

# Favoriser l'apprentissage de la démarche scientifique

Étayage des connaissances en contexte  
d'apprentissage par enquête en sciences

Decembre 2023

Elizabeth Charles, Caroline Cormier, Kevin Lenton,  
Michael Dugdale, Véronique Turcotte, Sean Hughes  
Rhys Adams, et Karl Laroche



### *Confidentialité*

Tous les chercheurs de cette recherche ont signé un formulaire de confidentialité. De plus, les données concernant les étudiants ont été codées de sorte qu'un observateur externe ne puisse identifier les sujets d'expérimentation.

### *Consentement et droit de retrait*

Tous les étudiants ont été informés de leur implication dans la recherche ainsi que de l'utilisation des données en toute confidentialité. Les étudiants qui, pour toute raison, ne désiraient ou ne pouvaient pas participer à cette étude étaient libres, sans être pénalisés, de ne pas s'engager dans le projet. De plus, les participants conservaient le droit de se retirer de l'étude en tout temps sans aucun préjudice.

### *chercheur·e·s principaux*

**Elizabeth Charles**, Ph.D., professeure de photographie, Cégep Dawson  
**Caroline Cormier**, Ph.D., professeure de chimie, Cégep André-Laurendeau  
**Kevin Lenton**, Ph.D., professeur de physique, Cégep Vanier  
**Michael Dugdale**, B.Sc., professeur de physique, Cégep John Abbott  
**Véronique Turcotte**, M.Éd., professeure de chimie, Cégep André-Laurendeau

### *Collaborateurs au projet*

**Rhys Adams**, M.Eng., professeur de physique, Cégep Vanier  
**Karl Laroche**, M.Sc, M.Éd., professeur de biologie, Cégep Vanier  
**Sean Hughes**, Ph.D., professeur de chimie, Cégep John Abbott

### *Assistante de recherche*

**Chao Zhang**, étudiante à l'Université McGill

### *Conception graphique et photographie de la couverture*

Les quatre photos assemblées pour la couverture ont été téléchargées depuis le site web d'images libres de droits Unsplash le 22 décembre 2023.

Louis Reed

Drew Hays

Ricardo Gomez Angel

Dan Cristian Pădureț

Une version électronique de ce rapport est disponible au [www.cdc.qc.ca](http://www.cdc.qc.ca)

Dépôt légal — Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2023

Dépôt légal — Bibliothèque nationale du Canada, 2023

ISBN : 978-1-5501697-9-9

# **Favoriser l'apprentissage de la démarche scientifique**

Étayage des connaissances en contexte d'apprentissage par enquête en sciences

Elizabeth Charles, Cégep Dawson

Caroline Cormier, Cégep André-Laurendeau

Kevin Lenton, Cégep Vanier

Michael Dugdale, Cégep John Abbott

Véronique Turcotte, Cégep André-Laurendeau

Rhys Adams, Cégep Vanier

Karl Laroche, Cégep Vanier

Sean Hughes, Cégep John Abbott

La présente recherche a été subventionnée par le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur dans le cadre du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage (PAREA).

Le contenu du présent rapport n'engage que la responsabilité de l'établissement et des auteurs.

# Résumé

---

La démarche scientifique est un ensemble complexe de compétences et d'attitudes qui repose sur l'intégration de connaissances conceptuelles, procédurales et épistémologiques. Il est bien reconnu que l'enseignement de la démarche scientifique est un défi fondamental. Des études récentes sur l'apprentissage actif montrent le potentiel évident des innovations pédagogiques pour améliorer le développement des connaissances conceptuelles dans les disciplines STIM. Cependant, peu de recherches ont été consacrées au problème de l'apprentissage de la démarche scientifique par l'expérimentation et l'observation, qui sont des outils de base pour toutes les sciences naturelles. Une solution a été l'utilisation d'une pédagogie basée sur enquête, où les étudiant·e·s sont plus ou moins guidés, en fonction du format pédagogique choisi par les enseignants. Le laboratoire par enquête engage les étudiant·e·s dans un processus d'enquête scientifique au sein d'un écosystème soigneusement encadré afin de les préparer à prendre des décisions complexes par eux-mêmes. L'orientation implique une certaine forme d'étayage, l'interaction planifiée avec l'enseignant, la discussion guidée avec les pairs, etc. Le niveau d'étayage est une question essentielle, car une activité trop guidée ne laisse aucune place à l'exploration, tandis qu'une activité trop ouverte est souvent trop complexe et trop compliquée pour les apprenants novices. En outre, on ne sait pas si l'étayage est nécessaire pour intégrer les trois formes de connaissances scientifiques (conceptuelles, procédurales et épistémologiques). Cette étude de trois ans s'est penchée sur la question de l'étayage des laboratoires basés sur l'enquête et a abordé ces quatre objectifs.

Objectif 1: Créer un portrait de l'enseignement par enquête dans les cours de sciences. Pour répondre à cet objectif, nous avons sondé les enseignant·e·s de sciences de la nature pour tracer le portrait de ce qui se fait déjà en termes de pédagogie par enquête : Quelles méthodes d'enseignement par enquête les enseignant·e·s de sciences emploient-ils dans les cours de sciences ? Précisément quels laboratoires d'enquête ces enseignant·e·s utilisent-ils ? Dans quel contexte sont implantés ces laboratoires (par exemple, à quel moment de la session, à quelle fréquence, etc.) ? Quelles formes d'étayage (par exemple, très directif, plus ouvert, etc.) les professeur·e·s utilisent-ils dans le cadre de ces laboratoires par enquête ? Pour répondre à ces questions, nous avons d'abord développé de manière itérative deux instruments pour collecter ces données : (1) un questionnaire générique et (2) un questionnaire approfondi. Nous avons ensuite distribué le premier instrument à un grand nombre d'enseignant·e·s de 18 cégeps; 164 de ces enseignant·e·s ont répondu au questionnaire. Le second questionnaire a été distribué à un sous-ensemble de ceux qui ont répondu, soit les enseignant·e·s qui avaient accepté de participer à l'enquête plus longue (44 ont répondu au questionnaire plus long, dont 24 ont participé à une entrevue). Ces résultats montrent que les enseignants considèrent que leurs efforts pour moderniser et réformer l'enseignement en laboratoire sont valorisés, tout en identifiant la surcharge de travail, les contraintes budgétaires et l'accès limité au matériel comme les principaux freins à l'évolution des pratiques de laboratoire.

L'analyse confirme deux types d'activités distinctes : les traditionnelles de « style vérification » et celles par enquête, promouvant la prise de décision des étudiant·e·s. Malgré la déclaration d'enseignant·e·s sur l'utilisation des laboratoires par enquête, la majorité des activités (69,2 %) reste de style traditionnel, soulignant la nécessité perçue d'intégrer ces approches pour développer des compétences fondamentales. La prévalence (26,44 %) des activités de laboratoire par enquête indique un intérêt significatif pour leur encouragement, signalant simultanément une marge d'expansion substantielle.

Objectif 2: Créer un portrait de la trajectoire de la compréhension de la démarche scientifique par les étudiant·e·s et de la façon dont elle évolue avec l'approche du laboratoire par enquête. L'apprentissage de la démarche scientifique est complexe à appréhender dans ses manifestations chez les étudiant·e·s. Donc, cet objectif a soulevé deux questions : (1) Comment observer et documenter l'apprentissage de la démarche scientifique? (2) Les étudiant·e·s acquièrent-ils/elles une compréhension de la démarche scientifique en participant à toutes les formes de laboratoires scientifiques? Pour répondre à cette première question, nous avons développé un instrument (évaluation de la compréhension de la démarche scientifique - la crème glacée de George) qui nous a permis de

mesurer quelle(s) partie(s) de la compréhension de la démarche scientifique des étudiant·e·s est (sont) effectivement soutenue(s) par des approches de laboratoire par l'enquête, et dans quels contextes elles ont été mises en œuvre. Pour répondre à la deuxième question, des classes entières d'étudiant·e·s ont été invitées à participer au projet, dans les trois disciplines scientifiques, réparties entre les quatre cégeps participants en fonction de la disponibilité des professeur·e·s et de leur volonté de participer. Au total, nous avons recueilli les réponses à notre questionnaire sur la démarche scientifique dans les classes de 23 enseignant·e·s, avec une représentation des trois disciplines, totalisant ainsi 499 étudiant·e·s. Cette étude a rencontré des défis lors de l'analyse des réponses du pré-test et du post-test, mais a choisi des approches sophistiquées, telles que l'allocation de Dirichlet latente, pour mesurer la sophistication des réponses des étudiant·e·s. Notre étude a dévoilé que les pédagogies basées sur le laboratoire par enquête ont conduit à des améliorations significatives dans les réponses des étudiant·e·s, avec une augmentation vers une pensée de type expert. Ces résultats suggèrent que ces approches par enquête favorisent un apprentissage plus approfondi et sophistiqué.

Objectif 3: Mener une recherche orientée par la conception (ROC) pour explorer l'impact des étayages et leur rôle dans les laboratoires par enquête. Nous avons abordé cet objectif en conduisant deux études pour explorer les formes d'étayage les plus bénéfiques pour favoriser le développement de l'apprentissage de la démarche scientifique chez les étudiant·e·s, spécifiquement dans le contexte du laboratoire par enquête, en se concentrant sur deux disciplines : un cours de physique et un cours de biologie. Nous avons adopté une méthodologie de recherche orientée par la conception pour analyser le rôle de l'étayage dans un laboratoire par enquête en physique et pour examiner comment son amélioration pourrait enrichir l'apprentissage. Parallèlement, une méthodologie de recherche basée sur des études de cas a été employée pour évaluer l'influence de l'utilisation d'un modèle de laboratoire par enquête présentant une approche novatrice sur l'apprentissage des étudiant·e·s et leur raisonnement scientifique. Avec l'intérêt croissant pour l'adoption du laboratoire par enquête dans l'enseignement supérieur, notre étude a souligné la nécessité de comprendre les lacunes dans les connaissances et compétences des apprenants, souvent négligées dans l'enseignement traditionnel. Les résultats ont montré une préférence des étudiants pour cette approche de laboratoire par enquête. L'analyse a identifié des compétences cruciales, telles que la représentation graphique, nécessitant des ajustements pédagogiques pour soutenir efficacement l'apprentissage des étudiants. La conception itérative et la réflexion ont guidé l'amélioration continue, soulignant l'importance de la compréhension approfondie du contenu et de la pédagogie pour une conception efficace.

Objectif 4 : Puisque la démarche scientifique repose notamment sur un pilier de connaissances épistémologiques, l'épistémologie propre à chaque discipline expérimentale présente des caractéristiques qui les distinguent au niveau de la nature même de la science. L'objectif final de notre recherche était d'explorer les variations entre les disciplines scientifiques en ce qui concerne la mise en œuvre d'une pédagogie par enquête. Nous avons formulé des questions telles que : Parmi les différences épistémologiques entre les disciplines, certaines pourraient-elles influencer la mise en œuvre de l'étayage dans le cadre de la pédagogie par enquête ? Nous avons abordé cet objectif de manière indirecte en identifiant ces différences lors de la collecte et de l'analyse des données pour les autres objectifs de recherche. Surtout, nous avons abordé cette question à travers l'objectif d'un modèle de communauté de pratique. Plus précisément, les observations, les discussions et les artefacts recueillis dans le cadre de l'élaboration d'un modèle de diffusion des connaissances - un écosystème avec plusieurs niveaux de communautés de pratique. Pour ce faire, nous avons adopté une approche ethnographique de recherche-action, impliquant l'observation et la documentation du développement de communautés de pratique impliquant des professeur·e·s des trois disciplines. Au sein de ces communautés, nous avons exploré des questions liées à cet objectif : En quoi le contenu disciplinaire propre à chaque discipline influe-t-il sur la manière dont l'étayage est mis en œuvre et ultimement sur le développement de l'apprentissage scientifique ? Nous avons également mis en lumière des différences dans l'utilisation des laboratoires entre les disciplines et comment l'objectif du laboratoire par enquête varie pour chaque discipline. Les communautés de pratique (CdP) ont joué un rôle clé en facilitant le partage d'expériences et en promouvant la valeur des laboratoires par enquête guidée. Les rencontres des CdP ont été des occasions pour les professeur·e·s de discuter de problèmes communs, de trouver des solutions et de développer un sentiment d'appartenance professionnel. Certains départements ont officiellement intégré des labos par enquête guidée, inscrivant l'autonomie scientifique dans les plans-cadres et les orientations pédagogiques. Malgré des obstacles tels

que les habitudes établies et le manque de formation pédagogique, la participation aux CdP et aux ateliers a été un moyen efficace de soutien. Les professeur·e·s soulignent l'importance d'aborder des questions pédagogiques lors des rencontres des CdP, créant un espace pour le partage et la validation des préoccupations professionnelles. Les différences entre les disciplines ont été identifiées, soulignant la nécessité de collaborations interdisciplinaires pour surmonter ces défis. L'implantation des laboratoires par enquête a été facilitée par le réseau social établi par l'équipe de recherche, favorisant le transfert de connaissances et l'adoption de nouvelles approches pédagogiques.

