cognitive pour identifier ces difficultés. Une épreuve diagnostique cognitive consiste à dépister les forces et les faiblesses des élèves en ce qui concerne leurs processus cognitifs (stratégies, habiletés, raisonnement) pour mettre en place un plan de remédiation en cohérence avec les difficultés soulevées. Ce projet est réalisé sous la direction de Dan Thanh Duong Thi, professeur du département d'éducation et pédagogie de la Faculté de l'éducation de l'UQAM.

La clientèle est les élèves de 5e secondaire et le contenu de l'épreuve est celui prescrit dans le programme de formation de l'école québécoise pour le cours de physique de 5e secondaire. Vos élèves auront l'opportunité d'expérimenter chacune des questions de l'épreuve, de fournir les principales résolutions possibles, de faire ressortir les principales erreurs et de donner leurs impressions et commentaires sur l'épreuve. Celle-ci est d'une durée de 75 minutes et sera réalisée simultanément pour tous les participants lors d'une période en classe. Lors de leur résolution, les élèves devront énoncer à haute voix leur raisonnement cognitif qui sera enregistré à l'aide d'une enregistreuse numérique et puis choisir une réponse parmi celles proposées.

Après avoir reçu votre autorisation et celle de l'enseignant, une séance d'information de 40 minutes aura lieu afin de présenter la recherche et les étapes de la prévalidation. Le nombre de participants sera de 8 élèves faisant partie d'un même groupe. Un formulaire de consentement pour personne mineure devra être signé par le responsable légal des élèves afin que ceux-ci puissent assister à la séance d'information ainsi qu'à la prévalidation de l'épreuve diagnostique cognitive. Une copie de ces formulaires de consentement est en pièces jointes à cette communication.

Le contenu de l'épreuve portera sur le thème de la *Mécanique*, orientation *Dynamique*

À plus grande échelle, leur participation permettra de faire avancer la recherche du dépistage des difficultés d'apprentissage de la physique et de l'évaluation basée sur l'approche diagnostique cognitive dans une optique de réussite pour tous.

L'anonymat des élèves sera garanti tout le long de la prévalidation à l'aide d'un numéro attribué à chacun des élèves. Les données récoltées seront conservées pour toute la durée de la recherche et seront par la suite détruites, soit un an après la dernière communication scientifique.

Votre signature au bas de cette lettre me donnera l'autorisation d'informer vos élèves de 5^e secondaire suivant le cours de physique ainsi que de leur faire expérimenter l'épreuve diagnostique cognitive élaborée.

Pour toute question, vous pouvez me rejoindre au st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca.

Cordialement,

Geneviève St-Onge-Ross

Étudiante à la *Maitrise en Éducation à l'Université du Québec à Montréal*

Concentration *Éducation et Pédagogie*

Profil *Recherche*

Courriel : st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca

Moi, _____, confirme autoriser Geneviève St-Onge-Ross à présenter l'épreuve et à réaliser la prévalidation auprès de mes élèves de 5^e secondaire suivant le cours de physique.

Signature de la direction pédagogique : _____

Date : _____

ANNEXE C

Lettre d'autorisation à l'adjoint(e) à la direction pour la participation des élèves de 5e secondaire

6 février 2023
Laval, Québec

Madame,
Monsieur,

Je me permets d'assumer que votre temps est important et je l'apprécie.

Cette communication a pour but d'autoriser une partie de vos élèves de physique de 5^e secondaire à participer à la prévalidation d'une épreuve diagnostique cognitive. Celle-ci permettra de déceler les processus cognitifs en difficultés pour des élèves de 5^e secondaire suivant le cours de physique, plus particulièrement dans le domaine de la mécanique dynamique. L'expérimentation aura lieu à la fin du printemps 2023.

Je m'appelle Geneviève St-Onge-Ross. Depuis 2013, je suis enseignante en sciences et technologies au secondaire au Collège Letendre à Laval, plus particulièrement en physique, et depuis l'hiver 2020, étudiante à la maîtrise en éducation à l'UQAM. Le sujet de mon mémoire porte sur les difficultés des élèves suivant le cours de physique de 5e secondaire et sur l'utilisation d'une évaluation diagnostique cognitive pour identifier ces difficultés. Une épreuve diagnostique cognitive consiste à dépister les forces et les faiblesses des élèves en ce qui concerne leurs processus cognitifs (stratégies, habiletés, raisonnement) pour mettre en place un plan de remédiation en cohérence avec les difficultés soulevées. Ce projet est réalisé sous la direction de Dan Thanh Duong Thi, professeur du département d'éducation et pédagogie de la Faculté de l'éducation de l'UQAM.

La clientèle est les élèves de 5e secondaire et le contenu de l'épreuve est celui prescrit dans le programme de formation de l'école québécoise pour le cours de physique de 5e secondaire. Vos élèves auront l'opportunité d'expérimenter chacune des questions de l'épreuve, de fournir les principales résolutions possibles, de faire ressortir les principales erreurs et de donner leurs impressions et commentaires sur l'épreuve. Celle-ci est d'une durée de 75 minutes et sera réalisée simultanément pour tous les participants lors d'une période en classe. Lors de leur résolution, les élèves devront énoncer à haute voix leur raisonnement cognitif qui sera enregistré à l'aide d'une enregistreuse numérique et puis choisir une réponse parmi celles proposées.

Après avoir reçu votre autorisation et celle de l'enseignant, une séance d'information de 40 minutes aura lieu afin de présenter la recherche et les étapes de la prévalidation. Le nombre de participants sera de 8 élèves faisant partie d'un même groupe. Un formulaire de consentement pour personne mineure devra être signé par le responsable légal des élèves afin que ceux-ci puissent assister à la séance d'information ainsi qu'à la prévalidation de l'épreuve diagnostique cognitive. Une copie de ces formulaires de consentement est en pièces jointes à cette communication.

Le contenu de l'épreuve portera sur le thème de la *Mécanique*, orientation *Dynamique*

À plus grande échelle, leur participation permettra de faire avancer la recherche du dépistage des difficultés d'apprentissage de la physique et de l'évaluation basée sur l'approche diagnostique cognitive dans une optique de réussite pour tous.

L'anonymat des élèves sera garanti tout le long de la prévalidation à l'aide d'un numéro attribué à chacun des élèves. Les données récoltées seront conservées pour toute la durée de la recherche et seront par la suite détruites, soit un an après la dernière communication scientifique.

Votre signature au bas de cette lettre me donnera l'autorisation d'informer vos élèves de 5^e secondaire suivant le cours de physique ainsi que de leur faire expérimenter l'épreuve diagnostique cognitive élaborée.

Pour toute question, vous pouvez me rejoindre au st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca.

Cordialement,

Geneviève St-Onge-Ross

Étudiante à la *Maitrise en Éducation à l'Université du Québec à Montréal*

Concentration *Éducation et Pédagogie*

Profil *Recherche*

Courriel : st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca

Moi, _____, confirme autoriser Geneviève St-Onge-Ross à présenter l'épreuve et à réaliser la prévalidation auprès de mes élèves de 5^e secondaire suivant le cours de physique.

Signature de l'adjoint(e) à la direction: _____

Date : _____

ANNEXE D

Document Rencontre 1 : Présentation du projet et préparation à la tâche individuelle d'attribution de valeur aux attributs

1) Préparation

Nature d'une épreuve diagnostique cognitive

- Permet de déceler les processus cognitifs maîtrisés et ceux non maîtrisés
- S'inscrit dans l'Aide à l'apprentissage
- Permet de mettre en place une remédiation en cohérence avec les processus cognitifs maîtrisés

Définition d'un processus cognitif (sera par la suite appelés Attributs)

Nature :

- Savoir ou savoir-faire (Loye, 2008)
- Stratégie ou technique utilisée (Nichols, 1994)
- Aptitude ou habileté au niveau cognitif (Durand et Chouinard, 2006; Rey, 2016)
- Inclus dans une compétence

Méthodes pour être évalués

- Ne peut pas être évalué directement
- Nécessite d'être évalué à l'aide des conséquences ou démonstrations de la mise en application

Multi-Attribute Consensus Building (MACB)

But :

- Déterminer une liste finale d'attributs portant sur le contenu visé
- Hiérarchiser des éléments selon leur importance à l'aide de l'expertise individuelle et du consensus de groupe

Processus :

- Révision, regroupement et clarification des attributs afin d'obtenir un consensus de groupe
- Hiérarchisation des attributs (*travail individuel et 2^e rencontre*)

Exemples d'attributs tirés de la recherche de Loy et de Lambert-Chan (2016)

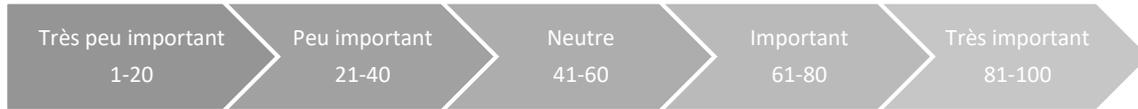
Concepts prescrits de 6^e année du primaire et de la 1^{ère} année du secondaire

- Trouver un pourcentage
- Multiplier
- Trouver des fractions
- Calculer l'aire
- Soustraire
- équivalentes
- Diviser
- Additionner

Tableau 0.1 Tableau de spécifications de l'épreuve portant sur la physique mécanique dynamique basé sur les documents de référence ministériels (MELS, 2007d, 2011a, 2011b)

Concepts prescrits	Savoir-faire	Attributs
Diagramme de corps libre	– Représenter les forces qui s'exercent sur un corps à l'aide de vecteurs	
Équilibre et résultante de plusieurs forces	<ul style="list-style-type: none"> – Déterminer la grandeur et l'orientation du vecteur associé à la force résultante d'un système de forces – Déterminer la grandeur et l'orientation du vecteur associé à la force équilibrante d'un système de forces 	
Force de frottement	– Déterminer la valeur de la force de frottement dans une situation donnée (force de frottement = force motrice - force résultante)	
Force gravitationnelle	– Associer la chute libre d'un corps à l'effet de la force gravitationnelle	

Échelle des valeurs accordées pour les attributs selon la MACB



Attribut ayant la plus grande importance (sera l'attribut de référence avec la valeur de 100) :

Attribut de référence : _____

2) Travail individuel

- Accorder une valeur à chacun des attributs selon leur niveau d'importance.
- Utiliser l'attribut de référence comme norme pour établir l'importance des autres attributs.
- La valeur accordée à chaque attribut doit être inscrite dans le document *Excel* qui vous sera envoyé. Vous ne pourrez voir que vos valeurs. La chercheuse pourra voir les valeurs accordées par les experts afin d'en faire une moyenne.
- Lors de notre prochaine rencontre, chaque attribut aura une valeur moyenne. Les attributs ayant une valeur en haut de 90 seront gardés, ceux ayant une valeur en bas de 50 seront éliminés. Les attributs entre 50 et 90 nécessiteront des échanges entre les experts afin de déterminer s'ils sont à garder ou à éliminer.
- *Vous devez remettre ce document au plus tard dans 1 semaine.*

Exemple du tableau à remplir par les experts et tableau de compilation

n°	Énoncés	Valeur
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

n°	Énoncés	Valeur expert 1	Valeur expert 2	Valeur expert 3	Moyenne
1		0	0	0	0
2		0	0	0	0
3		0	0	0	0
4		0	0	0	0
5		0	0	0	0
6		0	0	0	0
7		0	0	0	0
8		0	0	0	0
9		0	0	0	0
10		0	0	0	0
11		0	0	0	0
12		0	0	0	0
13		0	0	0	0
14		0	0	0	0
15		0	0	0	0

ANNEXE E

Document de compilation des valeurs attribuées par les experts

Figure 0.1 Exemple du tableau à remplir par chacun des experts

n°	Énoncés	Valeur
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Figure 0.2 Exemple du tableau de compilation des valeurs accordées par chacun expert ainsi que la moyenne des valeurs

n°	Énoncés	Valeur expert 1	Valeur expert 2	Valeur expert 3	Moyenne
1		0	0	0	0
2		0	0	0	0
3		0	0	0	0
4		0	0	0	0
5		0	0	0	0
6		0	0	0	0
7		0	0	0	0
8		0	0	0	0
9		0	0	0	0
10		0	0	0	0
11		0	0	0	0
12		0	0	0	0
13		0	0	0	0
14		0	0	0	0
15		0	0	0	0

ANNEXE F

Rencontre 2 - Phase 1 - Hiérarchisation des attributs et élaboration des items

Étape 1 – Hiérarchisation des attributs

Lors de cette rencontre, nous reviendrons sur les valeurs attribuées à chacun des items afin de hiérarchiser les plus importants. Pour ce faire, nous utiliserons le tableur Excel.