# Remerciements

---

*Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur soutien et leur contribution en temps et en expertise à la réalisation de ce projet de recherche.*

PAREA

L'équipe de la recherche au collégial

*Responsable des programmes PAREA et PART (Innovation sociale et technologique)*

*Direction de la recherche et de l'innovation en enseignement supérieur*

*Ministère de l'Enseignement supérieur*

Bureau du développement professionnel et de la recherche du Collège Dawson

*Ildiko Glaser-Hille (coordinatrice du bureau de la recherche, depuis 2021)*

*Felicia Solomon (coordinatrice intérimaire du bureau de la recherche, 2020)*

Bureau des finances

*Linda Grégoire*

*Johanne Messier*

Administration du Collège Dawson

*Diane Gauvin, Academic Dean (jusqu'à la fin de 2020)*

*Rob Cassidy, Academic Dean (2020 - 2022)*

*Leanne Bennette (depuis 2022)*

*Catherine LeBel, Dean of Academic Development*

Assistants de recherche principale :

*Chao Zhang*

Les étudiant·e·s collégiale, assistant·e·s de recherche:

- *Julie Takahashi Massicotte, Mahan Mansoor, Nabeeha Alam, Lin Shan Zhong, Valérie Gorelik, Sajanth Kanagasigam, and Sophie Gelin, cégep Dawson*
- *Maël Vergriete-Pascal, Janice Staël Zokoury, David Lemon, cégep André-Laurendeau*
- *Angelina Andreeva, cégep Vanier*
- *Gabrielle Graceffa et Olivia Pereira, cégep John Abbott*

*Enfin, nous tenons à remercier les enseignants et les étudiants de nos collèges qui ont participé au projet de recherche. Nous tenons à remercier particulièrement nos collègues des 18 collèges, francophones et anglophones, qui ont participé à nos communautés de pratique, à nos enquêtes et à nos entretiens. En outre, les enseignants qui nous ont permis d'entrer dans leurs salles de classe et qui ont travaillé avec nous pour concevoir de nouvelles activités d'apprentissage. Nous remercions également leurs étudiants qui ont consenti à la collecte de données. Nous devons beaucoup à ces participants. Enfin, nous remercions les comités d'éthique de la recherche, dans les 18 collèges participants, pour leur autorisation de mener cette recherche dans leurs institutions respectives. Ils témoignent de la profondeur de la coopération et de l'apprentissage qui est possible au niveau collégial.*

<b>Résumé</b> .....	<b>2</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>5</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>6</b>
<b>Note sur le format de ce rapport de recherche</b> .....	<b>11</b>
<b>CHAPITRE UN : Introduction</b> .....	<b>12</b>
1.1 Problématique et cadre conceptuel.....	12
1.1.1 Le développement de la démarche scientifique : un but des laboratoires en sciences ....	13
1.1.2 Les contraintes relatives au laboratoire d'apprentissage scientifique .....	14
1.2 Développement de la démarche scientifique : problèmes et obstacles .....	15
1.3 Ouvrir l'enseignement des sciences : la pédagogie par enquête .....	15
1.4 L'étayage des connaissances en contexte d'apprentissage par enquête .....	17
1.5 Objectifs de la recherche .....	18
Objectif particulier 1 : .....	18
Objectif particulier 2 : .....	18
Objectif particulier 3 : .....	19
Objectif particulier 4 : .....	19
1.6 Références (chapitre une) .....	20
<b>CHAPITRE DEUX : Objectif 1</b> .....	<b>23</b>
2.1 Questionnaire pour la caractérisation des activités de laboratoire (QCAL).....	23
2.2 Méthodologie .....	24
2.3. Analyse des classes latentes des typologies de laboratoire rapportées .....	25
2.3.1 Les données .....	26
2.3.2 Modélisation .....	26
2.3.3 Description des classes .....	27
2.3.4 Comparaison des classes A et C .....	27
2.4 Discussion.....	30
2.4.1 Conclusions .....	30
2.5 Les entrevues avec les enseignant·e·s.....	31
2.5.1 Méthodologie des entrevues .....	31
2.5.2 Guide d'entrevue.....	32
2.6 Résultats des entrevues avec les enseignant·e·s .....	32
2.6.1 Typologie des choix dans la méthode .....	32
2.6.2 Typologie des stratégies d'étayages .....	35
2.7 Références (chapitre deux) .....	39
<b>CHAPITRE TROIS : Objectif 2</b> .....	<b>41</b>
3.1 Aperçu de l'étude .....	41
3.2 Éléments méthodologiques .....	42
3.2.1 La conception de la recherche .....	42
3.2.2 Échantillon.....	42
3.2.3 Développement des instruments.....	43

3.3	Partie 1 : Analyse qualitative classique .....	45
3.3.1	Analyse des données .....	45
3.3.2	Résultats de l'analyse qualitative classique .....	47
3.4	Partie II : Analyse avec un modèle statistique génératif .....	49
3.4.1	Un modèle statistique génératif : L'allocation de Dirichlet latente (ADL) .....	49
3.4.2	Méthodologie .....	51
3.4.3	Résumé de l'analyse de la distribution d des thèmes .....	64
3.4.4	Examen de l'évolution des réponses des étudiant·e·s .....	67
3.4.5	Discussion .....	70
3.5	Conclusion .....	70
3.6	Références (chapitre trois) .....	71
	<b>CHAPITRE QUATRE : Objectif 3 .....</b>	<b>73</b>
4.1	Contexte .....	73
4.1.1	Les étayages .....	74
4.1.2	La prise de conscience et le laboratoire par enquête .....	75
4.1.3	Graphiques et représentation graphique .....	76
4.2	Méthode .....	77
4.2.1	Contexte et participants .....	77
4.2.2	Collecte de données .....	78
4.2.3	Éléments intégrés dans l'intervention du laboratoire par enquête en physique .....	78
4.2.4	Conception de l'étayage des modules .....	79
4.3	La conception d'étude .....	79
4.3.1	Conception pédagogique des unités laboratoire par enquête : un étayage à méta-niveau .....	80
4.4	Automne 2021 (cycle 1) .....	80
4.4.1	Module 1 .....	81
4.4.2	Module 2 .....	83
4.4.3	Module 3 .....	84
4.4.4	Module 4 .....	84
4.4.5	Résultats de la mise en œuvre à l'automne 2021 (cycle 1) .....	84
4.5	Hiver 2022 (cycle 2) .....	88
4.5.1	Résultats de la mise en œuvre de l'hiver 2022 (cycle 2) .....	90
4.5.2	Réflexions des enseignants .....	91
4.5.3	Autres observations de l'enseignant .....	92
4.6	Préparation du cycle 3 : les changements apportés au programme .....	92
4.7	Automne 2022 (cycle 3) .....	92
4.7.1	Réflexions des enseignants itération finale .....	94
4.7.2	Activité de collaboration et de création de sens .....	94
4.8	Résultats .....	96
4.8.1	Rapports de laboratoire (artefact) et la démarche scientifique (pratique) .....	96
4.8.2	Attribution d'un instrument de musique (artefact et pratique) .....	97

4.8.3 Graphiques (artefact) et activités graphiques (pratique).....	98
4.8.4 Études de cas individuelles des rapports de laboratoire .....	100
4.8.5 Développent l'autonomie et les compétences d'autorégulation.....	101
4.8.6 Résultats des itérations ROC et des études de cas .....	102
4.9 Discussion.....	102
4.10 Conclusion .....	106
4.11 Références (chapitre quatre).....	107
<b>CHAPITRE CINQ : Objectif 3.....</b>	<b>110</b>
5.1 Introduction .....	110
5.1.1 Cadres conceptuels utilisés dans cette étude de cas .....	111
5.1.2 Objectifs et questions de recherche .....	113
5.2 Méthodes .....	114
5.2.1 Conception de la recherche de cette étude .....	114
5.3 L'intervention laboratoire par enquête en cinq modules .....	116
5.3.1 Contenu spécifique des modules .....	116
5.3.2 Module 2, exemple d'interaction entre le scénario et les étayages .....	122
5.3.3 Module 5 : Scénario et étayages.....	128
5.4 Analyse des données quantitatives.....	129
5.4.1.Comparaison entre le pré-test et le post-test immédiat.....	129
5.4.2 Résultat de la Pré-test / Post-test intermédiaire analyse des gains individuelles .....	130
5.4.3 Résultat de la Post-test différé .....	130
5.5 Analyse des données qualitative : développement de trois études de cas .....	131
5.6 Faible à moyen : L'étude de cas « STU_250 » .....	132
5.6.1 La trajectoire de la progression d'étudiant·e STU_250 .....	132
5.7 Fort à fort : L'étude de cas « STU_233 » .....	136
5.7.1 La trajectoire de la progression d'étudiant·e STU_233 .....	136
5.8 Faible à faible : L'étude de cas « STU_239 » .....	141
5.8.1 La trajectoire de la progression d'étudiant·e STU_239 .....	141
5.9 Résultat des enquêtes .....	144
5.9.1 Enquête post-intervention.....	144
5.9.2 Réponses libres .....	145
5.10 Discussion.....	147
5.10.1 Le point de vue des enseignants.....	147
5.11 Références (chapitre cinq) .....	148
<b>CHAPITRE SIX : Objectif 4.....</b>	<b>150</b>
6.1 Le transfert de connaissances : une question de planification .....	150
6.2 Des communautés de pratique pour rejoindre les professeur·es.....	150
6.2.1 Les difficultés du transfert des connaissances .....	151
6.2.2 Communauté de pratique et transfert de connaissances .....	152
6.3 Constitution et déploiement des CdP .....	153
6.3.1 La première grande rencontre interdisciplinaire avec panel .....	155

6.3.2 Atelier « Changer un labo » : amorce et recrutement pour les communautés de pratique .....	159
6.3.3 L'émergence de CdP disciplinaires .....	162
6.3.4 Le « Sommet » sur la transition collégial/universitaire .....	166
6.4 Données recueillies lors de ces CdP et résultats .....	169
6.4.1 Sommaire des discussions lors de la première grande rencontre interdisciplinaire avec panel .....	169
6.4.2 Premières rencontres des CdP disciplinaires : discussions sur le laboratoire par enquête .....	180
6.5 Discussion Impact des CdP .....	185
6.5.1 Pourquoi participer aux rencontres des CdP .....	186
6.5.2 La mise en œuvre de labos par enquête guidée .....	186
6.6 Conclusion du chapitre sur les CdP .....	187
6.6.1 Sommaire .....	187
6.7 Références (chapitre six) .....	188
<b>CHAPITRE SEPT : Objectif 4 .....</b>	<b>191</b>
7.1 Exploration des pratiques pédagogiques dans un département de chimie de cégep : une étude de cas .....	191
7.2 Un cadre pour le changement institutionnel .....	192
7.2.1 Vision et alignement .....	193
7.2.2 Action .....	193
7.2.3 Ajustement .....	193
7.3 Méthodologie .....	194
7.4 Les philosophies générales des éducateurs en matière d'enseignement et d'apprentissage dans les sciences .....	194
7.4.1 Une vision partagée initiale : pédagogie de l'apprentissage actif et apprentissage authentique .....	194
7.4.2 Ré-imagination de l'approche éducative .....	194
7.4.3 Une mise au point sur les laboratoires par enquête en tant que défi partagé .....	195
7.4.4 Intégration et impact des laboratoires par enquête au sein du département .....	196
7.4.5 Intégration et impact des laboratoires par enquête au-delà du département .....	197
7.5 Atouts particuliers de la culture départementale favorisant le transfert .....	197
7.5.1 Culture du partage de ressources et amélioration continue .....	197
7.5.2 Culture du changement comme opportunité .....	198
7.5.3 Culture des ressources partagées et des responsabilités partagées .....	199
7.5.4 Culture du mentorat et du soutien pour les enseignants et les étudiants .....	200
7.5.5 Culture de la pratique fondée sur des données probantes .....	201
7.5.6 Culture d'équilibre entre la charge de travail et l'innovation .....	201
7.5.7 Pratiques de recrutement dans le département .....	201
7.6 Conclusion .....	202
7.7 Références (chapitre sept) .....	205
<b>CHAPITRE HUIT : Conclusion .....</b>	<b>207</b>

<b>ANNEXES .....</b>	<b>208</b>
A : Questionnaire QCAL .....	209
Préambule .....	209
Consentement.....	209
Identification des participantes et participants .....	209
Culture départementale .....	209
Méthodes d'enseignement.....	211
Poursuite de votre participation .....	211
B : Questionnaire QCAL Excel .....	212
Consignes .....	212
C : Guide d'entrevue avec les enseignantes et enseignants .....	213
Partie 1 : Séquence entourant les laboratoires par enquête .....	214
Partie 2 : Étayage lors des laboratoires par enquête .....	214
D : Les graphiques des résultats de la QCAL (16 figures).....	216
E : Les exemples des réponses typiques pour le cas d'étude en biologie .....	224

# Note sur le format de ce rapport de recherche

---

Ce rapport de recherche regroupe des textes écrits sous deux formats: des chapitres classiques d'un rapport de recherche, et les versions traduites d'articles que notre équipe a fait publier au sujet de cette recherche.

Au **chapitre 1**, une problématique et un cadre conceptuel, une section d'objectifs de recherche et un cadre méthodologique général présentent les aspects généraux et communs à toute la recherche.

Ensuite, les chapitres suivants, portant chacun sur une partie des **résultats de la recherche**, s'articulent ainsi:

- Le **chapitre 2** présente des résultats recueillis chez des professeur·e·s de biologie, de chimie et de physique du réseau collégial québécois et décrit leur utilisation (ou non) de la pédagogie de laboratoire par enquête dans leurs cours. Le chapitre est divisé en deux parties. La **partie 1** présente les résultats des enquêtes en deux parties. La **partie 2** présente les résultats des entretiens avec un sous-ensemble d'enseignants ; il présente une plongée plus en détail chez un sous-échantillon de ces professeur·es, avec des données recueillies par entrevues, et propose une typologie des laboratoires par enquête réalisés dans le contexte collégial québécois.
- Le **chapitre 3** présente des données recueillies auprès des étudiant·e·s, dans des cours utilisant (ou non) le laboratoire par enquête. Ce chapitre est divisé en deux parties. La **partie 1** présente l'analyse traditionnelle des données. La **partie 2** présente un modèle statistique génératif.
- Le **chapitre 4** présente l'élaboration et l'implantation de la pédagogie de laboratoire par enquête en physique, développée en recherche orientée par la conception (ROC).
- Le **chapitre 5** présente l'élaboration et l'implantation d'un autre modèle de laboratoire par enquête, *progression conceptuelle basée sur les ressources*, en biologie, développée en recherche étude de cas approche.
- Le **chapitre 6**, cette fois une version augmentée d'un article publié dans des actes de congrès, présente un aspect particulier des retombées de notre recherche, c'est-à-dire la conception et l'animation de communautés de pratiques, portant initialement sur le laboratoire par enquête.
- Le **chapitre 7** présente une étude de cas qui décrit comment les membres d'un département de sciences ont modifié leur approche de l'enseignement, changeant ainsi la culture de l'ensemble du département.

## Terminologie fréquemment utilisée

l'apprentissage de la démarche scientifique	communautés de pratique (CdP)
le laboratoire par enquête	« la crème glacée de George »
un étayage	QCAL
recherche orientée par la conception (ROC)	connaissances épistémologiques

# CHAPITRE UN : Introduction

---

## 1.1 Problématique et cadre conceptuel

Un laboratoire rempli de dispositifs complexes, de personnes en sarraus blancs où chacun est affairé à réaliser exactement les mêmes manipulations que son voisin. Voilà le modèle typique du laboratoire de science au collégial. Les étudiant·e·s sont tous préoccupés et espèrent obtenir le « bon » résultat, celui attendu par l'enseignant, celui qui est prévu par la théorie. Cette vision Harry Potter-esque est digne de la classe du professeur Rogue, où les élèves de Poudlard reçoivent des mauvais points quand ils n'arrivent pas à répliquer parfaitement la potion du jour. Aussi répandue qu'elle soit au collégial, cette approche pédagogique du laboratoire contrevient fondamentalement à l'épistémologie des sciences expérimentales.

Plusieurs études montrent que les laboratoires de type « recette », où les étudiant·e·s doivent suivre un protocole qui ressemble à une recette de cuisine, ne sont pas appropriés pour faire développer l'autonomie des étudiant·e·s, en particulier pour tout ce qui a trait à l'apprentissage de la prise de décision. En effet, ces protocoles prédéfinis et structurés linéairement ne contribuent pas pleinement à la croissance conceptuelle des étudiant·e·s et à leur développement d'une compréhension de la nature de la science et de son épistémologie (Adams et al., 2006). Ce n'est évidemment pas en répétant un protocole fermé qu'on peut comprendre que la science se bâtit dans une démarche expérimentale qui est exploratoire, itérative et passe par un raisonnement hypothético-déductif. Les protocoles fermés ne permettent pas d'apprendre les caractéristiques propres de l'approche scientifique : l'approche exploratoire, itérative et souvent non linéaire qui peut même mener à des bifurcations ou abandons d'expériences en cours de route.

Il demeure que les laboratoires dits « traditionnels », au sens où ils ne sont pas des laboratoires par enquête, ont aussi leur utilité dans l'enseignement des sciences expérimentales. En effet, un laboratoire traditionnel avec un protocole optimisé et efficace permet de couper court à plusieurs aléas de la « vraie vie de laboratoire », c'est-à-dire des méthodes qui ne fonctionnent pas du premier coup, qui nécessitent de l'optimisation, qui finissent par s'avérer inadéquates pour atteindre les buts recherchés, etc. Dans un contexte réel, de tels laboratoires « traditionnels » peuvent s'apparenter à des procédures standardisées en laboratoires, qui visent à atteindre des résultats reproductibles et rapides. Pour les mêmes raisons qu'ils sont utiles en laboratoire professionnel, de tels protocoles peuvent aussi être utiles en laboratoire d'enseignement : comme ils permettent d'obtenir des résultats rapidement, ils peuvent être réalisés pendant une période de cours; comme ils permettent d'obtenir à tout coup des résultats fiables, ils peuvent être utilisés pour faire apprendre aux étudiant·e·s à analyser des données fiables; comme ils permettent d'être réalisés de façon standardisée, ils permettent à tous.tes les étudiant·e·s d'apprendre à utiliser en même temps les mêmes appareils et les mêmes techniques de laboratoire. Il est donc important de distinguer les fins des laboratoires dans un cursus d'enseignement collégial (Mohrig, 2004). Les écrits de recherche qui préconisent l'implantation de laboratoires par enquête guidée dans l'enseignement le font parce qu'apprendre à répéter des protocoles standardisés n'est souvent pas suffisant pour une expérience éducative complète, et que l'apprentissage de l'autonomie expérimentale doit aussi faire partie du corpus.

Lorsqu'il n'y a pas d'expériences de laboratoire plus ouvertes dans un programme d'étude, cela mène à un manque fondamental pour les étudiant·e·s collégiaux. Ce problème a été mis en évidence dans les travaux préparatoires à l'élaboration du nouveau programme de sciences de la nature, 200.B1, dont l'implantation obligatoire dans les établissements collégiaux doit se faire au plus tard à l'automne 2024 (MÉES, 2021). On note en particulier que les diplômés de l'ancien programme 200.B0 qui est actuellement en vigueur dans la plupart des établissements « manquent d'initiative au moment de mettre en œuvre une démarche scientifique. Ils sont habitués à suivre des protocoles prédéterminés et sont pris au dépourvu lorsqu'ils se trouvent devant un problème ouvert, qu'ils doivent résoudre en établissant eux-mêmes la marche à suivre » (ÉduConseil, 2014). Comment nos étudiant·e·s pourraient-ils développer davantage leur autonomie dans l'application de la démarche scientifique ?

Certes, un changement de la façon de concevoir les cours de sciences, et en particulier les laboratoires, semble essentiel.

L'autre extrême, les laboratoires par découverte sans guidage, semblent quant à eux tout aussi problématiques qu'un corpus de laboratoire uniquement composé d'expériences «recettes» (Kirschner et al., 2006). Au niveau collégial, les connaissances scientifiques des étudiant·e·s ne sont pas encore assez développées - du moins, à défaut d'un accompagnement longitudinal spécifique en ce sens - pour leur permettre d'apprendre par la découverte les notions hautement spécialisées du programme. Le type de laboratoire par enquête, et le degré de liberté offert, doit être adapté aux cibles d'apprentissage et tenir compte des connaissances des étudiant·e·s (Gormally et al., 2009)

### 1.1.1 Le développement de la démarche scientifique : un but des laboratoires en sciences

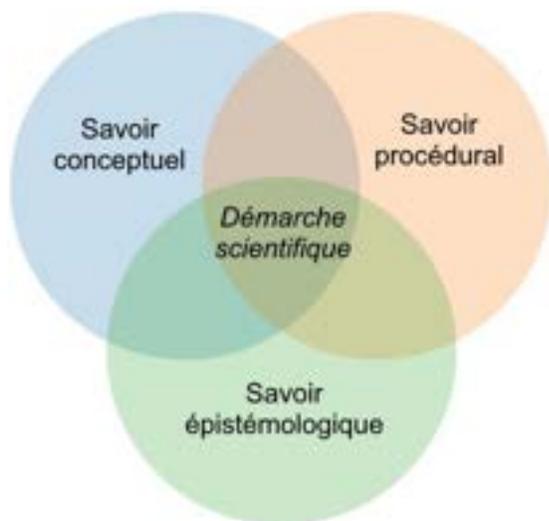
Bien que l'importance de l'apprentissage de l'autonomie scientifique dans les disciplines que sont la biologie, la chimie et la physique se manifeste dans les institutions académiques mondiales (Holmes et al., 2017), le problème de l'acquisition de la démarche scientifique est un problème auquel les écrits de recherche n'ont pas encore apporté une solution définitive. Et le texte ministériel du programme collégial québécois ne parviendra certainement pas à inspirer des pratiques pédagogiques visant le développement d'une telle autonomie. En effet, si, dans l'ancien programme de sciences (200.B0), il y avait une description assez précise de ce qu'on entendait par les apprentissages à réaliser en laboratoire, le nouveau programme (200.B1) n'en parle malheureusement plus. Dans le texte du programme 200.B0, on trouvait le passage suivante: « [les étudiant·e·s doivent apprendre à] observer, recueillir des données ; faire des inférences à partir de données, formuler des hypothèses ; effectuer des montages, utiliser correctement des instruments de mesure, expérimenter ; faire la synthèse de ses observations, en estimer l'incertitude, en déduire les résultats, les interpréter et les critiquer » (MÉES, 2021, p. 2). Le texte du programme 200.B1 ne présente plus une telle analyse de ce que les étudiant·e·s doivent apprendre en lien avec le laboratoire, se contentant de lister des critères de performance éparés dans les compétences de biologie, de chimie et de physique, sous un élément de la compétence libellé de façon identique pour les sept objectifs communs de ces trois disciplines: "Vérifier, par une démarche expérimentale, des concepts liés à la [biologie, chimie ou physique]" (MÉES, 2021). Le cadre ayant disparu, la responsabilité de la mise en place de pratiques pédagogiques permettant le développement de l'autonomie repose comme jamais entre les mains des professeur·es. De plus, on note que les étudiant·e·s doivent compléter l'objectif ONTC à la fin de leurs études, ce qui s'agit d'un cours porteur ou ils sont obligés de démontrer l'intégration de leurs acquis. Sans des expériences authentiques, il est peu probable que les étudiant·e·s soient en mesure d'intégrer de façon réaliste des approches particulières aux différentes disciplines.

L'apprentissage de la démarche scientifique passe par la conception et l'expérimentation, mais repose aussi sur ce qu'on nommera les trois piliers de la démarche scientifique, représentés à la figure 1.1. Le savoir **conceptuel** inclut les notions propres aux théories, aux lois, aux énoncés d'observation qui constituent le savoir dit théorique propre aux sciences. Le savoir **procédural** est constitué des habiletés de manipulation et des habiletés à analyser, interpréter et communiquer des résultats, en plus des habiletés de réaliser des choix appropriés au sujet des méthodes à employer. Le savoir **épistémologique**, quant à lui, est à la base même de la nature de la science, et il est constitué des croyances sur la science, de la conception de la science et de l'identité scientifique des étudiant·e·s.

Ces trois piliers soutiennent le processus primaire par lequel toute connaissance scientifique est obtenue : la démarche scientifique. La démarche (ou méthode) scientifique inclut des compétences de base comme se questionner, classer, inférer, communiquer. De plus, elle permet de développer le raisonnement critique et des compétences de plus haut niveau, comme l'identification et le contrôle des variables, l'élaboration de méthodes pour tester des hypothèses et répondre à des questions, et pour récolter et interpréter des données pertinentes pour ce faire (*National Association of Biology Teachers* [NABT] 2019). Pour faire ces tâches, les étudiant·e·s doivent **s'appuyer** sur un savoir conceptuel, **employer** un savoir procédural et **cadrer leur réflexion** dans un savoir épistémologique.

**Figure 1**

Les trois piliers de la démarche scientifique



### 1.1.2 Les contraintes relatives au laboratoire d'apprentissage scientifique

Certes, le laboratoire scientifique est centré sur l'étudiant·e et se définit comme une méthode d'apprentissage active (Chamberland et al., 2006). En sciences, il a été démontré régulièrement et de façon convaincante que les méthodes actives favorisent davantage l'apprentissage que l'enseignement traditionnel (Freeman et al., 2014; Hake, 1998). Toutefois, le laboratoire de sciences, faute de temps, de matériel ou de connaissances pédagogiques des professeur·e·s (Park et al., 2011), peut souffrir d'un guidage excessif. Cet excès de guidage peut étouffer la réflexion individuelle des étudiant·e·s et nuire au développement des trois piliers de la démarche scientifique, en freinant sa mise en œuvre. De plus, les membres de notre équipe de recherche ont travaillé sur les pédagogies actives depuis des années (voir, par exemple, Cassidy et al., 2019; Charles et al., 2019; Cormier & Voisard, 2018) et nous devons nous résoudre à admettre que les pédagogies actives ne sont pas suffisantes en elles-mêmes pour développer la démarche scientifique. Le cursus de laboratoire devrait permettre le déploiement de véritables questions, que les étudiant·e·s soient situé.e.s dans un contexte expérimental authentifiant, tout en recevant de la part de leur professeur·e le guidage suffisant pour leur permettre de progresser sans trop les contraindre.

Bien que beaucoup de temps de classe et de ressources matérielles soient investis dans les laboratoires, les étudiant·e·s du programme de Sciences de la nature ne développent pas suffisamment leur démarche scientifique. Les écrits de recherche sur l'apprentissage situé (Brown et al., 1989) suggèrent que la qualité pratique du laboratoire peut faciliter le développement de questions authentiques et ainsi des trois piliers soutenant la démarche scientifique. Il ne s'agit pas de regarder les objectifs curriculaires, mais plutôt de planifier et de concevoir un problème qui ne pourra pas être résolu en suivant simplement une recette prédéterminée. Il faudra permettre aux étudiant·e·s d'explorer les concepts pertinents et mettre au point par eux-mêmes une procédure scientifique qui leur permettra d'explorer des pistes de solution. Ce genre de problème doit être complexe, mais pas à un point tel qu'il se retrouverait alors en dehors de la zone proximale de développement des étudiant·e·s, concept décrit par Vygotsky dans les années 1930 (Meirieu, 2019). Ce jeu de complexité peut constituer un blocage au changement de paradigme pour les professeur·es, même si ce changement est nécessaire et ouvertement reconnu.