Étape 2 – Élaboration des items

Voici les attributs ressortis comme étant les plus importants.

Tableau 0.2 Tableau de spécifications de l'épreuve portant sur la physique mécanique dynamique basé sur les documents de référence ministériels (MELS, 2007d, 2011a, 2011b)

Concepts prescrits	Savoir-faire
Diagramme de corps libre	– Représenter les forces qui s'exercent sur un corps à l'aide de vecteurs
Équilibre et résultante de plusieurs forces	– Déterminer la grandeur et l'orientation du vecteur associé à la force résultante d'un système de forces – Déterminer la grandeur et l'orientation du vecteur associé à la force équilibrante d'un système de forces
Force de frottement	– Déterminer la valeur de la force de frottement dans une situation donnée (force de frottement = force motrice - force résultante)
Force gravitationnelle	– Associer la chute libre d'un corps à l'effet de la force gravitationnelle

Votre tâche consiste à élaborer 5 tâches (que nous nommerons désormais *items*) qui pourront être résolues à l'aide des attributs du Tableau 0.2 par un élève de 5^e secondaire suivant le cours de physique. Vos items doivent contenir les concepts liés aux deux premières colonnes de chacun des attributs. Vous devez aussi fournir la résolution complète ainsi qu'entre 3 et 5 choix de réponses correspondant aux principales difficultés des élèves.

Votre résolution devra suivre les étapes suivantes :

- 1) Schéma/Représentation visuelle (si nécessaire)
- 2) Ce que je connais/Données
- 3) Ce que je cherche
- 4) Résolution
- 5) Réponses
 - a. Bonne réponse
 - b. Leurre 1 avec courte explication de la difficulté reliée
 - c. Leurre 2 avec courte explication de la difficulté reliée
 - d. Leurre 3 avec courte explication de la difficulté reliée (si nécessaire)
 - e. Leurre 4 avec courte explication de la difficulté reliée (si nécessaire)

Une feuille d'exemple sera fournie à la fin de ce document.

Voici les règles à suivre pour l'élaboration de vos items :

Énoncé de l'item	Choix de réponses
<ul style="list-style-type: none"> – La représentation visuelle est claire et précise – Vocabulaire adapté pour les répondants – Syntaxe adaptée pour les répondants – La terminologie contenue dans l'item est objective et appropriée – Ne comporte aucun concept non pertinent nécessaire à la résolution des items – L'item n'est pas écrit sous forme négative. – L'item ne fournit aucun indice non pertinent – Le niveau de difficulté de l'item est adapté pour les répondants – Ne comporte aucun sujet dérangeant, controversé ou relié aux problèmes familiaux 	<ul style="list-style-type: none"> – Les leurres proposés sont plausibles – L'item comporte de 3 à 5 choix de réponse – La bonne réponse est indéniablement bonne (les réponses numériques ne doivent pas être trop près l'une de l'autre) – Les leurres sont placés de façon aléatoire – Chacun des choix est concis et homogène par rapport aux autres choix de l'item – Aucun lien artificiel entre l'item et les choix de réponses (féminin/masculin, singulier/pluriel)

Les 5 items doivent être envoyés à la chercheuse au plus tard le _____..

Item n°	Attribut(s) :
<u>Énoncé</u>	
<u>Schéma (si nécessaire)</u>	<u>Ce que je connais/Données</u>
<u>Ce que je cherche</u>	

Résolution

Réponses

<u>Choix de réponse</u>	<u>Bonne réponse ou difficulté reliée</u>
<u>a)</u>	
<u>b)</u>	
<u>c)</u>	
<u>d)</u>	
<u>e)</u>	

ANNEXE G

Rencontre 3 - Phase 1 - Révision des items

Voici les items que nous avons élaborés. Notre tâche consiste à réviser la résolution complète de ces 15 items. Si d'autres leurrés que ceux fournis peuvent être ajoutés en lien avec les principales difficultés des élèves, nous pourrions les ajouter dans les choix proposés. À la fin, nous vérifierons si les règles d'écriture ont été suivies.

Énoncé de l'item	Oui	Non	Explication
Item n° Énoncé :			
La représentation visuelle est claire et précise			
Vocabulaire adapté pour les répondants			
Syntaxe adaptée pour les répondants			
La terminologie contenue dans l'item est objective et appropriée			
Ne comporte aucun concept non pertinent nécessaire à la résolution des items			
L'item n'est pas écrit sous forme négative.			
L'item ne fournit aucun indice non pertinent			
Le niveau de difficulté de l'item est adapté pour les répondants			
Ne comporte aucun sujet dérangeant, controversé ou relié aux problèmes familiaux			

Choix de réponses	Oui	Non	Explication
Les leurres proposés sont plausibles			
L'item comporte de 3 à 5 choix de réponse			
La bonne réponse est indéniablement bonne (les réponses numériques ne doivent pas être trop près l'une de l'autre)			
Chacun des choix est concis et homogène par rapport aux autres choix de l'item			
Aucun lien artificiel entre l'item et les choix de réponses (féminin/masculin, singulier/pluriel)			

Contenus présents

- Diagramme de corps libre
 - Représenter les forces qui s'exercent sur un corps à l'aide de vecteurs
- Équilibre et résultante de plusieurs forces
 - Déterminer la grandeur et l'orientation du vecteur associé à la force résultante d'un système de forces
 - Situation en équilibre
- Force de frottement
 - Déterminer la valeur de la force de frottement dans une situation donnée
- Force gravitationnelle
 - Associer la chute libre d'un corps à l'effet de la force gravitationnelle

Commentaire

Résolution

Choix de réponse

ANNEXE H

Lettre d'informations et formulaire de consentement pour la participation des élèves à la séance d'informations

6 février 2023

Laval, Québec

Bonjour chers parents,

La classe de physique de votre enfant a été sélectionnée afin de prendre part à l'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive dans le cadre d'une recherche de maîtrise. Celle-ci permettra de déceler les processus cognitifs en difficultés pour des élèves de 5^e secondaire suivant le cours de physique, plus particulièrement dans le domaine de la mécanique dynamique. L'expérimentation aura lieu à la fin du printemps 2023.

Cette présente lettre a pour but d'obtenir votre consentement à la participation de votre enfant à la prévalidation de cette épreuve qui aura lieu au printemps 2023.

Je m'appelle Geneviève St-Onge-Ross. Depuis 2013, je suis enseignante en sciences et technologies au secondaire au Collège Letendre à Laval, plus particulièrement en physique, et depuis l'hiver 2020, étudiante à la maîtrise en éducation à l'UQAM. Le sujet de mon mémoire porte sur les difficultés des élèves suivant le cours de physique de 5^e secondaire et sur l'utilisation d'une évaluation diagnostique cognitive pour identifier ces difficultés. Une épreuve diagnostique cognitive consiste à dépister les forces et les faiblesses des élèves en ce qui concerne leurs processus cognitifs (stratégies, habiletés, raisonnement) pour mettre en place un plan de remédiation en cohérence avec les difficultés soulevées. Ce projet est réalisé sous la direction de Dan Thanh Duong Thi, professeur du département d'éducation et pédagogie de la Faculté de l'éducation de l'UQAM.

La clientèle est les élèves de 5^e secondaire et le contenu de l'épreuve est celui prescrit dans le programme de formation de l'école québécoise pour le cours de physique de 5^e secondaire. Votre enfant aura l'opportunité d'expérimenter chacune des questions de l'épreuve, de fournir les principales résolutions d'une élève, de ressortir les principales erreurs et de fournir des commentaires sur l'épreuve. Celle-ci est d'une durée de 75 minutes et sera réalisée simultanément pour tous les participants lors d'une période en classe. Lors de leur résolution, les élèves devront énoncer à haute voix leur raisonnement cognitif qui sera enregistré à l'aide d'une enregistreuse numérique et puis choisir une réponse parmi ceux proposés.

Après avoir reçu votre autorisation, celle de la direction pédagogique ainsi que de l'enseignant, une séance d'information de 40 minutes aura lieu afin de présenter la recherche et les étapes de la prévalidation. Le nombre de participants sera de 8 élèves faisant partie d'un même groupe.

Le formulaire de consentement pour personne mineure est fourni à la page suivante et devra être signé par vous afin que votre enfant puisse assister à la séance d'information ainsi que participer à la prévalidation de l'épreuve diagnostique cognitive.

Le contenu de l'épreuve portera sur le thème de la *Mécanique*, orientation *Dynamique*

À plus grande échelle, la participation de votre enfant permettra de faire avancer la recherche du dépistage des difficultés d'apprentissage de la physique et de l'évaluation basée sur l'approche diagnostique cognitive dans une optique de réussite pour tous.

L'anonymat des élèves sera garanti tout le long de la prévalidation à l'aide d'un numéro attribué à chacun des élèves. Les données récoltées seront conservées pour toute la durée de la recherche et seront par la suite détruites, soit en hiver 2024. Votre enfant pourra en tout temps se retirer de la recherche.

Aucune compensation financière ne sera accordée pour la participation de votre enfant.

Le formulaire de consentement en pièce jointe devra être remis au plus tard dans 1 semaine.

Pour toute question, vous pouvez me rejoindre au st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca.

Cordialement,

Geneviève St-Onge-Ross

Étudiante à la *Maitrise en Éducation* à l'*Université du Québec à Montréal*

Concentration *Éducation et Pédagogie*

Profil *Recherche*

Courriel : st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT
Parent / représentant légal d'une personne mineure

Titre du projet de recherche

Élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive pour dépister les difficultés d'apprentissage des élèves de 5e secondaire en physique

Étudiant-chercheur

Geneviève St-Onge-Ross,
Maîtrise en éducation, Concentration
Éducation et Pédagogie, Profil Recherche
Courriel :
st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca

Direction de recherche

Ce projet est réalisé sous la direction de Dan Thanh Duong Thi, professeur en mesure et évaluation du département d'éducation et pédagogie de la Faculté de l'éducation de l'UQAM.
Téléphone : (514) 987-3000, poste 7985
Courriel : duong_thi.dan_thanh@uqam.ca

Préambule

Nous invitons votre enfant à participer à un projet de recherche. Avant d'accepter qu'il participe à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement à titre de parent / représentant légal du participant, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire de consentement vous présentera le projet ainsi que ses objectifs, la nature et la durée de la participation du répondant, les avantages et les risques liés à la participation du participant, la participation volontaire et la possibilité de retrait, les mesures de confidentialité et d'anonymat mises en application, l'utilisation des données secondaires, la compensation pour la participation du répondant de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le présent formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles.

Description du projet et de ses objectifs

Description du projet :

Cette recherche a pour but de déterminer dans quelle mesure l'élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive selon la méthode déductive permettrait-elle de dépister les difficultés des élèves en physique de 5e secondaire.

Une épreuve diagnostique cognitive consiste à dépister les forces et les faiblesses des élèves en ce qui concerne leurs processus cognitifs (stratégies, habiletés, raisonnement) pour mettre en place un plan de remédiation en cohérence avec les difficultés soulevées.

Objectifs du projet :

- Ressortir les processus cognitifs (attributs) utilisés lors de la résolution de problème relevant de la physique dynamique.
- Composer des tâches (items) représentant adéquatement le domaine de la physique dynamique pouvant être résolues avec les attributs ressortis précédemment.
- Confectionner une ébauche d'une matrice Q permettant de faire ressortir les profils diagnostiques des répondants.

Déroulement du projet :

- Le projet sera divisé en deux grandes phases d'expérimentation :
 - Phase 1 : Identification des attributs et élaboration d'items
 - Phase 2 : Prévalidation des items
 - Séance d'information (Phase 2.1)
 - Prévalidation (Phase 2.2.)

La participation du répondant se situe dans la Phase 2 - Prévalidation des items

Population ciblée :

Élève de 5e secondaire suivant le cours de physique

Date :

Printemps 2023

Nombre de participants :

Un total de 8 élèves faisant partie d'un même groupe.

Durée :

Une séance d'informations de 40 minutes lors d'une période classe (Phase 2.1)

Une expérimentation de l'épreuve (prévalidation) de 75 minutes lors d'une période classe (Phase 2.2)

Nature et durée de la participation de votre enfant

Nombre de rencontres :

- Un total de deux rencontres sera nécessaire :
 - Une séance d'information
 - L'expérimentation de l'épreuve (Phase 2.2)

Déroulement :

Séance d'information

- La séance d'information permettra de présenter la recherche ainsi que les objectifs recherchés. Les élèves connaîtront les retombées envisagées, les aspects considérant la confidentialité, le droit de retrait ainsi que les considérations éthiques. La séance d'information se terminera par une simulation afin que les élèves expérimentent ce qu'il leur sera demandé lors de

l'expérimentation. De ce fait, une question sera affichée à l'avant de la classe. La chercheuse responsable de l'épreuve modélisera la résolution de la question en écrivant la résolution de la question au tableau tout en décrivant à voix haute son raisonnement cognitif. Les élèves seront finalement invités à poser toutes les questions afin qu'ils comprennent quelle sera leur participation.