Une autre tension existe : le temps important à consacrer aux activités de laboratoire peut pousser les professeur·e·s à fournir un guidage strict et très explicite, au détriment de l'aspect exploratoire que devrait prendre toute enquête expérimentale (Chinn & Malhotra, 2002). Comment les étudiant·e·s et étudiants peuvent-ils alors

développer une compréhension juste de la nature même de la science, si chaque fois qu'ils font une expérience de laboratoire, leur objectif est d'obtenir le « résultat attendu » ? Comment peuvent-ils percevoir l'idée fondamentale que les expériences en sciences ne mènent pas toujours au résultat attendu ? C'est souvent dans les résultats inattendus que se trouvent les plus grandes découvertes scientifiques.

Des professeur·e·s peuvent ressentir une tension entre l'aspect conceptuel et l'aspect épistémologique des apprentissages. En s'assurant que tous les étudiant·e·s apprennent les concepts de la même façon, néglige-t-on le développement de leur compréhension individuelle de la nature de la science ? L'autorité des experts, c'est ce dont la science cherche à se délester. Comme l'a si bien dit Richard Feynman, lauréat du Nobel de physique de 1965, « la science est la croyance en l'ignorance des experts »<sup>1</sup> (Feynman, 1999). En sciences, les questions, et surtout l'approche prise pour les poser, sont souvent plus importantes que les réponses. Pour construire son identité scientifique, il faut comprendre que la science est d'abord et avant tout une façon structurée de questionner. Or, nos étudiant·e·s n'ont pas suffisamment accès à ce genre de modèle de questionnement.

## 1.2 Développement de la démarche scientifique : problèmes et obstacles

Les expériences de laboratoire réalisées dans un cadre scolaire s'appuient sur les connaissances conceptuelles et permettent de comprendre l'épistémologie des disciplines. Le cœur de leur intérêt pédagogique repose sur le développement du pilier « connaissances procédurales » de la démarche scientifique. Les connaissances procédurales, au sens où on l'entend dans le cadre de la démarche scientifique, concernent toutes les connaissances à mobiliser pour réaliser une expérimentation authentique. Les connaissances procédurales incluent les habiletés de manipulation du matériel de laboratoire, mais surtout l'habileté de déployer une méthode efficace pour atteindre un objectif expérimental, c'est-à-dire pour mettre en action la démarche scientifique. Les étudiant·e·s doivent pouvoir poser des questions de recherche, sélectionner les variables à étudier, concevoir la méthode, planifier les mesures à prendre, mettre en action cette méthode pour recueillir les données, trier, transformer et juger de la valeur et de la précision de ces données, puis tirer des conclusions en généralisant leurs observations tout en gardant un regard critique (Chinn & Malhotra, 2002). Il s'agit ici du cœur même de la démarche scientifique.

Comme mentionné plus haut, lorsque les universités ont été appelées à produire le profil attendu des diplômés du programme de sciences de la nature, les intervenants consultés ont souligné que « les élèves s'intéressent plus au résultat de la démarche scientifique, soit à la solution du problème, qu'à la démarche elle-même. Pourtant, c'est la démarche, qui suppose d'analyser le problème, de le comprendre en profondeur, d'établir la meilleure manière de faire pour le résoudre, de chercher plusieurs solutions possibles, d'établir des hypothèses et de les infirmer ou confirmer, de procéder par essais et erreurs, qu'il importe de maîtriser » (ÉduConseil, 2014). Dans un cursus de laboratoires traditionnels, les étudiant·e·s ne sont pas mis dans une situation où ils peuvent développer de telles attitudes, et c'est ce qui explique les lacunes dans leur formation actuelle.

## 1.3 Ouvrir l'enseignement des sciences : la pédagogie par enquête

Une solution largement recommandée par les écrits de recherche en éducation est l'approche par enquête guidée (*National Research Council* [NRC], 2000). Les laboratoires ne doivent pas être le lieu d'une simple vérification de concepts et de principes déjà enseignés : les étudiant·e·s et les étudiants doivent pouvoir y faire la réelle expérience de la science (*American Chemical Society* [ACS], 2012). Même si un nombre considérable de recherches ont été menées récemment sur les pédagogies actives (voir, par exemple, Freeman et al., 2014), ces recherches se limitent la plupart du temps à l'environnement de la classe. Rarement les chercheur·e·s vont-ils observer ce qui se déroule en laboratoire.

---

<sup>1</sup> “*Science is the belief in the ignorance of experts. When someone says ‘science teaches such and such’, he is using the word incorrectly. Science doesn’t teach it; experience teaches it.*”

La pédagogie par enquête est une façon de concevoir les leçons en laissant un peu plus d'ouverture que dans des activités traditionnelles. Les étudiant·e·s sont alors appelés à prendre plus de décisions, sur différents aspects de l'activité. L'enquête en sciences peut se caractériser par le niveau d'ouverture, ou à l'opposé, par le niveau de guidage offert par les professeur·es. La figure ci-dessous classe les différents types de l'enquête en sciences.

**Figure 1.2**  
Différents niveaux d'enquête en sciences (adapté de Buck et al., 2008).

Caractéristique	Niveau 0 : vérification	Niveau ½ : enquête structurée	Niveau 1 : enquête guidée	Niveau 2 : enquête ouverte	Niveau 3 : enquête authentique
Problème/question	Fourni	Fourni	Fourni	Fourni	Non fourni
Théorie/contexte	Fourni	Fourni	Fourni	Fourni	Non fourni
Procédures/démarche	Fourni	Fourni	Fourni	Non fourni	Non fourni
Analyse des résultats	Fourni	Fourni	Non fourni	Non fourni	Non fourni
Communication des résultats	Fourni	Non fourni	Non fourni	Non fourni	Non fourni
Conclusions	Fourni	Non fourni	Non fourni	Non fourni	Non fourni

La figure 1.2 (Buck et al., 2008) montre les différents niveaux d'enquête : le niveau 0 est le laboratoire le plus traditionnel, soit le laboratoire de vérification. Les auteurs s'entendent pour le considérer tout de même comme un laboratoire d'enquête, mais avec le maximum de guidage, et ce sur toutes les caractéristiques de l'activité (voir première colonne). L'enquête guidée, au niveau 1, est caractérisée par une approche semi-structurée, dans laquelle les professeur·e·s sont tout de même appelés à fournir un guidage pour la question de recherche, le contexte théorique et la méthode à suivre. Ce n'est qu'au niveau 2, l'enquête ouverte, que les étudiant·e·s développeront leur propre méthode, et ensuite seulement au niveau 3 qu'ils choisiront eux-mêmes leur question de recherche (enquête authentique). Sur l'axe horizontal est représenté le niveau de guidage, du maximum de guidage à gauche au minimum de guidage à droite.

Ce modèle des laboratoires par enquête est toutefois assez archétypal, et ne nous semble pas prendre en considération toutes les possibilités selon lesquelles les étudiant·e·s peuvent avoir de la latitude pour prendre en charge une démarche expérimentale. En effet, il nous apparaît que cette typologie simplifiée ne permet pas de représenter adéquatement tous les possibles du laboratoire par enquête. Aucune typologie plus détaillée n'existait, à notre connaissance, dans les écrits de recherche avant que nous menions ce projet.

Mais peu importe la typologie retenue, il demeure qu'il existe des limites à l'enquête : ces limites se manifestent particulièrement aux extrêmes du continuum du niveau de structure. Si un guidage trop directif est offert, on se trouve dans une activité d'apprentissage traditionnelle, dans laquelle les étudiant·e·s et étudiants sont plutôt passifs ; on sollicite très peu des prises de décision de leur part. À l'opposé, dans des activités d'enquête très ouvertes, le manque de guidage peut les déstabiliser et compromettre leur apprentissage puisque l'activité sera trop complexe pour le novice qui n'a pas encore les compétences pour poursuivre les objectifs. Il faut donc trouver le juste milieu, le support optimal, ni trop guidé, ni trop ouvert. Pour trouver ce niveau optimal, il nous apparaissait nécessaire de définir adéquatement ce qu'est le laboratoire par enquête, notamment en décrivant les types d'étayage, les possibilités d'action offertes aux étudiant·e·s, et la structure du cours ou du programme permettant la progression des apprentissages.

À ce propos, les tenants de l'apprentissage situé (Lave & Wenger, 1991) recommandent une posture semi-structurée, offrant un étayage (traduction française du concept de « *scaffolding* ») réfléchi, adéquat et cohérent avec le niveau des étudiant·e·s, dans une approche d'enquête guidée, voire d'enquête ouverte avec des étudiant·e·s plus

expérimentés. Pour des étudiant·e·s au début de leurs études collégiales, l'enquête guidée, au niveau 1, semble donc offrir un bon compromis entre l'ouverture et le guidage directif, que nous nommerons l'étayage adéquat. L'enquête guidée permet en effet de développer une compréhension conceptuelle des notions scientifiques, d'apprendre à mener une enquête scientifique et de comprendre la façon dont la construction des savoirs scientifiques fonctionne (Blanchard et al., 2010). Ceci répond aux visées soulevées plus haut autour des piliers de la démarche scientifique.

## 1.4 L'étayage des connaissances en contexte d'apprentissage par enquête

L'étayage des connaissances est la façon dont les étudiant·e·s sont guidés vers l'accomplissement d'une tâche d'apprentissage. Il leur permet d'accomplir des tâches plus difficiles et plus complexes que s'ils les réalisaient sans ce type de guidage (Reiser & Tabak, 2014). En effet, l'étayage aide à comprendre le problème, à réaliser les différentes étapes et à progresser (Hmelo-Silver et al., 2007). Les formes d'étayage possibles sont très variées.

Très peu de recherches se sont attardées à caractériser cet étayage adéquat pour l'enquête guidée (Blanchard et al., 2010). Quel type de questions les professeur·e·s doivent-ils poser aux étudiant·e·s ? Quelle rétroaction doivent-ils fournir ? Quelles informations doivent-elles être rendues disponibles aux étudiant·e·s pour que l'enquête soit couronnée de succès ? Pour répondre à ces questions, il semblerait que le type d'activité réalisée, les concepts abordés, le niveau où sont rendus les étudiant·e·s dans le programme semblent tous des paramètres à considérer, mais peu de recherches ont étudié quels facteurs doivent être mis en place. À cette fin, Chinn et Malhotra (2002) ont proposé un cadre d'analyse pour les activités d'enquête guidée qui semble prometteur, qui classe les activités selon le niveau de guidage offert et les tâches cognitives demandées aux étudiant·e·s. Cette analyse se réalise sur le matériel pédagogique, et différents aspects de la tâche sont analysés, notamment quel agent (professeur·e ou étudiant·e) pose la question de recherche, choisit les variables, développe l'échantillon contrôle, choisit le nombre d'observations à analyser, etc.

De leur côté, Kawalkar et Vijapurkar (2013) ont développé une grille d'analyse des questions posées par les professeur·e·s durant les activités d'enquête guidée, de façon à caractériser le type d'étayage fourni. Les types de questions que ces autrices ont identifiées visent, par exemple, à diriger l'attention des étudiant·e·s et des étudiants sur un aspect de l'expérience, à leur donner un indice, à réactiver leurs connaissances antérieures, etc. Néanmoins, la façon de fournir un étayage adéquat demeure une question de recherche ouverte (Hmelo-Silver et al., 2007), et une piste de solution nécessite probablement de considérer aussi le type de raisonnement demandé de la part des étudiant·e·s.

Ces doutes sur la meilleure façon d'implanter avec succès l'enquête guidée dans les classes de sciences expliquent peut-être en partie la réticence des professeur·e·s à la mettre en place. En effet, rien n'est moins engageant que d'essayer une méthode pédagogique qui semble prometteuse, mais dont on ne sait pas exactement comment la déployer. Une approche raisonnée de recherche orientée par la conception peut sembler à la fois permettre de répondre aux interrogations soulevées par les écrits de recherche et aider les professeur·e·s qui souhaitent mettre en place l'enquête guidée dans leur classe.

Une des limitations majeures des nouvelles pédagogies constructivistes est qu'elles font souvent défaut sur le plan des évaluations systématiques et compréhensives (Kirschner & van Merriënboer, 2017). Notre objectif dans cette recherche était de créer une nouvelle approche d'acquisition de la méthode scientifique.

## 1.5 Objectifs de la recherche

Afin de combler les lacunes identifiées dans les écrits de recherche, de même que pour mieux décrire les laboratoires par enquête, la façon de les développer et de les implanter avec un étayage adéquat, nous avons mené la présente recherche avec les quatre objectifs généraux suivants. L'objectif 1 sert principalement à établir une

ligne de base, à mesurer la situation de l'enseignement par enquête avant l'implantation de n'importe quelle forme d'intervention de la part de l'équipe de recherche. L'objectif 2 est une exploration de développement d'outils pour permettre l'observation d'un savoir difficilement cernable, celui du développement de la démarche scientifique. L'objectif 3 explore la manière de concevoir des étayages pour soutenir l'apprentissage avec des laboratoires par enquête. L'objectif 4, quant à lui, est une plongée au cœur de changement, pour laquelle la description de l'élaboration et la mise en pratique de la pédagogie des laboratoires par enquête, par les communautés de pratique, sont décrites en profondeur. Ensuite, nous détaillons chacun des objectifs.

### Objectif particulier 1 :

#### *Portrait de l'enseignement par enquête dans les cours de sciences*

Le chapitre 2 présente les résultats relatifs à cet objectif. Nous avons sondé les enseignant·e·s de sciences de la nature pour tracer le portrait de ce qui se fait déjà en ce qui concerne la pédagogie par enquête, notamment les formes d'étayage sont conçues et utilisées par ces enseignant·e·s dans nos propres établissements au Québec. L'objectif particulier 1 a mené à un ensemble de quatre questions de recherche :

- Q1.a : Quelles méthodes d'enseignement par enquête les professeur·e·s de sciences emploient-ils/elles dans les cours de sciences?
- Q1.b : Précisément quels laboratoires d'enquête ces professeur·e·s utilisent-ils/elles?
- Q1.c : Dans quel contexte ces laboratoires sont-ils implantés (par exemple, à quel moment de la session, à quelle fréquence, etc.)?
- Q1.d : Quelles formes d'étayage (par exemple, très directif, plus ouvert, etc.) les professeur·e·s utilisent-ils/elles dans le cadre de ces laboratoires par enquête?

### Objectif particulier 2 :

#### *Portrait de la trajectoire de la compréhension de la démarche scientifique par les étudiant·e·s et de la façon dont elle évolue avec l'approche du laboratoire par enquête.*

Le chapitre 3 présente les résultats recueillis chez les étudiant·e·s qui permettent de répondre à cet objectif. Nous avons examiné l'impact d'un laboratoire traditionnel comparé à des formes de laboratoires par enquête sur le développement de la compréhension des étudiant·e·s des démarches scientifiques. En effet, ce concept est important, mais complexe à cerner dans ses manifestations chez les étudiant·e·s. Cet objectif visait à répondre à deux questions de recherche :

- Q2.a : Comment observer et témoigner de l'apprentissage de la démarche scientifique?
- Q2.b : Les étudiant·e·s acquièrent-ils/elles une compréhension de la démarche scientifique en participant à toutes les formes de laboratoires scientifiques? Existe-t-il des différences entre l'apprentissage observé dans les laboratoires traditionnels et les formes de laboratoires par enquête?

### Objectif particulier 3 :

#### *Mener une recherche orientée par la conception (ROC) pour explorer l'impact des étayages et leur rôle dans les laboratoires par enquête.*

Le chapitre 4 et 5 présente les résultats de notre examen des formes d'étayage au sein des laboratoires par enquête influence le développement d'apprentissage de la démarche scientifique chez les étudiant·e·s. Le chapitre 4 présente la conception d'étayages pour un laboratoire par enquête dans le cadre d'un cours de physique. Le chapitre 5 présente quant à lui la conception des activités basées sur l'enquête guidée dans le cadre d'un cours de biologie. Cette étude de cas présente une alternative au modèle typique qui réduit l'orientation de manière linéaire. Cette

innovation des laboratoires par enquête montre qu'une progression sur les ressources peut également être un modèle efficace. Cet objectif mène ainsi à trois questions de recherche :

- Q3.a : Est-ce que l'apprentissage de la démarche scientifique peut être assuré lors de la mise en pratique d'une pédagogie utilisant les laboratoires par enquête?
- Q3.b : Parmi les instances de la démarche scientifique sur lesquelles l'étayage peut porter dans un laboratoire par enquête (par exemple, sur la question de recherche à poser, sur la méthode à développer ou sur la façon d'analyser les résultats), sur laquelle ou lesquelles l'étayage constitue le meilleur support pour le développement de la démarche scientifique chez les étudiant·e·s (dans les sphères conceptuelle, procédurale et épistémologique)?
- Q3.c : Comment le contexte (par exemple, en salle de classe ou au laboratoire) et le choix du moment dans la session pour la mise en œuvre de l'intervention d'étayage ont-ils un impact sur le développement de la démarche scientifique?

#### Objectif particulier 4 :

*Étudier les différences entre les disciplines scientifiques en ce qui concerne l'intégration de la pédagogie par enquête et explorer les moyens de favoriser cette mise en place.*

Le chapitre 6 et 7, les résultats d'une recherche-action qui a suivi deux modèles de changement de pratiques pour la diffusion des connaissances sur les laboratoires par enquête. Le chapitre 6 présente notre approche est axée sur le développement de communautés de pratique à travers des ateliers, en mettant particulièrement l'accent sur les communautés existantes. L'objectif de ces ateliers était d'élargir ces communautés en les orientant spécifiquement vers le laboratoire par enquête guidée, visant ainsi à faciliter l'adhésion des enseignant·e·s. L'objectif était de leur fournir des communautés de soutien pour les accompagner dans cette démarche, en vue de répondre à nos objectifs de recherche. De plus, les entrevues avec les professeur·e·s (chapitre 2) montrent aussi les différences que nous avons observées entre les disciplines. Le chapitre 7, de plus est une étude de cas approfondie d'un département qui a mis en place des laboratoires par enquête ; il montre comment la culture départementale peut influencer le climat d'innovation pédagogique, et comment ce climat d'innovation peut, en retour, contribuer au développement de la démarche scientifique chez les étudiant·e·s. La question de recherche liée à cet objectif est :

- Q4.a : En quoi le contenu disciplinaire particulier à chaque discipline a-t-il un impact sur la façon dont l'étayage est implanté et ultérieurement sur le développement de l'apprentissage scientifique ?
- Q4.b Comment peut-on soutenir et favoriser l'évolution des professeur·e·s vers l'adoption de laboratoires par enquête, tout en encourageant leur collaboration mutuelle pour un changement fructueux ?

## 1.6 Références (chapitre une)

- ACS. (2012). *Guidelines and Recommendations for the Teaching of High School Chemistry*. The American Chemical Society.
- Adams, W. K., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Dubson, M., Finkelstein, N. D., & Wieman, C. E. (2006). New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics : The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2(1), 010101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.010101>
- Becheikh, N., Ziam, S., Idrissi, O., Castonguay, Y., & Landry, R. (2010). How to improve knowledge transfer strategies and practices in education ? Answers from a systematic literature review. *Research in Higher Education Journal*, 7, 21.

- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? : A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616. <https://doi.org/10.1002/sce.20390>
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42. <https://doi.org/10.3102/0013189X018001032>
- Brownell, S. E., Price, J. V., & Steinman, L. (2013). Science communication to the general public : Why we need to teach undergraduate and graduate students this skill as part of their formal scientific training. *Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 12(1), E6-E10.
- Buck, L. B., Bretz, S. L., & Towns, M. H. (2008). Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory. *Journal of College Science Teaching*, 38(1), 52-58.
- Cassidy, R., Charles, E. S., & Slotta, J. D. (2019). Editorial : Active Learning: Theoretical Perspectives, Empirical Studies, and Design Profiles. *Frontiers in ICT*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fict.2019.00003>
- Chamberland, G., Lavoie, L., & Marquis, D. (2006). *20 formules pédagogiques*. Les Presses de l'université du Québec.
- Charles, E. S., Colledge, D., Slotta, J. D., Cassidy, R., Dugdale, M., Colledge, J. A., Lenton, K., Colledge, V., & Zhang, C. (2019). *How Teachers Implement Active Learning : Typologies of Orchestration Flow*.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools : A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218. <https://doi.org/10.1002/sce.10001>
- Cormier, C., Hughes, S., Laroche, K., Turcotte, V., Dugdale, M., Lenton, K., Adams, R., & Charles, E. (2023, juin 14). A community of practice to bridge research and practice in science education. *Proceedings of the ISLS Conference Program*. ISLS Annual Meeting, Montréal, QC.
- Cormier, C., & Voisard, B. (2018). Flipped Classroom in Organic Chemistry Has Significant Effect on Students' Grades. *Frontiers in ICT*, 4, 30. <https://doi.org/10.3389/fict.2017.00030>
- ÉduConseil. (2014). *Le profil attendu par les universités de la part des élèves diplômés des programmes d'études préuniversitaires en sciences*. Gouvernement du Québec. [http://www.lareussite.info/wp-content/uploads/2017/01/2014-03\\_educonseil\\_profil-attendu-des-universites-eleves-diplomes-sciences.pdf](http://www.lareussite.info/wp-content/uploads/2017/01/2014-03_educonseil_profil-attendu-des-universites-eleves-diplomes-sciences.pdf)
- Feynman, R. (1999). *The Pleasure Of Finding Things Out*. Perseus Publishing. <http://archive.org/details/the-pleasure-of-finding-things-out>
- Fonds de recherche sur la société et la culture. (2011). *Plan d'action en matière de transfert des connaissances 2011-2014*. Gouvernement du Québec. [https://frq.gouv.qc.ca/app/uploads/2021/04/plan-action-transfert-connaissances\\_2011-2014.pdf](https://frq.gouv.qc.ca/app/uploads/2021/04/plan-action-transfert-connaissances_2011-2014.pdf)
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Science*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Gormally, C., Brickman, P., Hallar, B., & Armstrong, N. (2009). Effects of Inquiry-based Learning on Students' Science Literacy Skills and Confidence. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 3(2). <https://doi.org/10.20429/ijstl.2009.030216>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods : A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), Article 1. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hemsley-Brown, J. (2005). Using research to support management decision making within the field of education. *Management Decision*, 43(5), 691-705. <https://doi.org/10.1108/00251740510597716>
- Henderson, C., Beach, A., & Finkelstein, N. (2011). Facilitating change in undergraduate STEM instructional practices : An analytic review of the literature. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(8), 952-984. <https://doi.org/10.1002/tea.20439>
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning : A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107. <https://doi.org/10.1080/00461520701263368>
- Kawalkar, A., & Vijapurkar, J. (2013). Scaffolding Science Talk : The role of teachers' questions in the inquiry

- classroom. *International Journal of Science Education*, 35(12), Article 12. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.604684>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work : An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1)
- Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. G. (2017). *Ten Steps to Complex Learning (third edition) : A Systematic Approach to Four-Component Instructional Design* (3e éd.). Routledge.
- Landry, R., Becheikh, N., Amara, N., Ziam, S., Idrissi, O., & Castonguay, Y. (2008). *La recherche, comment s'y retrouver ? Revue systématique des écrits sur le transfert des connaissances en éducation* (28-2847-01). Gouvernement du Québec.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning : Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press.
- Ma, S., Herman, G. L., West, M., Tomkin, J., & Mestre, J. (2019). Studying STEM Faculty Communities of Practice through Social Network Analysis. *The Journal of Higher Education*, 90(5), 773-799. <https://doi.org/10.1080/00221546.2018.1557100>
- Marion, C., & Houlfort, N. (2015). Transfert de connaissances issues de la recherche en éducation : Situation globale, défis et perspectives. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 18(2), 56-89. <https://doi.org/10.7202/1036033ar>
- MÉES. (2021). *Sciences de la nature (200.B1), Programme d'études préuniversitaires, Enseignement collégial*. Gouvernement du Québec. <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/education/publications-adm/cegeps/services-administratifs/Programmes-etudes-preuniversitaires/200.B1-2021-sciences-nature.pdf>
- Meirieu, P. (2019). À l'école, offrir du temps pour la pensée. *Journal français de psychiatrie*, 47(1), 13-23. <https://doi.org/10.3917/jfp.047.0013>
- Mohrig, J. R. (2004). The Problem with Organic Chemistry Labs. *Journal of Chemical Education*, 81(8), 1083. <https://doi.org/10.1021/ed081p1083>
- NABT. (2019). *Position Statements : Role of Laboratory and Field Instruction in Biology Education*. <https://nabt.org/Position-Statements-Role-of-Laboratory-and-Field-Instruction-in-Biology-Education>
- NRC. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards : A Guide for Teaching and Learning | The National Academies Press*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9596>
- Park, S., Jang, J.-Y., Chen, Y.-C., & Jung, J. (2011). Is Pedagogical Content Knowledge (PCK) Necessary for Reformed Science Teaching? : Evidence from an Empirical Study. *Research in Science Education*, 41(2), 245-260. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9163-8>
- Reiser, B. J., & Tabak, I. (2014). Scaffolding. Dans *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (2e éd.). Cambridge University Press.
- Riopel, M., Potvin, P., & Vázquez-Abad, J. (Éds.). (2009). *Utilisation des technologies pour la recherche en éducation scientifique*. Les Presses de l'Université Laval.

# CHAPITRE DEUX : Objectif 1

---

Les enseignants sont les agents du changement et déterminent comment des pédagogies innovantes telles que les laboratoires par enquête peuvent être mises en œuvre en classe (Haney, Lumpe, Czerniak & Egan, 2002). Crawford (2000) affirme que la base de connaissances des enseignants, y compris la connaissance pédagogique du contenu, est nécessaire pour une mise en œuvre fidèle. L'adoption efficace des laboratoires par enquête nécessite une compréhension minutieuse des pratiques pédagogiques des enseignants. Deux approches majeures sont généralement adoptées : l'observation en classe (par exemple, Smith, Jones, Gilbert et Wieman, 2013 ; Hora, Oleson et Ferrare, 2012 ; Piburn et al., 2000) et l'enquête d'auto-déclaration des enseignants (par exemple, Walter, Henderson, Beach & Williams, 2016 ; Wieman & Gilbert, 2014 ; Trigwell Prosser, 2004). Alors que les méthodes d'observation sont censées avoir une validité élevée, elles nécessitent un investissement important en temps et en ressources. L'auto-déclaration via des enquêtes faciles à évaluer nécessite un investissement beaucoup plus restreint en temps, mais elle comporte le risque de ne pas être en accord avec les observations (Kane, Sandretto et Heath, 2002). La recherche nous indique que les croyances des enseignants façonnent leur pratique pédagogique (Harwood, Hansen et Lotter, 2006 ; Keys & Bryan, 2001).