L'expérimentation de l'épreuve

- *Les élèves seront placés individuellement dans la salle de classe. Chaque élève aura un document de l'élève, une calculatrice, des crayons à la mine avec efface, des surligneurs, une enregistreuse numérique et un casque avec micro. Après avoir fait les rappels nécessaires, la chercheuse responsable de l'épreuve demandera de mettre en marche l'enregistreuse numérique et de commencer l'épreuve. Les élèves devront répondre à 10 questions à l'aide de leur démarche manuscrite. Lors de leur résolution, les élèves devront énoncer à haute voix leur raisonnement cognitif qui sera enregistré à l'aide d'une enregistreuse numérique et puis choisir une réponse parmi ceux proposés.*

Contenu :

Le contenu de l'épreuve est celui prescrit dans le programme de formation de l'école québécoise pour le cours de physique de 5e secondaire. Il portera sur le thème de la Mécanique, orientation Dynamique

Lieu où se dérouleront la séance d'information et la participation de votre enfant :

À l'école, dans une salle de classe

Avantages liés à la participation

Il se peut que votre enfant retire un bénéfice personnel de sa participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons vous l'assurer. Par ailleurs, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans le domaine du dépistage des difficultés d'apprentissage de la physique et de l'évaluation basée sur l'approche diagnostique cognitive dans une optique de réussite pour tous.

Risques liés à la participation

En principe, aucun risque n'est lié à la participation de votre enfant à cette recherche.

Participation volontaire et possibilité de retrait

La participation de votre enfant à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser qu'il y participe. Vous pouvez également le retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision à la chercheuse responsable de ce projet. Votre enfant peut également choisir de se retirer de ce projet de son propre chef, sans justification et sans pénalité d'aucune forme, et ce nonobstant votre consentement. Le retrait d'un participant peut se faire de vive voix ou par courriel avant, pendant ou après la passation. Toutes les données le concernant seront détruites.

Confidentialité

Durant la participation de votre enfant à ce projet de recherche, la chercheuse responsable de ce projet recueillera, à l'aide du document de l'élève, les résolutions manuscrites aux questions posées. De plus, il recueillera les enregistrements audios à l'aide de l'enregistreuse numérique. Seule elle aura accès aux données écrites et audios.

Seuls les renseignements nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet seront recueillis. Les informations personnelles ne seront connues que des chercheurs et ne seront pas dévoilées lors de la diffusion des résultats. Les verbatims des enregistrements audios ainsi que les documents de l'élève seront numérotés et seuls les chercheurs auront la liste des participants et du numéro qui leur aura été attribué. Les documents de l'élève l'entrevue seront conservés sous clef durant la durée de l'étude. Les enregistrements audios seront conservés sur l'ordinateur de la chercheuse responsable et seront protégés par un code d'accès connu que par la chercheuse responsable. L'ensemble des documents et des enregistrements seront détruits 1 an après la dernière communication scientifique.

Utilisation secondaire des données

Acceptez-vous que les données de recherche soient utilisées pour réaliser d'autres projets de recherche dans le même domaine ?

Oui Non

Ces projets de recherche seront évalués et approuvés par un Comité d'éthique de la recherche de l'UQAM avant leur réalisation. Les données de recherche seront conservées de façon sécuritaire. Afin de préserver l'identité de votre enfant et la confidentialité des données de recherche, votre enfant ne sera identifié que par un numéro de code.

Acceptez-vous que les données de recherche soient utilisées dans le futur par d'autres chercheurs à ces conditions?

Oui Non

Possibilité de commercialisation des résultats

Les résultats de la recherche découlant de participation de votre enfant pourraient conduire à la création d'un nouvel outil de diagnostic cognitif à des fins commerciales. Cependant vous et votre enfant ne pourrez pas en retirer aucun avantage financier.

Indemnité compensatoire

Aucune indemnité compensatoire ne sera accordée pour la participation de votre enfant.

Des questions sur le projet?

Pour toute question additionnelle sur le projet et sur la participation de votre enfant, vous pouvez communiquer avec les responsables du projet : Geneviève St-Onge-Ross (st-ong_ross.genevieve@courrier.uqam.ca) et Dan Thanh Duong Thi, ((514) 987-3000, poste 7985, duong_thi.dan_thanh@uqam.ca)

Des questions sur vos droits ? Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE) a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche du point de vue de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la coordination du CERPE : cerpe-pluri@uqam.ca.

Remerciements

Votre collaboration est essentielle à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier.

Consentement

- Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de la participation de mon enfant, ainsi que les risques et les inconvénients auxquels il s'expose tel que présenté dans le présent formulaire.
- J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à ma satisfaction.
- J'ai discuté du projet avec mon enfant et il a accepté d'y participer volontairement.
- Je, soussigné(e), accepte volontairement que mon enfant participe à cette étude. Il peut se retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision.

Une copie signée de ce formulaire d'information et de consentement doit m'être remise.

Prénom Nom du représentant légal

Prénom Nom de l'enfant

Signature

Assentiment écrit de l'enfant capable de comprendre la nature du projet

Date

Date

Je veux être informé lors de la publication de cette étude : (inscrire adresse courriel)

Engagement du chercheur (Phase 2)

Je, soussigné(e) certifie

(a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire; (b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;

(c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à la participation de son enfant au projet de recherche décrit ci-dessus;

(d) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.

Prénom Nom

Signature

Date

ANNEXE I

Document – Tâche de l'élève

Évaluation diagnostique cognitive – Physique mécanique dynamique

Numéro de l'élève : _____

Durée : 60 minutes

Consignes :

- Assurez-vous de lire attentivement toutes les consignes
- Vous devez résoudre de manière écrite chacune des questions
- Vous devez, lors de votre résolution, exprimer à voix haute le raisonnement mental que vous faites.
- Vous devez encrer une réponse parmi celles proposées correspondantes au résultat que vous avez obtenu.
- Si aucune réponse ne correspond, encrer le choix « Autre » et inscrire votre réponse sur la ligne destinée à cet effet
- Vous pouvez exprimer vos commentaires en tout temps en les écrivant sur le document ou en les exprimant à voix haute
- L'utilisation de la calculatrice non graphique est permise
- Les formules en lien avec la matière sont fournies à la p.3 du document
- Vous avez une heure pour répondre aux questions.
- Vous devez attendre le signal du responsable de l'évaluation avant de tourner la page.

Énoncé

Schéma (si nécessaire)

Ce que je connais/Données

Ce que je cherche

Résolution

ANNEXE J

Validation du contenu des items

Item n°
Énoncé :

Contenus présents

- _____
- _____
- _____

Autre : _____

ANNEXE K

Lettre de candidature non retenue pour les élèves participants

6 février 2023

Laval, Québec

Madame,
Monsieur,

J'ai bien reçu votre intérêt à participer à la recherche portant sur le développement d'une épreuve diagnostique cognitive en physique de 5^e secondaire : *Élaboration d'une épreuve diagnostique cognitive pour dépister les difficultés d'apprentissage des élèves de 5e secondaire en physique.*

Je vous remercie de l'intérêt porté à cette recherche et à l'avance des connaissances dans le domaine de la physique, des difficultés d'apprentissage et du dépistage cognitif de ces difficultés.

Malheureusement, la présente est pour vous informer que votre candidature n'a pas été retenue dû au trop grand nombre de candidatures reçu.

Pour toute question, vous pouvez me rejoindre au st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca.

Je vous souhaite une fin d'année scolaire remplie de succès.

Veillez agréer l'expression de mes salutations distinguées.

Geneviève St-Onge-Ross

Étudiante à la *Maitrise en Éducation à l'Université du Québec à Montréal*
Concentration *Éducation et Pédagogie*

Profil *Recherche*

Courriel : st-onge_ross.genevieve@courrier.uqam.ca

ANNEXE L

Document – Tâche de l'élève

Évaluation diagnostique cognitive – Physique mécanique dynamique

Numéro de l'élève : _____

Durée : 60 minutes

Consignes :

- Assurez-vous de lire attentivement toutes les consignes
- Vous devez résoudre de manière écrite chacune des questions
- Vous devez, lors de votre résolution, exprimer à voix haute le raisonnement mental que vous faites.
- Vous devez encrer une réponse parmi celles proposées correspondantes au résultat que vous avez obtenu.
- Si aucune réponse ne correspond, encrer le choix « Autre » et inscrire votre réponse sur la ligne destinée à cet effet
- Vous pouvez exprimer vos commentaires en tout temps en les écrivant sur le document ou en les exprimant à voix haute
- L'utilisation de la calculatrice non graphique est permise
- Vous avez une heure pour répondre aux questions.
- Vous devez attendre le signal du responsable de l'évaluation avant de tourner la page.

Toutes les situations sont en équilibre.

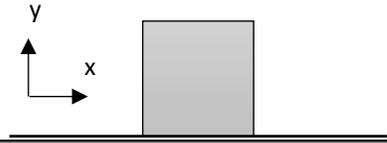
$$F_g = mg$$

$$g = 9,8 \text{ N/kg}$$

Énoncé – Item 1

Une masse en équilibre est immobile sur une surface plane.

– Quel est le DCL de la masse?



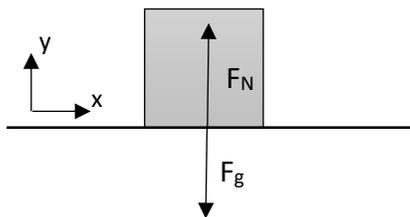
Résolution

Réponses

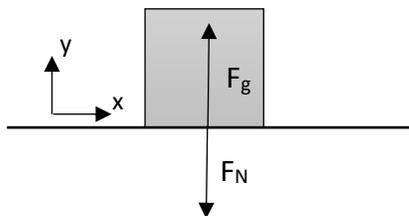
a)



b)



c)



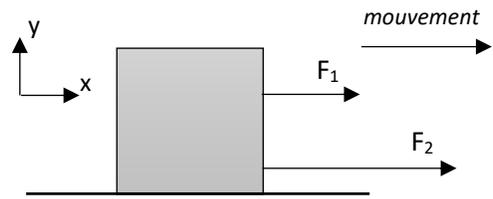
d) Autre (dessiner)

Commentaires

(Chacun des items était suivi d'une page Commentaires identique à celle-ci. Elle a cependant été enlevée.)

Énoncé– Item 2

On pousse une masse posée sur le sol à l'aide de deux forces : $F_1 = 23 \text{ N}$ à 0° et $F_2 = 54 \text{ N}$ à 0° tel que montré sur la figure. La masse est en équilibre et avance à vitesse constante.



- Quelle est la norme et l'orientation de la force de frottement exercée sur la masse ?

Données

Résolution

Réponses

a) $F_f = 31 \text{ N}$ à 0°

b) $F_f = 31 \text{ N}$ à 180°

c) $F_f = 77 \text{ N}$ à 0°

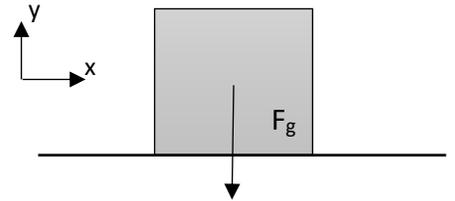
d) $F_f = 77 \text{ N}$ à 180°

e) $F_f =$ _____

Énoncé – Item 3

Une masse, en équilibre et immobile au sol, subie une force gravitationnelle de 28N.

- Quelle est la norme et l'orientation de la force normale subie par cette masse?



Données

Résolution

Réponses

a) $F_N = 0\text{N}$

b) $F_N = 28\text{N}$ à 0°

c) $F_N = 28\text{N}$ à 90°

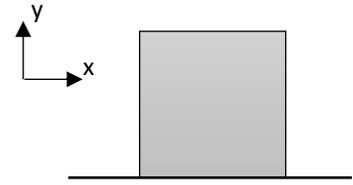
d) $F_N = 28\text{N}$ à 270°

e) Autre : $F_N =$ _____

Énoncé – Item 4

Une masse est placée en équilibre et immobile de 10 kg au sol.

- Quelle est la norme et l'orientation de la force de gravité exercée par la masse?