Ce chapitre présente notre réponse au premier objectif de notre recherche : dresser un portrait de l'enseignement utilisant le laboratoire par enquête. Nous décrivons ici comment nous avons répondu aux questions de recherche (voir ci-dessous), en commençant par un sondage développé par notre équipe – le Questionnaire de caractérisation des activités de laboratoire (QCAL). Ce sondage nous a permis de répertorier ce que les enseignants de plusieurs cégeps font en termes de mise en œuvre de ce qu'ils considèrent comme des laboratoires basés sur l'enquête et quelles formes d'étayage ils ont envisagé d'utiliser.

- Q1.a : Quelles méthodes d'enseignement par enquête les professeur·e·s de sciences emploient-ils dans les cours de sciences ?
- Q1.b : Précisément quels laboratoires d'enquête ces professeur·e·s utilisent-ils ?
- Q1.c : Dans quel contexte sont implantés ces laboratoires (par exemple, à quel moment de la session, à quelle fréquence, etc.) ?
- Q1.d : Quelles formes d'étayage (par exemple, très directif, plus ouvert, etc.) les professeur·e·s utilisent-ils dans le cadre de ces laboratoires par enquête ?

## 2.0 Questionnaire pour la caractérisation des activités de laboratoire (QCAL)

Le Questionnaire de caractérisation des activités de laboratoire (QCAL) a été développé par l'équipe de recherche. Il a inclus des éléments liés aux types d'activités de laboratoire réalisées par les enseignants (avec ou sans enquête), au soutien fourni aux étudiants pendant les travaux en laboratoire, et au contexte de l'enseignement par enquête (notamment le moment où ces activités se déroulent principalement et leur fréquence au cours de la session). Le questionnaire a également permis de recueillir des informations sur le profil professionnel des enseignants, telles que les années d'expérience, la formation, l'expérience avec les laboratoires par enquête, etc.

Composé de 20 questions, le sondage aborde trois autres sections : la culture départementale, les méthodes d'enseignement, et la poursuite de la participation. Les participants sont invités à répondre de manière volontaire, avec une estimation de temps d'environ 15 minutes. Les questions couvrent des aspects tels que la discipline enseignée, l'expérience professionnelle, les méthodes d'enseignement, la prise de décision concernant les activités de laboratoire, et la perception des changements proposés par les enseignants. Un courriel d'invitation accompagne le sondage, fournissant des informations détaillées et sollicitant le consentement éclairé en ligne.

Pour les questions relatives aux méthodes d'enseignement, nous nous sommes inspirés du Postsecondary Instructional Practices Survey (PIPS; Walter et al. (2016)) pour élaborer le QCAL. Le PIPS est un questionnaire

de 33 items évaluant l'engagement pédagogique d'un enseignant, distinguant les approches centrées sur l'étudiant ou sur l'enseignant.

Le PIPS a été factorisé en deux ou cinq facteurs, mesurant des pratiques centrées sur l'instructeur ou l'étudiant, avec des sous-facteurs tels que les interactions étudiant-étudiant, l'engagement du contenu, les pratiques de livraison, l'évaluation formative et sommative. Les scores factoriels sont déterminés par des scores fractionnaires basés sur les réponses aux items liés. En se basant sur nos recherches précédentes (Charles et al., 2020), nous avons identifié six questions qui se regroupaient sur cet axe allant du centré sur l'enseignant au centré sur l'étudiant et nous avons publié une version révisée du PIPS pour prendre en compte notre analyse (Charles et al., 2020). Nous avons utilisé ces six questions, sous une forme légèrement modifiée, dans le QCAL. Les questions qui ont été extraites sont :

- Q13 : Je structure mes cours pour que les étudiants critiquent de manière constructive les idées des autres.
- Q12 : Je structure mes cours pour que les étudiants discutent régulièrement entre eux des concepts vus dans le cours.
- Q25 : Je structure mes cours de manière à donner aux étudiants de nombreuses occasions d'obtenir de la rétroaction de ma part.
- Q20 : Je donne de la rétroaction dans les travaux des étudiants sans leur attribuer une note officielle.
- Q30 : J'utilise fréquemment des activités d'apprentissage actif centrées sur l'étudiant dans mes cours.
- Q31 : Je travaille fréquemment avec d'autres collègues pour concevoir des activités d'apprentissage actif centrées sur l'étudiant.

Sur la base des réponses au QCAL, certains enseignants ont été invités à détailler davantage leurs laboratoires d'enquête à travers un autre sondage plus approfondi, le QCAL-EXCEL. Ce questionnaire, présenté sous forme de feuille de calcul Excel, a été conçu dans le but de recueillir des informations approfondies sur la manière dont les enseignants mettent en œuvre les laboratoires par enquête par rapport aux autres types de laboratoires dans leur enseignement. Il s'agit du degré de choix accordé aux étudiants dans ces différents aspects du laboratoire par enquête. Les éléments examinés englobent la formulation de la question de recherche, la mise en œuvre de la procédure expérimentale, la diversité des méthodes entre les étudiants, l'analyse des données, les résultats anticipés, l'étude des concepts théoriques en classe, ainsi que l'objectif spécifique du laboratoire. Les enseignants étaient encouragés à exprimer leurs choix en cochant les options pertinentes, permettant ainsi une évaluation détaillée des pratiques pédagogiques associées aux laboratoires par enquête.

## 2.1 Méthodologie

L'utilisation de l'échantillonnage volontaire a été jugée appropriée dans notre démarche, étant donné que notre objectif était de caractériser la nature des laboratoires par enquête. Nous avons cherché à obtenir un échantillonnage le plus large possible parmi les enseignants en sciences à travers le réseau, dans le but d'obtenir une vision représentative des laboratoires par enquête. Cette approche nous a permis de recueillir des perspectives diversifiées et de saisir la variété des pratiques pédagogiques liées aux enquêtes scientifiques au sein de notre réseau.

Le processus d'obtention du certificat d'éthique de la recherche auprès de différents collèges a nécessité une approche méthodique. Nous avons initié des contacts avec les parties pertinentes de chaque établissement, telles que les conseillers pédagogiques, les doyens et autres administrateurs, afin de faciliter le processus. Les formulaires requis ont été soigneusement complétés et soumis pour approbation auprès des instances appropriées de chaque collège. Cette démarche préalable était cruciale avant d'engager les enseignants dans le processus de complétion du QCAL. Cette approche stratégique visait à garantir la conformité éthique nécessaire tout en respectant les protocoles institutionnels spécifiques à chaque collège impliqué. À la fin, nous avons obtenu des certificats d'éthique de recherche auprès de plus de 25 collèges différents. Une fois les certificats reçus, nous avons pu approcher les enseignant.e.s pour qu'ils complètent le QCAL.

Afin de capturer un échantillon aussi large que possible des programmes en science nature, nous avons adopté une approche diversifiée pour mobiliser la participation des enseignants.e.s.. Nous avons tout d'abord collaboré avec nos propres établissements, comprenant quatre cégeps, à savoir Cégep André-Laurendeau, Cégep Dawson, Cégep John Abbott et Cégep Vanier. De plus, nous avons sollicité l'engagement des coordonnateurs de départements dans plusieurs établissements, notamment le Cégep Marie-Victorin, le Cégep de Sainte-Foy (chimie, physique), le Cégep Ahuntsic (chimie), le Cégep Montmorency (biologie, physique), le Cégep de Matane, le Cégep Lionel-Groulx, le Cégep Édouard-Montpetit et le Cégep de Rosemont. Nous avons également consulté une conseillère pédagogique au Cégep de l'Outaouais. Des rencontres ont été organisées avec différents départements, dont ceux d'Ahuntsic pour la biologie et la physique, Laflèche, Outaouais et Montmorency pour la chimie. De plus, malgré certaines tentatives qui n'ont pas abouti, nous avons persévéré dans nos efforts pour établir aussi des contacts par courriel avec d'autres cégeps. Cette diversité d'approches témoigne de notre engagement à susciter une participation étendue et collaborative de la part des professeurs.

Des statistiques descriptives ont été générées à partir des réponses au QCAL, et les laboratoires ont été classés selon les caractéristiques décrites. À la lumière des observations, l'équipe de recherche a proposé une typologie améliorée de l'enquête, grâce à l'analyse de groupement (cluster analysis) ou à des méthodes de variables latentes, offrant ainsi une description plus précise des types d'enquêtes mises en place dans le contexte collégial québécois.

De plus, une analyse exploratoire a été menée pour examiner d'éventuelles différences dans les formes de soutien utilisées par les enseignants ayant peu d'expérience en laboratoire par enquête par rapport à ceux qui en ont davantage. Cette méthodologie complète a permis de capturer une compréhension nuancée des pratiques d'enseignement par enquête dans le contexte collégial québécois.

## 2.2. Analyse des QCAL

Dans le cadre de l'étude QCAL, nous avons interrogé des enseignants de sciences de toute la province sur leurs expériences dans l'introduction de nouveaux modèles d'activités de laboratoire. Au total, nous avons reçu et analysé 158 questionnaires complétés, dont une brève analyse est présentée en **Annexe D**. Les questions suivaient trois thèmes principaux : (1) le contexte des enseignants (cégep, discipline), (2) leur approche pédagogique (participent-ils à l'apprentissage actif), et (3) leurs perceptions des défis à adopter de nouvelles pratiques pour les laboratoires.

L'image qui se dégage est que la plupart des enseignants ressentent que leurs contributions au renouvellement et à la réforme de leurs pédagogies de laboratoire sont reçues positivement, et que les principaux obstacles à la refonte des laboratoires sont la charge de travail, le budget et la disponibilité du matériel.

## 2.3. Analyse des classes latentes des typologies de laboratoire rapportées

Afin d'examiner la classification des différents types d'activités de laboratoire rapportées par les enseignants employant des laboratoires basés sur l'investigation, nous avons examiné les réponses au questionnaire QCAL étendu, dans lequel les enseignants ont classé chacun de leurs laboratoires au cours d'un semestre de l'un de leurs cours selon 6 items à choix multiples et 8 items binaires.

L'analyse des classes latentes (ACL) est une méthode statistique utilisée pour identifier des sous-groupes sous-jacents au sein d'un ensemble de données, sur la base de caractéristiques manifestes (McCutcheon, 1987). Cette méthode permet de découvrir des modèles distincts, non directement observables (c'est-à-dire latents), qui peuvent être déduits de données surabondantes (manifestes). L'ACL part du principe que la diversité des activités de laboratoire, par exemple, peut être regroupée en plusieurs classes latentes distinctes et mutuellement exclusives en fonction de ce qui est fourni aux étudiant.e.s (par exemple, la question de recherche, la méthodologie) et de l'objectif du laboratoire (par exemple, permettre aux étudiant.e.s de faire des choix). Ces classes sont conçues pour capturer et expliquer les relations et les similitudes entre ces variables manifestes.

La force principale de l'ACL est sa capacité à modéliser l'indépendance conditionnelle entre les variables observées une fois que l'appartenance à la classe latente est établie (Hagenaars & McCutcheon, 2002). Cela signifie que les caractéristiques d'une activité de laboratoire, lorsqu'elles sont classées dans une catégorie, sont supposées être indépendantes les unes des autres au sein de cette catégorie. Le modèle ACL est utilisé pour estimer les probabilités qui comprennent la probabilité que chaque activité de laboratoire appartienne à une classe latente spécifique et les probabilités conditionnelles d'observer certaines caractéristiques en fonction de l'appartenance à la classe.

En entreprenant cette enquête, nous souhaitons voir si les hiérarchies d'enquête décrites par Buck et al. (2008) et Blanchard et al. (2010) se reflétaient dans les laboratoires des enseignants s'identifiant comme employant des pédagogies IBL, et d'explorer la distribution des types de laboratoires employés par les enseignants s'auto-déclarant comme s'enquêtant dans des laboratoires basés sur l'enquête.

### 2.3.1 Les données

Les données consistaient en 406 laboratoires décrits par 59 enseignants différents qui ont rempli le questionnaire QCAL étendu. Ce questionnaire demandait aux répondants de classer chacune de leurs activités de laboratoire selon (1) qui a fourni la question de recherche ; (2) qui a fourni la méthode expérimentale ; (3) si la méthode expérimentale était unique, pouvait être variée, ou était commune à la classe mais appliquée dans des contextes différents, (4) qui a fourni les étapes de l'analyse, (5) si les résultats attendus étaient connus de l'étudiant-e, de l'enseignant-e, ou des deux ; et (6) si la théorie sous-jacente avait été explorée en classe. En outre, les axes indiquant si les laboratoires étaient destinés à exercer les compétences des étudiant-e-s à (7) suivre une procédure, (8) pratiquer une technique expérimentale particulière (par exemple, le titrage), (9) prendre des décisions fondées sur des preuves, (10) explorer de nouveaux concepts, (11) mieux apprendre des concepts déjà enseignés, (12) gérer un projet de recherche, (13) rédiger un rapport formel, ou (14) autres.

### 2.3.2 Modélisation

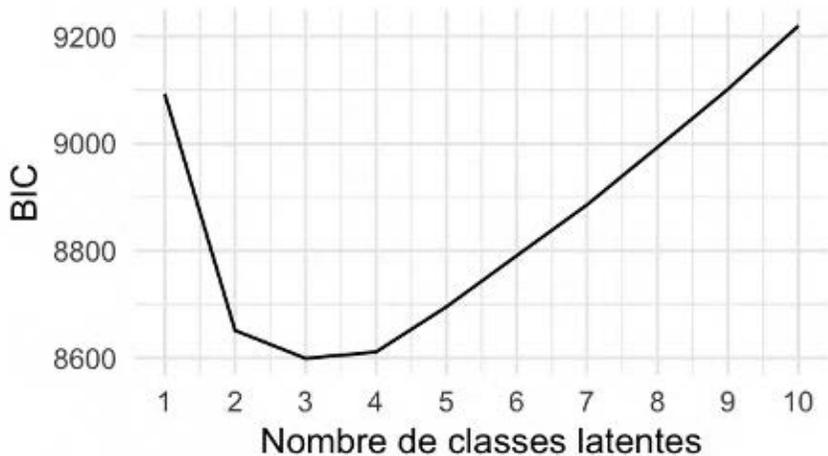
Ces formulaires ont été traités par un script Python pour les restituer dans un format « Tidy Data » (Wickham, 2014), chaque laboratoire étant représenté par une ligne du fichier de données, et les colonnes représentant la classification des enseignants aux 14 items. Le nombre de classes étant un hyperparamètre de l'ACL, nous avons généré des modèles impliquant une à dix classes latentes en utilisant la fonction `poLCA` du package R `poLCA` (Lintzer & Lewis, 2011).

Pour atténuer le risque de tomber sur des minima locaux lors de l'estimation du modèle, nous avons calculé 200 répétitions de chacun de ces modèles. Pour sélectionner le modèle le plus robuste, nous avons calculé le critère d'information bayésien (BIC) ; le modèle ayant le BIC le plus bas est généralement choisi comme équilibre optimal entre l'adéquation et la complexité du modèle (Nyland et al., 2007). Les résultats (figure 2.1) indiquent que le modèle optimal, compte tenu de nos données, comporte trois classes latentes.

Le modèle optimal d'ACL à trois classes a ensuite été recalculé 1 000 fois pour s'assurer qu'il évitait les minima locaux. À titre de diagnostic, l'entropie de classification relative du modèle a été calculée à 0,932, ce qui indique des classes bien séparées avec une délimitation claire. Cela implique que chaque observation a une forte probabilité d'appartenir à une seule classe, et une probabilité proportionnellement faible d'appartenir à toute autre classe (Celeux & Soromenho, 1996 ; Masyn, 2013). Nous avons donc accepté ce modèle à trois classes comme fournissant une description significative de la covariance observée dans les réponses des enseignants.

**Figure 2.1**

Choix du nombre optimal de classes latentes.



### 2.3.3 Description des classes

Les trois classes identifiées par l'ACL correspondent à trois types distincts de laboratoires observés dans les données et à leurs descriptions (voir le tableau 1 pour les probabilités a posteriori). Ces classes sont résumées ci-dessous.

**Classe A.** La classe A est la plus courante des classes découvertes dans cette analyse, représentant 69,2 % des observations. Elle se caractérise par des attentes moindres en matière d'autonomie des étudiant·e·s (très peu d'éléments de l'expérience sont fournis par les étudiant·e·s) et par des objectifs d'apprentissage axés principalement sur des compétences telles que le respect d'un protocole ou la pratique d'une technique de laboratoire particulière. Ces observations correspondent à l'activité de laboratoire traditionnelle, qui n'est pas de type IBL.

**Classe B.** Cette catégorie ne représente que 4,4 % des laboratoires de l'ensemble des données. Leurs conceptions ne sont pas bien décrites par les axes *a priori* sondés par le questionnaire, une grande partie (>40%) des réponses correspondant à «Ne s'applique pas». En outre, elles ne correspondent pas aux objectifs identifiés des laboratoires : la réponse la plus positive (37,6 %) correspond à «Servir de support pour enseigner un concept». En bref, ces activités correspondent à des ateliers ou à d'autres séances d'enseignement, plutôt qu'à des laboratoires.

**Classe C.** Cette classe, qui correspond à 26,44% des observations, décrit des activités mettant davantage l'accent sur l'autonomie des étudiant·e·s. Elles demandent fréquemment aux étudiant·e·s de jouer un rôle dans l'élaboration de la méthodologie et de l'analyse, dans des situations où les résultats sont souvent inconnus à l'avance. Elles demandent souvent aux étudiant·e·s de jouer un rôle dans l'élaboration de la méthodologie et de l'analyse, dans des situations où les résultats sont souvent inconnus des étudiant·e·s à l'avance. En particulier, l'un des objectifs de ces activités est de donner aux étudiant·e·s l'occasion de s'exercer à la prise de décision. En bref, nous identifions les laboratoires appartenant à cette catégorie comme étant basés sur l'enquête.

### 2.3.4 Comparaison des classes A et C

Pour affiner notre compréhension des types d'activités de laboratoire collectées, nous avons directement comparé et mis en contraste les classes A et C. Dans ce cadre, nous clarifions davantage les différences observées dans ces classes latentes et renforçons notre interprétation selon laquelle la classe A représente les laboratoires traditionnels, non IBL, et les activités de laboratoire IBL qui mettent l'accent sur l'agencement et la prise de décision des étudiant·e·s.

**Tableau 2.1**

Description des classes latentes

Question	Objet	Classe A	Classe B	Classe C
La question de recherche est :	0 - Ne s'applique pas	2,6%	42,3%	1,9%
	1- Fournie par l'enseignant	86,7%	28,9%	62,9%
	2- Choisie par l'enseignant, mais formulée par les étudiants	2,7%	0,0%	18,1%
	3- Choisie par les étudiants	0,0%	0,0%	8,4%
	4- Il n'y a pas de question de recherche	8,0%	28,7%	8,8%
La méthode (procédure expérimentale) est :	0 - Ne s'applique pas	0,0%	44,4%	1,9%
	1- Fournie par l'enseignant	97,0%	39,1%	15,7%
	2- Partiellement développée par les étudiants	3,0%	16,5%	51,7%
	3- Entièrement développée par les étudiants	0,0%	0,0%	26,1%
	4- Choisie et adaptée par les étudiants	0,0%	0,0%	4,7%
La méthode (procédure expérimentale) est :	0 - Ne s'applique pas	10,9%	50,8%	4,8%
	1- Unique (une seule méthode possible)	79,1%	26,8%	32,0%
	2- Varie d'un étudiant à l'autre (plusieurs méthodes possibles)	1,2%	16,5%	52,8%
	3- Commune à toute la classe, mais peut s'appliquer sur des objets de recherche différents	8,8%	5,9%	10,4%
La façon d'analyser les données est :	0 - Ne s'applique pas	1,0%	84,0%	1,9%
	1- Entièrement décrite par l'enseignant	67,0%	16,0%	12,2%
	2- Partiellement décrite par l'enseignant	28,7%	0,0%	45,2%
	3- Entièrement laissée à la responsabilité de l'étudiant	3,3%	0,0%	40,7%
Les résultats escomptés sont :	0 - Ne s'applique pas	0,7%	55,8%	3,7%
	1- Connus de l'enseignant et des étudiants	48,1%	23,5%	28,8%
	2- Connus de l'enseignant seulement	46,0%	15,2%	45,0%
	3- Inconnus de l'enseignant et des étudiants	5,3%	5,6%	22,6%
Les concepts théoriques liés au labo sont vus en classe :	0 - Ne s'applique pas	0,0%	22,2%	2,8%
	1- Avant le labo	38,7%	60,5%	50,8%
	2- Après le labo	5,6%	0,0%	14,4%
	3- Avant et après le labo	43,3%	11,8%	18,9%
	4- Ne sont pas vus en classe	6,4%	5,6%	5,5%
	5- Peut varier/ne sait pas	6,0%	0,0%	7,6%

Fournir aux étudiants la possibilité de s'exercer à suivre un protocole :	Non	12,4%	87,2%	58,3%
	Oui	87,6%	12,8%	41,7%
Fournir aux étudiants la possibilité de pratiquer une technique, d'utiliser des instruments ou des appareils spécialisés	Non	16,8%	76,0%	37,3%
	Oui	83,2%	24,0%	62,7%
Fournir l'occasion de prendre des décisions, faire des choix ou adapter ses pratiques au niveau expérimental	Non	70,7%	100,0%	8,1%
	Oui	29,3%	0,0%	91,9%
Donner aux étudiants la possibilité d'explorer ou de découvrir de nouveaux concepts	Non	52,0%	71,6%	44,8%
	Oui	48,0%	28,4%	55,2%
Servir de support pour enseigner un concept	Non	32,6%	62,4%	56,3%
	Oui	67,4%	37,6%	43,7%
Permettre aux étudiants à apprendre à mener un projet de recherche	Non	89,7%	94,5%	55,2%
	Oui	10,3%	5,5%	44,8%
Donner aux étudiants la possibilité de rédiger telle ou telle section de rapport de laboratoire	Non	45,7%	100,0%	34,3%
	Oui	54,3%	0,0%	65,7%
Autre (veuillez préciser)	Non	94,3%	88,9%	75,8%
	Oui	5,7%	11,1%	24,2%

**Tableau 2.2**

Comparaison des classes latentes A et C

Dimension		Classe A (%)	Classe C (%)
Contribution des étudiant·e·s à la question de recherche ?	Non :	86,7	62,9
	Oui :	10,7	35,2
L'avis des étudiant·e·s sur le choix de la méthodologie ?	Non :	97,0	15,7
	Oui :	3,0	82,5
Existe-t-il plus d'une méthode viable ?	Non :	79,1	32,0
	Oui :	10,0	63,2
Contribution des étudiant·e·s à l'analyse ?	Non :	67,0	12,2
	Oui :	16,0	40,7
Les étudiant·e·s connaissent les résultats attendus ?	Non :	48,1	28,8
	Oui :	51,2	67,5
Conçu pour s'entraîner à suivre un protocole ?	Non :	12,4	58,3
	Oui :	87,6	41,7

Conçu pour la pratique de la technique expérimentale ?	Non :	16,8	37,3
	Oui	83,2	62,7
Conçu pour la pratique de la prise de décision ?	Non :	70,7	8,1
	Oui	29,3	91,9
Conçu pour l'exploration ou la découverte de concepts ?	Non :	52,0	44,8
	Oui	48,0	55,2
Conçu pour aider à enseigner des concepts ?	Non :	32,6	56,3
	Oui	67,4	43,7
Conçu pour aider à développer les compétences en matière de gestion de projets de recherche ?	Non :	89,7	55,2
	Oui	10,3	44,7
Conçu pour aider à développer les compétences en matière de rédaction de rapports ?	Non :	45,7	34,3
	Oui	54,3	65,7
Conçu avec d'autres objectifs à l'esprit ?	Non :	94,3	75,8
	Oui	5,7	24,2

## 2.4 Discussion

L'analyse des classes latentes des 406 laboratoires identifie clairement deux types d'activités de laboratoire, correspondant (A) aux activités traditionnelles de « style vérification » et (C) à un large éventail d'objectifs plus orientés vers la recherche. Comme décrit ci-dessus, et mis en évidence par les comparaisons du tableau 2, ces activités basées sur l'investigation mettent en avant l'action des étudiant·e·s. L'objectif de pratiquer la prise de décision est mis en évidence par les comparaisons entre les deux types d'activités, et par les comparaisons entre les deux types d'activités. L'objectif de la pratique de la prise de décision est soutenu par la possibilité pour les étudiant·e·s de participer davantage à la nature de la question de recherche, à la méthodologie et à l'analyse des données. Les résultats attendus de l'expérience sont généralement (67,5 %) inconnus des étudiant·e·s et sont souvent (22,6 %) également inconnus de l'enseignant.

Ainsi, les classes latentes découvertes dans notre échantillon de laboratoires identifient clairement les différences entre les activités de laboratoire « traditionnelles » de type « vérification », dans lesquelles les étudiant·e·s ne sont pas censé·e·s prendre beaucoup de décisions, et les activités davantage basées sur l'enquête qui sont conçues de manière à ce que les étudiant·e·s prennent des décisions en premier lieu.

D'autre part, alors que Buck et al. (2008) et Blanchard et al. (2010) distinguent différents niveaux de recherche dans leur classification des laboratoires de sciences, l'ACL ne met pas en évidence une telle hiérarchie, regroupant les activités les plus importantes pour les étudiants·e·s sous un même chapeau. Néanmoins, certains indices montrent que certains aspects des activités sont plus fréquemment conçus pour la participation des étudiant·e·s. Nous notons, par exemple, qu'une des activités les plus importantes pour les étudiant·e·s est celle de la formation. Nous constatons, par exemple, qu'une grande majorité (82,5 %) implique la participation des étudiant·e·s dans le choix de la méthodologie, tandis que des proportions beaucoup plus faibles (40,7 % et 35,2 %) impliquent la prise de décision des étudiant·e·s dans le choix de la méthode d'analyse et la définition de la question de recherche, respectivement. Toutefois, ces différences ne sont pas suffisamment marquées pour identifier des sous-classes d'activités de laboratoire fondées sur la recherche.

Enfin, nous notons que, même si notre échantillon est composé d'enseignants qui déclarent utiliser des approches fondées sur la recherche, la plupart (69,2 %) des activités de laboratoire sont de style plus traditionnel. Une façon de réconcilier cette observation est que ces activités plus limitées sont toujours nécessaires pour développer les compétences mêmes sur lesquelles les étudiant·e·s sont censé·e·s s'appuyer pour prendre des décisions de manière significative. Pour cette raison, il n'est peut-être pas réaliste de s'attendre à ce que la structure

des composantes de laboratoire du programme de sciences du Cégep soit mise en œuvre dans tous les laboratoires d'un cours donné.