Données

Résolution

Réponses

a) $F_g = 0,98\text{N}$ à 270°

b) $F_g = 9,8\text{N}$ à 270°

c) $F_g = 10\text{N}$ à 90°

d) $F_g = 98\text{N}$ à 90°

e) $F_g = 98\text{N}$ à 270°

f) $F_g =$ _____

Énoncé– Item 5

On pousse une masse posée sur le sol à l'aide de deux forces : $F_1 = 30\text{N}$ à 0° et $F_2 = 62\text{N}$ à 0° tel que montré sur la figure. La masse est en équilibre et avance à vitesse constante.



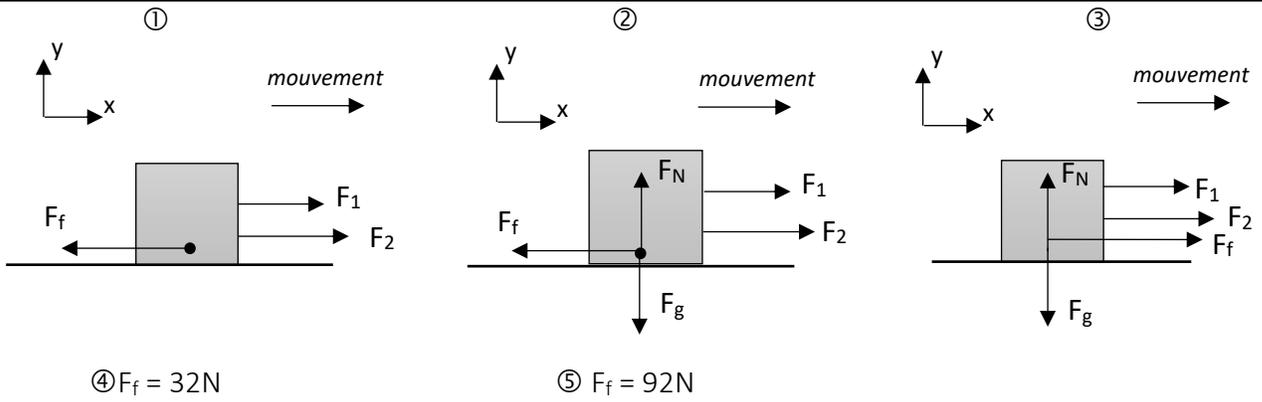
- Quel est le DCL de la masse?
- Quelle est la norme de la force de frottement exercée sur la masse?

Choisir la bonne combinaison parmi les DCL et les normes de la force de frottement.

Données

Résolution

Choix



Réponses

a) ① et ④

b) ① et ⑤

c) ② et ④

d) ② et ⑤

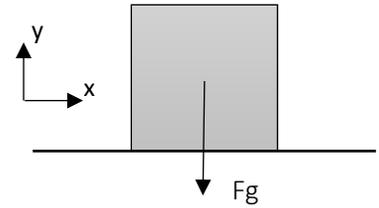
e) ③ et ⑤

f) Autre = _____

Énoncé – Item 6

Une masse exerçant une force gravitationnelle de 42N à 270° est en équilibre et immobile au sol.

- Quel est le DCL de la masse?
- Quelle est la norme de la force normale subie par la masse?

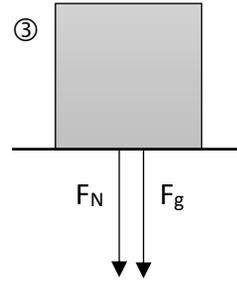
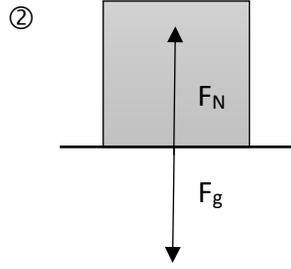
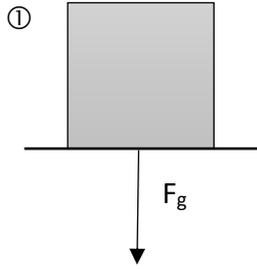


Choisi la bonne combinaison parmi les DCL et les forces normales.

Données

Résolution

Choix



④ $F_N = 42 \text{ N}$

⑤ $F_N = 0 \text{ N}$

Réponses

a) ① ⑤

b) ② ④

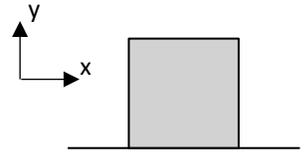
c) ② ⑤

d) Autre :

Énoncé– Item 7

Une masse en équilibre et immobile de 10 kg est posée au sol.

- Quel est le DCL de la masse?
- Quelle est la norme de la force de gravité exercée par la masse?



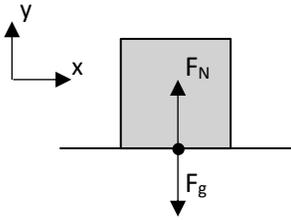
Choisir la bonne combinaison parmi les DCL et les normes de la force de gravité.

Données

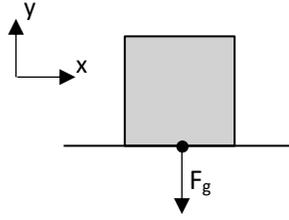
Résolution

Choix

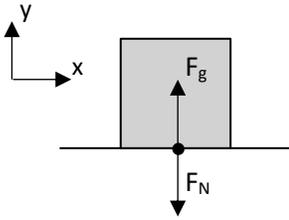
①



②



③



④ $F_g = 98\text{N}$

⑤ $F_g = 9,8\text{N}$

⑥ $F_g = 10\text{N}$

Réponses

a) ①④

b) ①⑤

c) ②④

d) ②⑥

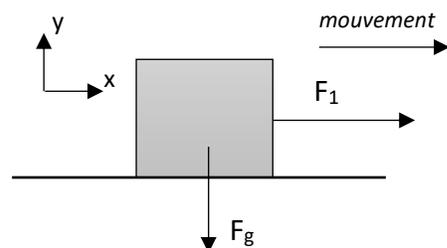
e) ③⑥

f) Autre =

Énoncé– Item 8

Une masse en équilibre exerçant une force de gravité de 147N à 270° est poussée à vitesse constante par une force F_1 de 22 N à 0° . Quelle est la norme et l'orientation de la :

- Force de frottement exercée sur la masse?
- Force normale subie par la masse?



Données

Résolution

Réponses

a) $F_N = 147\text{N}$ à 90°

$F_f = 22\text{N}$ à 0°

b) $F_N = 147\text{N}$ à 90°

$F_f = 22\text{N}$ à 180°

c) $F_N = 147\text{N}$ à 270°

$F_f = 22\text{N}$ à 180°

d) $F_N = 169\text{N}$ à 90°

$F_f = 22\text{N}$ à 180°

e) $F_N = 169\text{N}$ à 90°

$F_f = 147\text{N}$ à 180°

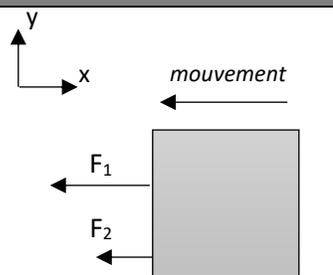
f) $F_N =$ _____

$F_f =$ _____

Énoncé– Item 9

Une masse en équilibre de 132 kg est poussée à vitesse constante par une force F_1 de 100 N à 180° et une force F_2 de 25 N à 180° . Quelle est la norme et l'orientation de la :

- Force de frottement exercée sur la masse?
- Force de gravité exercée par la masse?



Données

Résolution

Réponses

a) $F_f = 75\text{N}$ à 0°
 $F_g = 1293,6\text{N}$ à 270°

b) $F_f = 125\text{N}$ à 0°
 $F_g = 132\text{N}$ à 270°

c) $F_f = 125\text{N}$ à 0°
 $F_g = 1293,6\text{N}$ à 90°

d) $F_f = 125\text{N}$ à 0°
 $F_g = 1293,6\text{N}$ à 270°

e) $F_f = 125\text{N}$ à 180°
 $F_g = 1293,6\text{N}$ à 270°

f) $F_f =$ _____

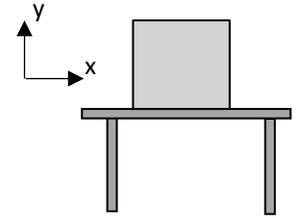
 $F_g =$ _____

Énoncé— Item 10

Une masse en équilibre et immobile de 20 kg est posée sur une table.

Quelle est la norme et l'orientation de la :

- Force de gravité exercée par la masse?
- Force normale subie par la masse?



Données

Résolution

Réponses

a) $F_g = 9,8\text{N}$ à 270°
 $F_N = 9,8\text{N}$ à 90°

b) $F_g = 9,8\text{N}$ à 270°
 $F_N = 196\text{N}$ à 90°

c) $F_g = 20\text{N}$ à 90°
 $F_N = 20\text{N}$ à 270°

d) $F_g = 196\text{N}$ à 90°
 $F_N = 196\text{N}$ à 270°

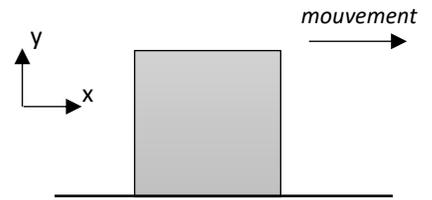
e) $F_g = 196\text{N}$ à 270°
 $F_N = 196\text{N}$ à 90°

f) $F_g =$ _____
 $F_N =$ _____

Énoncé— Item 11

On pousse avec une force de 14N une masse en équilibre au sol exerçant une force gravitationnelle de 147N à 270° à vitesse constante.

- Quel est le DCL de la masse?
- Quelle est la norme de la
 - Force de la normale subie par la masse?
 - Force de frottement exercée sur la masse?



Choisir la bonne combinaison parmi les DCL et les normes de la force normale et de frottement.

Données

Résolution

Choix

<p>①</p>	<p>②</p>	<p>③</p>
<p>④ $F_N = 147\text{N}$</p> <p>⑤ $F_N = 161\text{N}$</p>	<p>⑥ $F_N = 14\text{N}$</p>	<p>⑦ $F_f = 14\text{N}$</p> <p>⑧ $F_f = 147\text{N}$</p>

Réponses

a) ①④⑦

b) ①⑤⑦

c) ②⑥⑧

d) ③④⑧

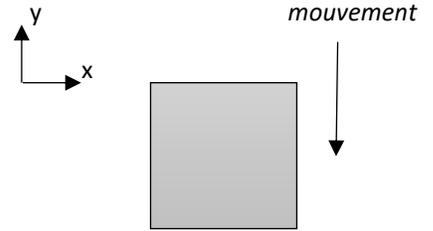
e) ③⑤⑦

f) Autre :

Énoncé – Item 12

Une masse de 20 kg tombe à vitesse constante.

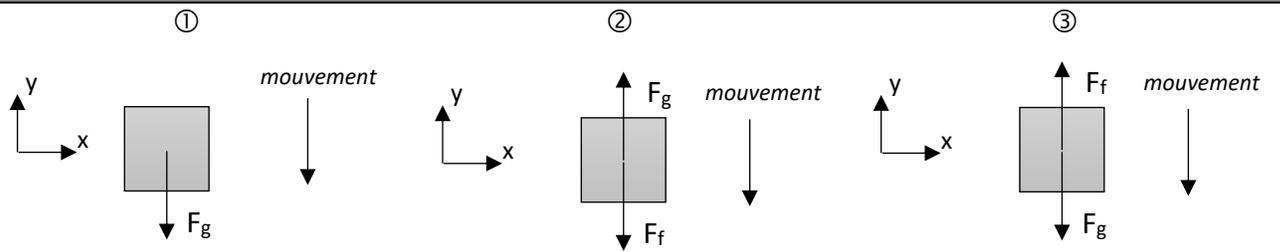
- Quel est le DCL de la masse?
- Quelle est la norme de la :
 - Force gravitationnelle exercée par la masse?
 - Force de frottement exercée par l'air sur la masse?



Données

Résolution

Choix



④ $F_g = 0,49 \text{ N}$

⑤ $F_g = 196 \text{ N}$

⑥ $F_f = 0 \text{ N}$

⑦ $F_f = 0,49 \text{ N}$

⑧ $F_f = 196 \text{ N}$

Réponses

a) ① ⑤ ⑥

b) ② ④ ⑦

c) ② ⑤ ⑧

d) ③ ④ ⑦

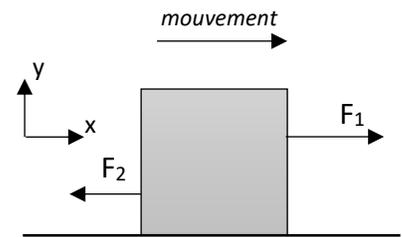
e) ③ ⑤ ⑧

f) Autre :

Énoncé – Item 13

Deux personnes poussent une masse de 40 kg posée sur le sol à l'aide de deux forces : $F_1 = 25\text{N}$ à 0° et $F_2 = 12\text{N}$ à 180° tel que montré sur la figure. La masse est en équilibre et avance à vitesse constante. Quelle est la norme et l'orientation de le :

- Force de frottement exercée sur la masse?
- Force de gravité exercée par la masse?
- Force de normale subie par la masse?



Données

Résolution

Réponses

g) $F_f = 37\text{N}$ à 180°
 $F_g = 392\text{N}$ à 270°
 $F_N = 0\text{N}$

h) $F_f = 13\text{N}$ à 180°
 $F_g = 392\text{N}$ à 270°
 $F_N = 392\text{N}$ à 90°

i) $F_f = 13\text{N}$ à 180°
 $F_g = 392\text{N}$ à 90°
 $F_N = 392\text{N}$ à 270°

j) $F_f = 13\text{N}$ à 180°
 $F_g = 24,5\text{N}$ à 270°
 $F_N = 24,5\text{N}$ à 90°

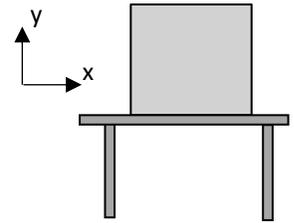
k) $F_f = 37\text{N}$ à 180°
 $F_g = 24,5\text{N}$ à 270°
 $F_N = 24,5\text{N}$ à 90°

l) $F_f =$ _____
 $F_g =$ _____
 $F_N =$ _____

Énoncé– Item 14

Une masse en équilibre et immobile de 65 kg est posée sur une table.

- Quel est le DCL de la masse?
- Quelle est la norme de la
 - Force de gravité exercée par la masse?
 - Force normale subie par la masse?



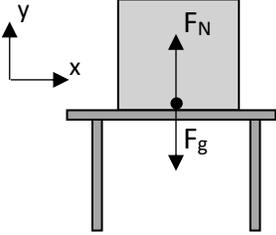
Choisir la bonne combinaison parmi les DCL et les normes de la force de gravité et de la force normale.

Données

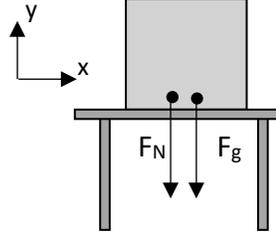
Résolution

Choix

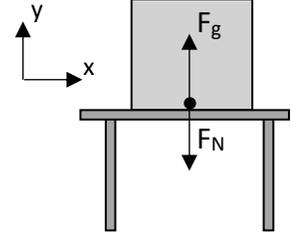
①



②



③



④ $F_N = 9,8 \text{ N}$

⑥ $F_N = 637 \text{ N}$

⑦ $F_g = 9,8 \text{ N}$

⑨ $F_g = 65 \text{ N}$

⑤ $F_N = 65 \text{ N}$

⑧ $F_g = 637 \text{ N}$

Réponses

a) ① ④ ⑦

b) ① ⑤ ⑨

c) ① ⑥ ⑧

d) ② ⑥ ⑧

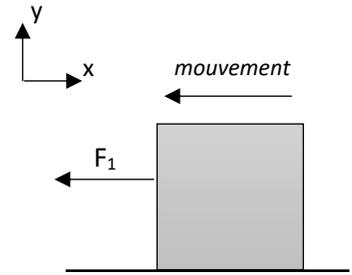
e) ③ ⑥ ⑨

f) Autre =

Énoncé— Item 15

Une masse de 13 kg se déplace à vitesse constante est en équilibre sous l'effet d'une force $F_1 = 100\text{N}$ à 180° .

- Quel est le DCL de la masse?
- Quelle est la norme de la
 - Force de frottement exercée sur la masse?
 - Force gravitationnelle exercée par la masse?
 - Force normale subie par la masse?



Choisir la bonne combinaison parmi les DCL et les normes de la force normale et de frottement.

Données

Résolution

Choix

<p>①</p>	<p>②</p>	<p>③</p>
<p>④ $F_f = 100\text{N}$</p> <p>⑤ $F_f = 13\text{N}$</p>		<p>⑥ $F_N = 127,4\text{N}$</p> <p>⑦ $F_N = 13\text{N}$</p>

Réponses

a) ①④⑥

b) ①⑤⑥

c) ②⑤⑥

d) ③④⑦

e) ③⑤⑦

f) Autre :

RÉFÉRENCES

- Aguzzi, A. et Dintinger, J. (2015). *Le principe d'inertie et les préconceptions des élèves : une séquence d'enseignement* [Mémoire Professionnel de Master, Haute école pédagogique du canton de Vaud]. <https://doi.org/10.22005/bcu.16632>
- Almakari, A. (s. d.). *Pour une meilleure utilisation pédagogique des questionnaires à choix multiples*. Université Ibn Zohr. https://www.researchgate.net/profile/Ahmed-Almakari/publication/348559253_Pour_une_meilleure_utilisation_pedagogique_des_questionnaires_a_choix_multiples/links/600481b4a6fdccdc8607c7f/Pour-une-meilleure-utilisation-pedagogique-des-questionnaires-a-choix-multiples.pdf
- American Educational Research Association, American Psychological Association et National Council on Measurement in Education (Eds.). (2014). *Standards for educational and psychological testing*. American Educational Research Association.
- Ammar, A. et Youssef, H. (2018). Des outils d'évaluation formative à visée diagnostique. *Expressions*, 7, 86-96. <https://fac.umc.edu.dz/fil/images/expressions7/Amal%20AMMAR.pdf>
- Barrera, M., Shyyan, V., Liu, K. K. et Thurlow, M. L. (2008). *Reading, mathematics, and science instructional strategies for English language learners with disabilities : Insights from educators nationwide* (ELLs with Disabilities Report 19; National center on educational outcomes). University of Minnesota. <https://nceo.umn.edu/docs/OnlinePubs/MACBtool.pdf>
- Bertrand, R. et Blais, J.-G. (2004). *Modèles de mesure. L'apport de la théorie des réponses aux items*. Presses de l'Université du Québec.
- Bigras, N., Lemire, J. et Eryasa, J. (2017). Comparaison d'instruments d'observation de la qualité de services éducatifs de la petite enfance. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 37, 35-51. <https://doi.org/10.4000/dse.1680>
- Boisclair, G. et Pagé, J. (2014). *Guide des sciences expérimentales* (4^e éd.). ERPI.
- Borsboom, D. et Mellenbergh, G. J. (2007). Test validity in Cognitive Assessment. Dans J. Leighton & M. Gierl (Éds.), *Cognitive Diagnostic Assessment for Education : Theory and Applications* (p. 85-116). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511611186>

- Borteyrou, X., Rasclé, N., Bruchon-Schweitzer, M. et Collomb, P. (2006). Construction et validation d'une épreuve de groupe élaborée dans le cadre d'un « assessment center » pour des officiers de marine. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 35(4), 535-554.
<https://doi.org/10.4000/osp.1190>
- Bradshaw, L., Izsák, A., Templin, J. et Jacobson, E. (2014). Diagnosing Teachers' Understandings of Rational Numbers : Building a Multidimensional Test Within the Diagnostic Classification Framework. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 33(1), 2-14.
<https://doi.org/10.1111/emip.12020>
- Brienza, L. et Mèche, L. (2019). *L'optimisation des stratégies d'apprentissage par l'évaluation diagnostique des processus cognitifs et métacognitifs activés par l'élève dans une tâche de français au secondaire I*. [Mémoire Professionnel de Master]. Haute école pédagogique du canton de Vaud.
- Buck, G. et Tatsuoka, K. (1998). Application of the rule-space procedure to language testing : Examining attributes of a free response listening test. *Language Testing*, 15(2), 119-157.
<https://doi.org/10.1177/026553229801500201>
- Campion, D. (2015). Test production. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 533-553). Routledge.
- Champagne, M., Séguin, M., Charette, M. et Cossette, M. (2016). *OPTION science – Physique : corrigés des cahiers de savoirs et d'activités* (3^e éd.) [Cahiers de savoirs et d'activités - Corrigé]. ERPI.
- Chappel, E. et Kroiss, T. (2020). *Transfert des mathématiques à la physique : une revue des difficultés liées au concept d'équation*. [Mémoire de Master]. Haute école pédagogique du canton de Vaud.
- Chenevotot-Quentin, F., Grugeon-Allys, B. et Delozanne, E. (2009). Vers un diagnostic cognitif dynamique en algèbre élémentaire. Dans A. Kuzniak & M. Sokhna (Éds.), *Actes du colloque Espace Mathématique Francophone EMF2009, Enseignement des mathématiques et développement : Enjeux de société et de formation* (p. 827-842). <http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/ressources/actes-en-ligne/emfgt6/chenevototgrugeondelozanne.pdf>
- Chenevotot-Quentin, F., Grugeon-Allys, B., Pilet, J. et Delozanne, E. (2012). De la conception à l'usage d'un diagnostic dans une base d'exercices en ligne. Dans J.-L. Dorier et S. Coutat, *Actes du Colloque EMF 2012. Enseignement des mathématiques et contrat social : Enjeux et défis pour le*

21e siècle. (p. 808-823). Université de Genève. <https://publimath.univ-irem.fr/numerisation/ACF/ACF12074/ACF12074.pdf>

Chin, H., Chew, C. M. et Lim, H. L. (2021). Development and validation of online cognitive diagnostic assessment with ordered multiple-choice items for 'Multiplication of Time'. *Journal of Computers in Education*, 8(2), 289-316. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00180-7>

Chin, H., Chew, C. M., Lim, H. L. et Thien, L. M. (2021). Development and validation of a cognitive diagnostic assessment with ordered multiple-choice items for addition of time. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(4), 817-837. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10170-5>

Chipman, S. F., Nichols, P. D. et Brennan, R. L. (1995). Introduction. Dans S. F. Chipman, P. D. Nichols et R. L. Brennan (Éds.), *Cognitively diagnostic assessment* (1^{re} éd., p. 1-18). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203052969>

Chiu, C.-Y. (2013). Statistical Refinement of the Q-Matrix in Cognitive Diagnosis. *Applied Psychological Measurement*, 37(8), 598-618. <https://doi.org/10.1177/0146621613488436>

Choppin, B. (1975). Guessing the Answer on Objective Tests. *British Journal of Educational Psychology*, 45(2), 206-213. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1975.tb03245.x>

Christensen, L. L., Shyyan, V. V. et Stewart, K. (2018). *Developing a request for proposals for an alternate assessment of english language proficiency* [Rapport]. Wisconsin Center for Education Research, University of Wisconsin-Madison. <https://altella.wceruw.org/pubs/Developing-Request-for-Proposals.pdf>

Collège de Bois-de-Boulogne. (2020). *Préalables et taux d'admission 2019-2020 : Programmes préuniversitaires* [Brochure]. <https://www.bdeb.qc.ca/fichiers/2020/02/CO19feuillePrealables.pdf>

Collège Letendre. (2011). *Politique locale d'évaluation des apprentissages – Normes et modalités dans le contexte du bulletin unique* [Brochure]. https://www.collegeletendre.qc.ca/wp-content/uploads/2021/03/Politique_evaluation_VP2.pdf

- Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE). (2021). *Formulaire d'information et de consentement*. Le CERPÉ plurifacultaire. <https://cerpe.uqam.ca/guide-dinformation-sur-lethique/formulaire-dinformation-et-de-consentement/>
- Cook, D. A. et Beckman, T. J. (2006). Current Concepts in Validity and Reliability for Psychometric Instruments : Theory and Application. *The American Journal of Medicine*, 119(2), 166.e7-166.e16. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2005.10.036>
- Coppens, N. (2007, octobre 26). *Comment détecter les conceptions des élèves en mécanique?* [Communication orale]. Actes des 55e journées nationales de l'Union des professeurs de physique et de chimie, Paris. <https://etudiantssmt.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/3-les-conceptions-des-c3a9lc3a8ves-en-mc3a9canique.pdf>
- Cormier, C. et Pronovost, M. (2016). *Intérêt et motivation des jeunes pour les sciences : portrait des étudiants collégiaux de sciences et leur appréciation des cours du programme* [Rapport de recherche]. Cégep André-Laurendeau, Collège Jean-de-Brébeuf. <https://educ.info/xmlui/handle/11515/34716>
- Cronbach, L. J. et Meehl, P. E. (1955). Construct validity in psychological tests. *Psychological Bulletin*, 52(4), 281-302. <https://doi.org/10.1037/h0040957>
- Cureton, E. E. (1951). Validity. Dans E. F. Lindquist (Éd.), *Educational measurement* (p. 621-694). American Council on Education.
- Davidson, F. (2010). Why is Cognitive Diagnosis Necessary? A Reaction. *Language Assessment Quarterly*, 7(1), 104-107. <https://doi.org/10.1080/15434300903426755>
- de Ketele, J.-M. (2010). Ne pas se tromper d'évaluation. *Revue française de linguistique appliquée*, 15(1), 25-37. <https://doi.org/10.3917/rfla.151.0025>
- de La Torre, J. (2008). An Empirically Based Method of Q-Matrix Validation for the DINA Model : Development and Applications. *Journal of Educational Measurement*, 45(4), 343-362. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.2008.00069.x>

- de La Torre, J., Hong, Y. et Deng, W. (2010). Factors Affecting the Item Parameter Estimation and Classification Accuracy of the DINA Model. *Journal of Educational Measurement*, 47(2), 227-249. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.2010.00110.x>
- de la Torre, J. et Chiu, C.-Y. (2016). A General Method of Empirical Q-matrix Validation. *Psychometrika*, 81(2), 253-273. <https://doi.org/10.1007/s11336-015-9467-8>
- de la Torre, J. et Minchen, N. (2014). Cognitively Diagnostic Assessments and the Cognitive Diagnosis Model Framework. *Psicología Educativa*, 20(2), 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.pse.2014.11.001>
- Delacroix, E., Jolibert, A., Monnot, É. et Jourdan, P. (2021). *Marketing Research. Méthodes de recherche et d'études en marketing* (2^e éd.). Dunod. <https://www.dunod.com/entreprise-et-economie/marketing-research-methodes-recherche-et-d-etudes-en-marketing>
- Delozanne, É., Prévité, D., Grugeon-Allys, B. et Chenevotot-Quentin, F. (2010). Vers un modèle de diagnostic de compétence. *Technique et Science Informatiques*, 29, 899-938. <https://doi.org/10.3166/tsi.29.899-938>
- Demeuse, M. et Henry, G. (2004). Théorie classique des tests—Validité des mesures. Dans M. Demeuse (Éd.), *Introduction aux théories et aux méthodes de la mesure en sciences psychologiques et en sciences de l'éducation* (p. 163-172). Éditions de l'Université de Liège. <https://hdl.handle.net/20.500.12907/19120>
- Demonty, I., Fagnant, A. et Dupont, V. (2015). Analyse d'un outil d'évaluation en mathématiques : Entre une logique de compétences et une logique de contenu. *Mesure et évaluation en éducation*, 38(2), 1-29. <https://doi.org/10.7202/1036761ar>
- DeVellis, R. F. (2011). *Scale Development : Theory and applications* (3^e éd.). Sage Publications.
- Downing, S. M. et Haladyna, T. M. (Éds.). (2006). *Handbook of test development*. Lawrence Erlbaum Associates. <https://fatihegitim.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/03/hndb-t-devt.pdf>
- Drewnowski, J. (1979). Copernic et le principe de la relativité du mouvement. *Organon*, 15, 167-186.

- Durand, C. et Blais, A. (2009). La mesure. Dans B. Gauthier, *Recherche sociale : de la problématique à la collecte des données* (5^e éd., p. 227-250). Presses de l'Université du Québec.
- Durand, M.-J. et Chouinard, R. (2006). *L'évaluation des apprentissages : de la planification de la démarche à la communication des résultats*. Éditions Marcel Didier.
- Durand, M.-J. et Chouinard, R. (2012). *L'évaluation des apprentissages : De la planification de la démarche à la communication des résultats* (2^e éd.). Éditions Marcel Didier.
- Educational Testing Service. (2016). *ETS International principles for the fairness of assessments. A manual for developing locally appropriate fairness guidelines for various countries* [Manual]. Educational Testing Service. <https://www.ets.org/pdfs/about/fairness-review-international.pdf>
- El-Hassouny, E., Kaddari, F., Elachqar, A., Habibi, I. et Hassan, B. (2016). Nouvelle méthodologie basée sur trois techniques d'analyse pour le diagnostic des obstacles en mécanique au secondaire : Groupe de discussion, technique du groupe nominal et le questionnaire. *American Journal of innovative Research & Applied Sciences*, 2(8), 353-362. <https://american-jiras.com/El%20hassouni%20ManuscriptRef.2-ajiras200716.pdf>
- Embretson, S. E. (1998). A cognitive design system approach to generating valid tests : Application to abstract reasoning. *Psychological Methods*, 3(3), 380-396. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.3.3.380>
- Ericsson, K. A. (2002). Towards a procedure for eliciting verbal expression of non-verbal experience without reactivity : Interpreting the verbal overshadowing effect within the theoretical framework for protocol analysis. *Applied Cognitive Psychology*, 16(8), 981-987. <https://doi.org/10.1002/acp.925>
- Favre, D. (1995). Conception de l'erreur et rupture épistémologique. *Revue française de pédagogie*, 111, 85-94. <https://www.jstor.org/stable/41200527>
- Fédération des cégeps. (2020, août 27). *Hausse importante de la population étudiante des cégeps* [Communiqué]. <https://fedecegeps.ca/communiques/2020/08/hausse-importante-de-la-population-etudiante-des-cegeps/>

- Fontaine, S., Savoie-Zajc, L. et Cadieux, A. (2013). *Évaluer les apprentissages : démarches et outils d'évaluation pour le primaire et le secondaire*. Les éditions CEC.
- Fontaine, S., Savoie-Zajc, L. et Cadieux, A. (2020). *Évaluer les apprentissages : démarches et outils d'évaluation pour le primaire et le secondaire* (2^e éd.). Les éditions CEC.
- Fortier, N. et Leblanc, A. (2013). *Décimale 2e édition—6e année* [Cahiers de savoirs et d'activités]. ERPI.
- Fortin, M.-F. et Gagnon, J. (2016). *Fondements et étapes du processus de recherche : méthodes quantitatives et qualitatives* (3^e éd.). Chenelière éducation. <https://doi.org/10.7202/1042088ar>
- Gauthier, B. (2003). *Recherche sociale : de la problématique à la collecte des données* (4^e éd.). Presses de l'Université du Québec.
- Gierl, M. J. et Lai, H. (2015). Automatic item generation. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 410-429). Routledge.
- Giordano, Y. et Jolibert, A. (2012). Spécifier l'objet de la recherche. Dans M. L. Gavard-Perret, D. Gotteland, C. Haon et A. Jolibert (Éds.), *Méthodologie de la recherche. Réussir son mémoire ou sa thèse en sciences de gestion* (2^e éd., p. 47-86). Pearson Education.
- Gorin, J. S. (2007). Test construction and diagnostic testing. Dans J. Leighton & M. Gierl (Éds.), *Cognitive Diagnostic Assessment for Education : Theory and Applications* (p. 173-202). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511611186>
- Gouvernement du Québec. (2020a). *Conditions d'admission – Programmes d'études conduisant au diplôme d'études collégiales*. Gouvernement du Québec. http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/enseignement-superieur/collegial/Conditions-admission.pdf
- Gouvernement du Québec. (2020b). *Sciences de la nature (200.B0) : programme d'études préuniversitaires*. Gouvernement du Québec. http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/enseignement-superieur/200.B0-Sciences-nature-VF.pdf

- Graf, E. A. et van Rijn, P. W. (2015). Learning progressions as a guide for design : Recommendations based on observations from a mathematics assessment. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 169-189). Routledge.
- Grapin, N. et Sayac, N. (2017). Évaluer la maîtrise de la numération écrite chiffrée : Choix du format QCM et validité d'items d'évaluations externes. *Éducation & didactique*, 11(3), 55-72.
<https://doi.org/10.4000/educationdidactique.2836>
- Groupe des didacticiens des mathématiques du Québec (GDM). (2008, mai). *L'enseignement des mathématiques dans un contexte interdisciplinaire*. Actes du colloque du Groupe des didacticiens des mathématiques du Québec GDM 2008, Sherbrooke.
- Grugeon-Allys, B. (2016). Modéliser le profil diagnostique des élèves dans un domaine mathématique et l'exploiter pour gérer l'hétérogénéité des apprentissages en classe : Une approche didactique multidimensionnelle. *Évaluer. Journal international de Recherche en Éducation et Formation*, 2(2), 63-88. <https://doi.org/10.48782/p9c7j182>
- Grugeon-Allys, B., Pilet, J., Chenevotot, F. et Delozanne, E. (2012). Diagnostic et parcours différenciés d'enseignement en algèbre élémentaire. *Recherches en Didactique des Mathématiques, Hors série : Enseignement de l'algèbre élémentaire : bilan et perspectives*, 137-162.
<https://hal.science/hal-03759942>
- Guimont, G. (2010). La réforme de l'éducation et le renouveau pédagogique au Québec : Les faits saillants. *Pédagogie Collégiale*, 22(3), 29-34.
- Gunstone, R. F. (1987). Student understanding in mechanics : A large population survey. *American Journal of Physics*, 55(8), 691-696. <https://doi.org/10.1119/1.15058>
- Haladyna, T. M. (2004). *Developing and validating multiple-choice test items* (3^e éd.). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203825945>
- Haladyna, T. M. (2015). Item analysis for selected-reponse test items. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 392-409). Routledge.
- Hasni, A. et Potvin, P. (2015). *L'Intérêt pour les sciences et la technologie à l'école. Résultats d'une enquête auprès d'élèves du primaire et du secondaire au Québec* [Rapport de recherche]. Chaire

- de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie (CRIJEST); Savoirs UdeS. <https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/19976/2015-Hasni-Potvin-Rapport-CRIJEST.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Haynes, S. N., Richard, D. C. S. et Kubany, E. S. (1995). Content validity in psychological assessment: A functional approach to concepts and methods. *Psychological Assessment*, 7(3), 238–247. <https://doi.org/10.1037/1040-3590.7.3.238>
- Henson, R. A., Templin, J. L. et Willse, J. T. (2009). Defining a Family of Cognitive Diagnosis Models Using Log-Linear Models with Latent Variables. *Psychometrika*, 74(2), 191-210. <https://doi.org/10.1007/s11336-008-9089-5>
- Heurtaux, J. (1978). A propos de « masse inerte » et « masse de gravité ». *Revue française de pédagogie*, 45, 37-43. <https://doi.org/10.3406/rfp.1978.1680>
- Howe, R. et Ménard, L. (1993). Un nouveau paradigme en évaluation des apprentissages. *Pédagogie collégiale*, 6(3), 36-40.
- Huff, K. et Goodman, D. P. (2007). The Demand for Cognitive Diagnostic Assessment. Dans J. Leighton & M. Gierl (Éds.), *Cognitive Diagnostic Assessment for Education : Theory and Applications* (p. 19-60). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511611186>
- Huntley, R. M. et Welch, C. J. (1993). *Numerical Answer Options : Logical or Random Order?* [Communication orale]. Annual meeting of the American Educational Research Association, Atlanta. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED358136.pdf>
- Hurteau, P. et Duclos, A.-M. (2017). *Inégalité scolaire : le Québec dernier de classe ?* [Note socioéconomique]. L'Institut de recherche et d'informations socioéconomiques (IRIS). <https://www.fraserinstitute.org/sites/default/files/bulletin-des-ecoles-secondaires-du-quebec-2020.pdf>
- Irwing, P., Booth, T. et Hughes, D. J. (Éds.). (2018). *The Wiley handbook of psychometric testing : A multidisciplinary reference on survey, scale and test development*. John Wiley & Sons. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118489772>

- Jang, E. E. (2005). *A validity narrative : Effects of reading skills diagnosis on teaching and learning in the context of NG TOEFL* [Dissertation, University of Illinois].
https://www.researchgate.net/publication/33746641_A_validity_narrative_Effects_of_reading_skills_diagnosis_on_teaching_and_learning_in_the_context_of_NG_TOEFL
- Kamii, C. (1996). La théorie de Piaget et l'enseignement de l'arithmétique. *Perspective*, 26(1), 105-118.
- Kane, M. (2015). Validation strategies : Delineating and validating proposed interpretations. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 64-80). Routledge.
- Karsenti, T. et Savoie-Zajc, L. (2018). *La recherche en éducation. Étapes et approche*. (4^e éd.). Les Presses de l'Université de Montréal.
- Labrie, Y. et Emes, J. (2020). *Bulletin des écoles secondaires du Québec 2020* [Rapport]. Fraser Institute.
<https://www.fraserinstitute.org/sites/default/files/bulletin-des-ecoles-secondaires-du-quebec-2020.pdf>
- Lane, S. et Iwatani, E. (2015). Design of performance assessments in education. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 274-293). Routledge.
- Lane, S., Raymond, M. R., Haladyna, T. M. et Downing, S. M. (2015). Test development process. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 3-18). Routledge.
- Langlais, D. (2020). *Le choix du cours optionnel de science en 4e secondaire en fonction du cheminement des élèves : un élément possible de ségrégation scolaire* [Mémoire de maîtrise, Université du Québec en Outaouais]. Dépôt institutionnel de l'UQO. <https://di.uqo.ca/id/eprint/1192/>
- Larousse. (2021). Scientifique. Dans *Dictionnaire de français*.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/scientifique/71473>
- Laurier, M. D., Tousignant, R. et Morissette, D. (2005). *Les principes de la mesure et de l'évaluation des apprentissages* (3^e éd.). Gaëtan Morin.

- Leclercq, D. (2006) L'évolution des QCM. In G. Figari et L. Mottier-Lopez. *Recherches sur l'évaluation en Education*. (p. 139-146) L'Harmattan.
- Leclercq, D. (1987). *Qualité des questions et signification des scores : avec application aux QCM*. Editions Labor.
- Lee, Y.-W. et Sawaki, Y. (2009). Cognitive Diagnosis Approaches to Language Assessment : An Overview. *Language Assessment Quarterly*, 6(3), 172-189. <https://doi.org/10.1080/15434300902985108>
- Legendre, M.-F. (2001). Sens et portée de la notion de compétence dans le nouveau programme de formation. *Revue de l'Association québécoise pour l'enseignement du français langue seconde (AQEFLS)*, 23(1), 12-30.
- Leighton, J. P. (2004). Avoiding Misconception, Misuse, and Missed Opportunities : The Collection of Verbal Reports in Educational Achievement Testing. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 23(4), 6-15. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3992.2004.tb00164.x>
- Leighton, J. P. et Gierl, M. (2007). Why cognitive diagnostic assessment? Dans J. Leighton et M. Gierl (Éds.), *Cognitive Diagnostic Assessment for Education : Theory and Applications* (p. 3-18). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511611186>
- Leighton, J. P. et Gierl, M. J. (2007). Defining and Evaluating Models of Cognition Used in Educational Measurement to Make Inferences About Examinees' Thinking Processes. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 26(2), 3-16. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3992.2007.00090.x>
- Li, H. et Suen, H. K. (2013). Constructing and Validating a Q-Matrix for Cognitive Diagnostic Analyses of a Reading Test. *Educational Assessment*, 18(1), 1–25. <https://doi.org/10.1080/10627197.2013.761522>
- Li, Y., Zhen, M. et Liu, J. (2021). Validating a reading assessment within the cognitive diagnostic assessment framework : Q-Matrix construction and model comparisons for different primary grades. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.786612>
- Liu, J., Xu Gongjun et Ying, Z. (2012). Data-Driven Learning of Q-Matrix. *Applied Psychological Measurement*, 36(7), 548-564. <https://doi.org/10.1177/0146621612456591>

- Loubaki, G. N., Potvin, P., Hijazi, L. R. et Vázquez-Abad, J. (2015). Diagnostic des conceptions en sciences susceptibles d'expliquer les différences de performances à une évaluation internationale entre le Québec et le Maroc. *Comparative and International Education*, 44(1).
<https://doi.org/10.5206/cie-eci.v44i1.9267>
- Loye, N. (2005). Quelques nouveaux modèles de mesure. *Mesure et évaluation en éducation*, 28(3), 51-68. <https://doi.org/10.7202/1087030ar>
- Loye, N. (2008). *Conditions d'élaboration de la matrice Q des modèles cognitifs et impact sur sa validité et sa fidélité* [Thèse, University of Ottawa]. <http://dx.doi.org/10.20381/ruor-13117>
- Loye, N. (2009). Les modèles cognitifs. Dans J.-G. Blais (dir.), *Évaluation des apprentissages et technologies de l'information et de la communication. Enjeux, applications et modèles de mesure*. (p. 159-186). Presses de l'Université Laval.
- Loye, N. (2010). 2010, odyssée des modèles de classification diagnostique (MCD). *Mesure et évaluation en éducation*, 33(3), 75-98. <https://doi.org/10.7202/1024892ar>
- Loye, N. et Lambert-Chan, J. (2016). Au cœur du développement d'une épreuve en mathématique dotée d'un potentiel diagnostique. *Mesure et évaluation en éducation*, 39(3), 29-57.
<https://doi.org/10.7202/1040136ar>
- Loye, N. et Laveault, D. (2011, mai). *Modéliser le raisonnement scientifique des élèves* [Communication orale]. 79e Congrès de l'ACFAS, Sherbrooke.
<https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/4196932>
- Loye, N., Caron, F., Pineault, J., Tessier-Baillargeon, M., Burney-Vincent, C. et Gagnon, M. (2011). Validité du diagnostic issu d'un mariage entre didactique et mesure sur un test existant. Dans G. Raïche, K. Paquette-Côté et D. Magis (dir.), *Des mécanismes pour assurer la validité de l'interprétation de la mesure en éducation : L'évaluation* (1^{re} éd., Vol. 2, p. 11-30). Presses de l'Université du Québec. <https://doi.org/10.2307/j.ctv18phchp>
- Lynn, M. R. (1986). Determination and quantification of content validity. *Nursing Research*, 35(6), 382-386.
https://journals.lww.com/nursingresearchonline/citation/1986/11000/determination_and_quantification_of_content.17.aspx

- Mahhou, M. A. et Potvin, P. (2019). La contextualisation des apprentissages en physique. Pour aider les filles et les garçons à développer leur intérêt. *Spectre, Revue de l'Association pour l'enseignement de la science et de la technologie au Québec*, 48(2), 26-28. <https://www.calameo.com/aestq/read/00518148306fa7f5f3728>
- Malaise, S., Dehon, A., Demeuse, M., Demierbe, C. et Derobertmasure, A. (2010). *Diagnostiquer la maîtrise de compétences : le traitement de données*. Université de Mons. https://webetab.ac-bordeaux.fr/zap-des-gaves/fileadmin/ZAP-ORTHEZ/fichiers_publics/Fichiers_4ecole_college/Valise/Diagnostiquer_la_maitrise_de_compences.pdf
- Marcoux, G., Fagnant, A., Nathalie, L. et Ndinga, P. (2014). L'évaluation diagnostique des compétences à l'école obligatoire. Dans C. Dierendonck, E. Loarer et B. Rey (dir.), *L'évaluation des compétences en milieu scolaire et en milieu professionnel* (p. 117-125). De Boeck Supérieur. <https://www.cairn.info/l-evaluation-des-competences-en-milieu-scolaire-et--9782804181949-page-117.htm>
- Michelet, S., Luengo, V. et Adam, J.-M. (2012). De la conception à l'évaluation d'un modèle pour le diagnostic des connaissances - Etude de cas : Le modèle S-K-E. *23es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances* (p.217-232). <https://hal.science/hal-00817148>
- Mildenhall, P. T. et Williams, J. S. (2001). Instability in students' use of intuitive and Newtonian models to predict motion : The critical effect of the parameters involved. *International Journal of Science Education*, 23(6), 643-660. <https://doi.org/10.1080/09500690117839>
- Ministère de l'Éducation de l'Ontario. (2013). *L'évaluation diagnostique en appui à l'apprentissage des élèves*. Ministère de l'Éducation de l'Ontario. <http://www.edu.gov.on.ca/extra/fre/ppm/ppm155f.pdf>
- Ministère de l'Éducation du Québec (MEQ). (2003). *Politique d'évaluation des apprentissages : formation générale des jeunes, formation générale des adultes, formation professionnelle*. Gouvernement du Québec. http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/dpse/evaluation/13-4602.pdf
- Ministère de l'Éducation du Québec (MEQ). (2006). *Programme de formation de l'école québécoise : éducation préscolaire, Enseignement primaire*. Gouvernement du Québec. <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/education/pfeq/Programme-prescolaire-primaire.pdf>

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur (MEES). (2016). *Progression des apprentissages au secondaire : mathématiques*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/jeunes/pfeq/PDA_PFEQ_mathematique-secondaire_2016.pdf

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur (MEES). (2017). *Sciences de la nature (200.B0) : programme d'études préuniversitaires. Enseignement collégial*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/enseignement-superieur/200.B0-Sciences-nature-VF.pdf

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur (MEES). (2019). *Document d'information : épreuves uniques, 4e année du secondaire. Mathématiques*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/dpse/evaluation/DI_Math_4e_sec_2020-2021.pdf

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur (MEES). (2020a). *Document d'information : épreuves uniques, 4e années du secondaire. Sciences et technologies*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/dpse/evaluation/DI_ST_ATS_4e_sec_2020-2021.pdf

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur (MEES). (2020b). *Pondération et libellés du bulletin – Enseignement secondaire*. Gouvernement du Québec.
<http://www.education.gouv.qc.ca/enseignants/pfeq/secondaire/ponderations-et-libelles-du-bulletin-enseignement-secondaire/#c50746>

Ministère de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MEESR). (2021). *Sciences de la nature (200B0)*. Gouvernement du Québec. <http://www2.education.gouv.qc.ca/ens-sup/ens-coll/program/progetab.asp?vToken=p200B0>

Ministère de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MEESR). (2020). *Nombre d'étudiants inscrits au collégial selon le type de formation et la classe*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/PSG/statistiques_info_decisionnelle/Previsions-collegiales-juin2020.pdf

Ministère de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MEESR). (2014). *Statistiques de l'enseignement supérieur, édition 2014*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/administration/librairies/documents/Ministere/acc_es_info/Statistiques/Statistiques_ES/Statistiques_enseignement_superieur_2014.pdf

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS). (2005). *Le renouveau pédagogique : ce qui définit « le changement »*. Gouvernement du Québec.
https://srp.csrq.ca/evaluation/Documents/Le_renouveau_pedagogique.pdf

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS). (2007a). *Programme de formation de l'école québécoise : enseignement secondaire, deuxième cycle - Présentation générale*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/jeunes/pfeq/PFEQ_presentation-deuxieme-cycle-secondaire.pdf

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS). (2007b). *Programme de formation de l'école québécoise : enseignement secondaire, deuxième cycle, science et technologie, science et technologie de l'environnement*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/jeunes/pfeq/PFEQ_sciences-technologie-environnement.pdf

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS). (2007c). *Programme de formation de l'école québécoise : domaine de la mathématique, de la science et de la technologie, science et technologie*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/dpse/formation_jeunes/6c-sciencetechno.pdf

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS). (2007d). *Programme de formation de l'école québécoise : enseignement secondaire, deuxième cycle, physique*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/jeunes/pfeq/PFEQ_physique.pdf

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS). (2007e). *Programme de formation de l'école secondaire, deuxième cycle, mathématiques*. Gouvernement du Québec.
http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/jeunes/pfeq/PFEQ_mathematique-secondaire-deuxieme-cycle.pdf

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS). (2009). *Échelles des niveaux de compétence – Enseignement secondaire, 2e cycle, Science et technologie*. Gouvernement du Québec.
<https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/education/pfeq/secondaire/Echelles-niveau-competence-secondaire-2eCycle-science-techno.pdf>

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS). (2011a). *Cadre d'évaluation des apprentissages : physique, enseignement secondaire 2e cycle*. Gouvernement du Québec.

http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/jeunes/pfeq/CE_PFEQ_physique_2011.pdf

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS). (2011b). *Progression des apprentissages au secondaire : physique, programme optionnel de 5e secondaire*. Gouvernement du Québec. http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/jeunes/pfeq/PDA_PFEQ_physique.pdf

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS). (2011c). *Les choix de notre école à l'heure du bulletin unique*. Gouvernement du Québec. http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/dpse/evaluation/LesChoixDeNotreEcole_DocSoutien_f.pdf

Mondor, P. (2017). L'évaluation diagnostique pour donner la mesure en début de cours. *Pédagogie collégiale*, 30(4), 17-21. <https://eduq.info/xmlui/handle/11515/35706>

Moreno, R., Martínez, R. J. et Muñiz, J. (2006). New Guidelines for Developing Multiple-Choice Items. *Methodology: European Journal of Research Methods for the Behavioral and Social Sciences*, 2(2), 65-72. <https://doi.org/10.1027/1614-2241.2.2.65>

Morissette, D. (1997). *Guide pratique de l'évaluation sommative gestion des épreuves et des examens*. De Boeck.

Morissette, P. (2015). *Trajectoires : guides-corrigés Mécanique et Optique* (3^e éd.) [Cahiers de savoirs et d'activités - Corrigé]. CEC.

Nasser, N., Khouzai, M. E. et Taoufik, M. (2018). Analyses des représentations des apprenants de tronc commun marocain en interactions mécaniques (3e loi de Newton)—Cas de la direction provinciale de l'éducation nationale de Settat. *European Scientific Journal ESJ*, 14(36), 159-173. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p159>

National Research Council (NRC). (1997). *Science teaching reconsidered : A handbook*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/5287>

Nichols, P. D. (1994). A Framework for Developing Cognitively Diagnostic Assessments. *Review of Educational Research*, 64(4), 575-603. <https://doi.org/10.3102/00346543064004575>

Noyé, D. (2018). *Le Guide pratique du formateur : concevoir, animer, évaluer une formation* (13^e éd.). Groupe Eyrolles.

O'Neil, T., Sireci, S. G. et Huff, K. L. (2004). Evaluating the consistency of test content across two successive administrations of a state-mandated science assessment. *Educational Assessment*, 9(3-4), 129-151. <https://doi.org/10.1080/10627197.2004.9652962>

Ordre des conseillers et conseillères d'orientation du Québec (OCCOQ). (2020). *Le choix des sciences pour la quatrième secondaire. Science et technologie de l'environnement (STE) et science et environnement (SE)*. Espace Parents. <https://espaceparents.org/3e-secondaire/le-choix-des-sciences-pour-la-quatrieme-secondaire/>

Péladeau, N., Forget, J. et Gagné, F. (2005). Le transfert des apprentissages et la réforme de l'éducation au Québec : Quelques mises au point. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(1), 187-209. <https://doi.org/10.7202/012364ar>

Perie, M. et Huff, K. (2015). Determining content and cognitive demand for achievement tests. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 119-143). Routledge.

Polo Riveros, L. M. (2010). *L'évaluation du sens du nombre : élaboration d'un outil diagnostique des premier et deuxième cycles du primaire*. [Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS. <http://hdl.handle.net/11143/10405>

Popham, W. (1999). Why Standardized Tests Don't Measure Educational Quality. *Educational Leadership*, 56(6), 8-15.

Potvin, P. et Riopel, M. (2006). «More C; Less B» : Étude d'intuitions mobilisées par des élèves du secondaire en contexte d'exploration libre des lois de la mécanique. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 6(3), 245-266. <https://doi.org/10.1080/14926150609556701>

Potvin, P. et Thouin, M. (2003). Étude qualitative d'évolutions conceptuelles en contexte d'explorations libres en physique-mécanique au secondaire. *Revue des sciences de l'éducation*, 29(3), 525-544. <https://doi.org/10.7202/011402ar>

- Potvin, P., Riopel, M., Masson, S. et Agundez-Rodriguez, A. (2007). *Regards multiples sur l'enseignement des sciences*. MultiMondes. https://www.researchgate.net/profile/Patrice-Potvin/publication/344073491_Regards_multiples_sur_l%27enseignement_des_sciences/links/5f510af5a6fdcc9879c7245b/Regards-multiples-sur-lenseignement-des-sciences.pdf
- Rai, A. K. et Kumar, S. (2019). Misconceptions in science : A theoretical analysis. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 6(6), 544-551. https://www.researchgate.net/profile/Shailendra-Kumar-41/publication/336651616_Misconceptions_in_Science_A_Theoretical_Analysis/links/5dd8155c299bf10c5a288616/Misconceptions-in-Science-A-Theoretical-Analysis.pdf
- Raouf, K., Belazaar, I., Radi, M., Moussetad, M. et Talbi, M. (2016). Les difficultés inhérentes à la mobilisation des connaissances mathématiques dans la physique, cas de la mécanique au collège. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(25), Article 25. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n25p185>
- Raymond, M. R. (2015). Job analysis, practice analysis and the content of credentialing examinations. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 144-164). Routledge.
- Rey, B. (2016). Est-il intéressant que l'évaluation des compétences scolaires soit « diagnostique » ? *Mesure et évaluation en éducation*, 39(3), 7-28. <https://doi.org/10.7202/1040135ar>
- Ricard, C. (2008). *Un test diagnostique qui évalue la compétence en compréhension en lecture chez les élèves en âge de s'inscrire au collégial*. [Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal]. Archipel. <https://archipel.uqam.ca/713/>
- Rodriguez, M. C. (2015). Selected-Response Item Development. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 259-273). Routledge.
- Roegiers, X. (2004). *L'école et l'évaluation : des situations pour évaluer les compétences des élèves*. De Boeck.
- Rupp, A. A. et Templin, J. L. (2008). Unique characteristics of diagnostic classification models : A comprehensive review of the current state-of-the-art. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 6(4), 219-262. <https://doi.org/10.1080/15366360802490866>

- Rupp, A. A., Templin, J. et Henson, R. A. (2010). *Diagnostic measurement : Theory, methods, and applications*. The Guilford Press.
- Samson, G. (2004). *Le transfert de connaissances entre les mathématiques et les sciences. Une étude exploratoire auprès d'élèves de 4e secondaire* [Thèse, Université du Québec à Trois-Rivières]. Cognitio. <https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/1668>
- Sayac, N. et Grapin, N. (2014). Évaluer les capacités des élèves à résoudre des problèmes dans le cadre d'une évaluation externe, en France : Les spécificités de la forme QCM. *Éducation et francophonie*, 42(2), 64-83. <https://doi.org/10.7202/1027906ar>
- Schillings, P. et Lafontaine, A. (2008). *Outils pour le diagnostic et la remédiation des difficultés en lecture en 3e et 4e années primaires*. Université de Liège. http://www.enseignement.be/index.php?page=23827&do_id=6664&do_check=CAWSOHRBUV
- Service régional d'admission au collégial de Québec (SRACQ). (2021). *L'admission et le classement des candidates et candidats*. Service régional d'admission au collégial de Québec (SRACQ). <https://www.sracq.qc.ca/admission/admission-classement-candidat.aspx>
- Service régional d'admission du Montréal métropolitain (SRAM). (2021). *Tableau des programmes offerts : admission Automne 2021* [Brochure]. https://www.sram.qc.ca/wp-content/uploads/dlm_uploads/2020/12/TableauDesProgrammesOfferts_Automne2021_Tour1_WEB-3.pdf
- Service régional d'Admission du Montréal Métropolitain (SRAM). (2020). *Rapport annuel : année 2019-2020* [Rapport]. <https://www.sram.qc.ca/fr/sram/rapports-annuels>
- Shyyan, V., Christensen, L., Thurlow, M. et Lazarus, S. (2013). *Multi-Attribute Consensus Building Tool*. National Center on Educational Outcomes. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED545334.pdf>
- Sia, C. J. L. et Lim, C. S. (2018). Cognitive Diagnostic Assessment : An Alternative Mode of Assessment for Learning. Dans D. R. Thompson, M. Burton, A. Cusi et D. Wright (Éds.), *Classroom Assessment in Mathematics : Perspectives from Around the Globe* (p. 123-137). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73748-5_9

- Sia, C. J. L., Lim, C. S., Chew, C. M. et Kor, L. K. (2019). Expert-based cognitive model and student-based cognitive model in the learning of "Time" : Match or mismatch? *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(6), 1089-1107. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9916-9>
- Statistiques Canada. (2016). *Profil du recensement, Recensement de 2016. Laval [Région économique], Québec et Québec [Province]* [Jeu de données]. <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=F&Geo1=ER&Code1=2445&Geo2=PR&Code2=24&SearchText=laval&SearchType=Begins&SearchPR=01&B1=All&TABID=1&type=0>
- Statistiques Canada. (2017). *Recensement en bref : le français, l'anglais et les minorités de langue officielle au Canada* [Jeu de données]. <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/as-sa/98-200-x/2016011/98-200-x2016011-fra.cfm>
- Taber, K. S. (2013). *Modelling learners and learning in science education : Developing representations of concepts, conceptual structure and conceptual change to inform teaching and research*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7648-7>
- Tatsuoka, K. K. (1983). Rule space : An approach for dealing with misconceptions based on item response theory. *Journal of Educational Measurement*, 20(4), 345-354. <https://www.jstor.org/stable/1434951>
- Tatsuoka, K. K. (1990). Toward an integration of item-response theory and cognitive error diagnosis. Dans F. Norman, R. Glaser, A. Lesgold et M. G. Shafto (Éds.), *Diagnostic Monitoring of Skill and Knowledge Acquisition* (1^{re} éd., p. 453-488). Routledge.
- Tjoe, H. (2013). Designing cognitively-based proportional reasoning problems as an application of modern psychological measurement models. *Journal of Mathematics Education*, 6(2), 17-26. <https://journalofmathed.scholasticahq.com/article/90067.pdf>
- Tjoe, H. et de la Torre, J. (2014). The identification and validation process of proportional reasoning attributes : An application of a cognitive diagnosis modeling framework. *Mathematics Education Research Journal*, 26(2), 237-255. <https://doi.org/10.1007/s13394-013-0090-7>
- Truchon, L. (1999). *Les facteurs concourant au choix des élèves d'abandonner les sciences en cinquième secondaire* [Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi]. Constellation. <https://constellation.uqac.ca/id/eprint/989/1/11962922.pdf>

- Turcotte, C. et Talbot, N. (2017). Élaboration d'une épreuve de compréhension en lecture en 6e année du primaire favorisant l'articulation enseignement-apprentissage-évaluation. *Mesure et évaluation en éducation*, 40(3), 37-67. <https://doi.org/10.7202/1048910ar>
- Université de Montréal. (2021). *Baccalauréat en enseignement des sciences et des technologies au secondaire* [Fiche du programme]. Université de Montréal. <https://admission.umontreal.ca/programmes/baccalaureat-en-enseignement-des-sciences-et-des-technologies-au-secondaire/impression/2254/>
- Van Der Maren, J.-M. (2004). *Méthodes de recherche pour l'éducation* (2^e éd.). Presses de l'Université de Montréal et de Boeck. <https://hdl.handle.net/1866/4688>
- Vanderwood, M. L. et Erickson, R. (1995). Consensus building. *Educational outcomes for students with disabilities*, 9(2), 99-114.
- Vanderwood, M., Ysseldyke, J. et Thurlow, M. (1993). *Consensus building : A process for selecting educational outcomes and indicators*. (Report 2; National center on educational outcomes). University of Minnesota. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED366171.pdf>
- Viennot, L. (1978). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. *Revue française de pédagogie*, 45, 16-24. <https://www.jstor.org/stable/41161770>
- Ville de Laval. (2015). *Laval aujourd'hui : un état des lieux pour repenser Laval* [Document de réflexion]. Repensons Laval. <https://www.laval.ca/Documents/Pages/Fr/Citoyens/participation-citoyenne/repensons-laval-etat-lieux.pdf>
- Vince, J., Coince, D., Coulaud, M., Déchelette, H. et Tiberghien, A. (2007). Un outil de diagnostic et d'évaluation pour aider l'élève en physique-chimie. *Bulletin de l'Union des Physiciens (1907-2003)*, 101(893), 427-442. <https://shs.hal.science/halshs-00376635>
- Vivicorsi, B. (2013). Pour une approche qualitative de l'évaluation du fonctionnement cognitif. *Pratiques Psychologiques*, 19(1), 15-28. <https://doi.org/10.1016/j.prps.2012.09.002>
- Wallen, N. E. et Fraenkel, J. R. (2000). *Educational Research : A Guide To the Process* (2^e éd.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781410601001>

- Wang, C. et Gierl, M. J. (2007). *Investigating the cognitive attributes underlying student performance on the SAT® critical reading subtest : An application of the Attribute Hierarchy Method*. [Communication orale]. Annual meeting of the National Council on Measurement in Education (2007), Chicago, Illinois.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=9623822d6d99170ccea513786c09f7a395b2cebf>
- Wendler, C. L. et Walker, M. E. (2015). Practical Issues in designing and maintaining multiple test forms. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 433-449). Routledge.
- Wise, L. L. et Plake, B. S. (2015). Test design and development following the Standards for educational. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 19-39). Routledge.
- Yang, X. et Embretson, S. E. (2007). Construct validity and cognitive diagnostic assessment. Dans J. Leighton & M. Gierl (Éds.), *Cognitive Diagnostic Assessment for Education : Theory and Applications* (p. 119-145). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511611186>
- Yusoff, M. S. B. (2019). ABC of Content Validation and Content Validity Index Calculation. *Education in Medicine Journal*, 11(2), 49-54. <https://doi.org/10.21315/eimj2019.11.2.6>
- Zenisky, A. L. et Hambleton Ronald K., B. S. (2015). A model and good practices for score reporting. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 585-602). Routledge.
- Zieky, M. J. (2015). Developing fair test. Dans S. Lane, M. R. Raymond et T. M. Haladyna (Éds.), *Handbook of test development* (2^e éd., p. 81-99). Routledge.