### 2.4.1 Conclusions

En conclusion, l'analyse des classes latentes d'un échantillon de 406 activités de laboratoire obtenues auprès de 59 enseignants qui déclarent s'engager dans des pédagogies fondées sur l'investigation dans les programmes de sciences des cégeps a permis d'identifier deux types distincts d'activités de laboratoire, correspondant à des laboratoires traditionnels de type « vérification » qui impliquent peu ou pas de prise de décision de la part des étudiant·e·s, et des activités de laboratoire expressément conçues autour de la prise de décision par les étudiant·e·s. Cette dernière classe d'activités correspond à l'ensemble des laboratoires fondés sur l'investigation, mais les « niveaux d'investigation » hiérarchiques signalés par Buck et al. Cette dernière catégorie d'activités correspond à l'ensemble des laboratoires fondés sur l'enquête, mais les « niveaux d'enquête » hiérarchiques signalés par Buck et coll. (2008) et Blanchard et coll. (2010) ne sont pas explicitement observés dans cet échantillon.

La prévalence de ces activités de laboratoire par enquête est faible (26,44 % de notre échantillon), bien que les enseignants de l'échantillon se soient déclarés engagés dans les pédagogies par enquête. Nous interprétons cela comme signifiant que les laboratoires plus traditionnels sont toujours appréciés par ces enseignants, peut-être pour aider les étudiant·e·s à développer les compétences nécessaires pour s'engager efficacement et prendre des décisions significatives dans la réalisation des explorations plus profondes inhérentes aux activités de laboratoire basées sur l'investigation.

## 2.5 Les entrevues avec les enseignant·e·s

### 2.5.1 Méthodologie des entrevues

#### *Sélection des participant·e·s*

La sélection des participant·e·s pour les entrevues a été faite de deux façons différentes : à partir des réponses au questionnaire QCAL et au QCAL Excel, et lors de la présentation du projet de recherche dans les départements, pendant le recrutement. Pour le choix des participant·e·s à partir du questionnaire QCAL, les enseignant·e·s ont été choisi·e·s parmi ceux et celles qui avaient répondu positivement à la question : « accepteriez-vous de poursuivre votre participation à notre recherche en discutant avec nous de vos activités de laboratoire, dans une entrevue ou un groupe de discussion? Cette discussion devrait nécessiter environ une heure, et elle serait réalisée au moment de votre choix ». Nous avons identifié dans cette liste les personnes qui utilisaient le laboratoire par enquête dans leurs cours, puisque les entrevues visaient à développer une typologie pour les laboratoires de ce type. Pour ce faire, le QCAL Excel pour ces personnes a été analysé et seul·e·s les enseignant·e·s qui déclarent avoir au moins une expérience de laboratoire dont la méthode était entièrement ou partiellement développée par les étudiant·e·s ont été retenus·es. Dans l'éventualité où une personne ayant répondu au questionnaire QCAL se montrait intéressée à participer aux entrevues, mais qu'elle n'avait pas rempli le QCAL Excel, un courriel lui était envoyé pour lui demander si elle utilisait, ou non, des laboratoires dans ses cours pour lesquels la méthode expérimentale était développée partiellement ou entièrement par les étudiant·e·s.

La présentation du projet de recherche au moment du recrutement pour la participation au questionnaire QCAL a aussi permis d'identifier des participant·e·s potentiel·les pour les entrevues. Après avoir défini le laboratoire par enquête, la personne responsable du recrutement demandait si ce type de laboratoire était utilisé à l'heure actuelle dans le département. Dans l'éventualité où cette méthode pédagogique était déjà implantée, les enseignant·e·s étaient invité·e·s personnellement à participer aux entrevues. Au total, 24 personnes ont participé aux entrevues (50 % de femmes). Le tableau 2.3 montre la discipline d'enseignement et la région administrative des collèges où enseignaient ces participant·e·s au moment des entrevues.

**Tableau 2.3**

Description de l'échantillon des participant·e·s aux entrevues

	Montréal	Laval et Montérégie	Outaouais, Laurentides, Lanaudière	Québec	Autres régions
Biologie	3	0	1	2	1
Chimie	4	2	0	1	0
Physique	6	2	0	2	0

La majorité des participant·e·s interrogé·e·s enseignaient dans la grande région de Montréal (54 %), ce qui reflète bien la distribution québécoise. De ces participants, 10 étaient issu·e·s du réseau anglophone (42 %), ce qui est une représentativité supérieure par rapport à l'ensemble du réseau (environ 23 % des étudiant·e·s des programmes préuniversitaires en sciences sont dans le réseau anglophone, ce qui est une bonne approximation du nombre d'enseignant·e·s) (Gouvernement du Québec, 2022). Des enseignant·e·s des trois disciplines scientifiques (biologie, chimie et physique) ont été interviewé·e·s dans une proportion relativement similaire (29 %, 29 % et 42 %). Les personnes interrogées ont entre 4 et 22 années d'expérience en enseignement au collégial (moyenne de (135) années).

### 2.5.2 Guide d'entrevue

Le guide d'entrevue a été développé pour recueillir les données nécessaires pour construire une **typologie des choix dans la méthode** pour un laboratoire par enquête guidée et une **typologie de l'étayage** utilisé lors de ces laboratoires. Le guide d'entrevue, présenté à l'annexe C, comportait deux parties. La partie 1 *Séquence autour du laboratoire par enquête*, inclut trois questions pour comprendre la nature de l'expérience de laboratoire et des choix faits par les étudiants, les objectifs d'apprentissages de l'expérience et la séquence d'apprentissage entourant cette expérience. L'expérience de laboratoire abordée pendant l'entrevue était choisie à l'aide du QCAL Excel qui avait été rempli préalablement par les participant·e·s. Seuls les laboratoires pour lesquels la méthode était partiellement ou entièrement développée par l'étudiant·e ont été discutés puisque ce sont ces derniers qui étaient considérés comme des laboratoires par enquête (et plus particulièrement, par enquête guidée). Dans l'éventualité où l'enseignant·e fait plus d'un laboratoire par enquête, l'entrevue commençait par une discussion pour choisir l'expérience la plus pertinente à aborder pendant l'entrevue. Le choix était alors guidé par le type et la quantité de choix laissés aux étudiant·e·s.

La partie 2 du guide d'entrevue, intitulée *Étayage lors des laboratoires par enquête*, comportait six questions pour bien cerner l'accompagnement offert aux étudiant·e·s lors du laboratoire par enquête, pour identifier les formes d'étayage utilisées par les enseignant·e·s et pour connaître les interventions des enseignant·e·s lorsque leurs étudiant·e·s rencontrent des difficultés lors du laboratoire décrit dans la partie 1.

Les entrevues se sont toutes déroulées sur Teams au moment choisi par le ou la participant·e. Elles étaient d'une durée d'environ une heure. Les entrevues ont été enregistrées en format vidéo. Les participant·e·s qui faisaient référence à des documents pendant l'entrevue, comme un texte de laboratoire, un document de consignes, un gabarit de rédaction ou tout autre document distribué aux étudiant·e·s, étaient invité·e·s à les partager avec l'équipe de recherche après l'entrevue s'ils le souhaitaient.

### Analyse des entrevues

Les entrevues ont été écoutées par deux membres de l'équipe de recherche, qui ont fait ressortir les types de choix que les étudiant·e·s doivent prendre pour élaborer la méthode, mais aussi les formes d'étayage utilisées par les enseignant·e lors de ces activités d'apprentissage. Les catégories du modèle présenté plus bas ont émergé des observations lors des entrevues et sont basées en partie sur la typologie du processus cognitif lors d'une enquête

authentique de Chinn et Malhotra (2002) ainsi que sur la typologie du processus décisionnel de Holmes (2020). Ces catégories ont été validées avec le reste de l'équipe de recherche.

## 2.6 Résultats des entrevues avec les enseignant·e·s

Les lignes qui suivent décrivent deux typologies issues des entrevues. La première est sur les choix dans la méthode et la deuxième sur les stratégies d'étayage. Pour chaque typologie, des exemples seront fournis pour bien illustrer chacune des catégories. Il ne s'agit donc pas d'une analyse quantitative.

### 2.6.1 Typologie des choix dans la méthode

Les expériences de laboratoire décrites lors des entrevues ont été classifiées selon le type de choix que les étudiant·e·s devaient faire lors du laboratoire. Cette typologie, présentée dans le tableau 2.4, est basée sur les étapes du processus cognitif lors d'une enquête authentique (*cognitive processes in authentic inquiry*) de Chinn & Malhotra (2002).

**Tableau 2.4**

Typologie des choix confiés aux étudiant·e·s lors d'un laboratoire par enquête

<i>Étape du processus cognitif</i>	<i>Responsabilité confiée aux étudiant·e·s lors du laboratoire par enquête</i>
Choisir des variables	Choisir les variables à tester parmi un ensemble de possibilités.
Contrôler les variables	Identifier les variables qui doivent être contrôlées et identifier la stratégie appropriée pour les contrôler.
Adapter une procédure	Adapter une technique expérimentale dans un contexte nouveau.
Identifier les mesures à prendre	Identifier les mesures nécessaires lorsqu'elles ne sont pas explicitées dans le but de l'expérience.
Diminuer les incertitudes	Faire des choix dans la prise de mesure pour diminuer l'incertitude sur le résultat expérimental.

Plusieurs des laboratoires décrits lors des entrevues offraient des choix de ce type aux étudiant·e·s, voici d'ailleurs quelques exemples entendus pour chaque étape du processus cognitif. Dans un laboratoire où l'étudiant·e devait *choisir des variables*, un enseignant de biologie proposait un laboratoire où il fallait étudier l'effet d'une variable sur la culture d'un légume en serre. Plusieurs possibilités de variables à tester auraient été pertinentes, comme l'arrosage, l'éclairage, l'apport d'engrais, mais aussi le choix des légumes, comme des poivrons, des concombres ou des tomates. Dans un tel laboratoire, les étudiant·e·s devaient réaliser que toutes les variables devaient être contrôlées, sauf une (celle qui est étudiée), de façon à isoler l'effet de cette variable (indépendante) sur la croissance de la plante (variable dépendante).

Un exemple d'expérience où les étudiant·e·s devaient *contrôler les variables* serait celui, en biologie, d'un laboratoire dont le but était de déterminer la tonicité des cellules de pommes de terre. Dans cette expérience, les étudiant·e·s devaient découper une pomme de terre en morceaux, les immerger dans différentes solutions pendant un certain temps, puis mesurer leur masse. Lors de cette expérience, les étudiant·e·s devaient réaliser de façon autonome l'importance de contrôler la coupe des morceaux de pomme de terre pour avoir des résultats comparables d'une solution à l'autre.

Un exemple d'expérience pour laquelle les étudiant·e·s devaient *adapter une procédure* serait celle d'une enseignante de chimie qui a pour but de doser la vitamine C dans un comprimé. Dans ce laboratoire, les méthodes de dosages étaient imposées aux étudiant·e·s, mais ils devaient déterminer plusieurs paramètres comme la concentration de la solution titrante à utiliser, le volume de solution à titrer, la dilution à effectuer pour l'analyse de l'échantillon par colorimétrie et ainsi de suite. Ces deux méthodes de dosage (titrage et colorimétrie) étaient

deux techniques qui avaient déjà été pratiquées en laboratoire, mais dans ce cas-ci, plusieurs étapes de la méthode étaient laissées implicites et devaient être déterminées par les étudiant·e·s, par exemple le choix de la concentration des solutions titrantes ou encore le choix du volume de solution d'analyte à titrer.

Un exemple d'expérience pour laquelle les étudiant·e·s devaient *identifier les mesures à prendre* serait celle d'un enseignant de physique lors de laquelle il fallait détruire un château de cartes à l'aide d'une catapulte. Pour ce faire, les étudiant·e·s devaient évaluer la trajectoire d'une bille lancée par une catapulte. Afin d'atteindre le but de l'expérience, il était nécessaire de connaître la constante de rappel de la catapulte. Cet élément n'était pas explicitement identifié dans le but, et les étudiant·e·s devaient réaliser en cours de route que cette information allait être nécessaire et qu'il fallait imaginer une façon de l'obtenir expérimentalement.

Plusieurs des exemples rapportés décrivaient des expériences pour lesquelles les étudiant·e·s devaient *diminuer les incertitudes*. Un premier serait une expérience de chimie qui avait pour but de déterminer s'il existait une relation linéaire entre la masse volumique et la concentration d'une solution. Dans cette expérience, les étudiant·e·s devaient choisir l'instrument le plus approprié pour la mesure du volume des solutions - l'instrument le plus approprié était celui qui minimisait les incertitudes de mesure. Un deuxième exemple serait une expérience de physique qui avait comme but de déterminer la valeur d'une masse inconnue à l'aide d'un montage de force centripète. Dans cette expérience, les étudiant·e·s devaient construire un graphique de la masse de la bille en fonction de la vitesse de révolution en s'assurant d'avoir sept mesures à rapporter sur leur graphique. Pour ce faire, ils devaient choisir les billes à utiliser parmi une variété de billes de masses différentes, mais ils devaient aussi déterminer comment diminuer l'incertitude sur le temps mesuré pour calculer la vitesse - c'est-à-dire en mesurant le temps pour plusieurs révolutions plutôt qu'une seule.

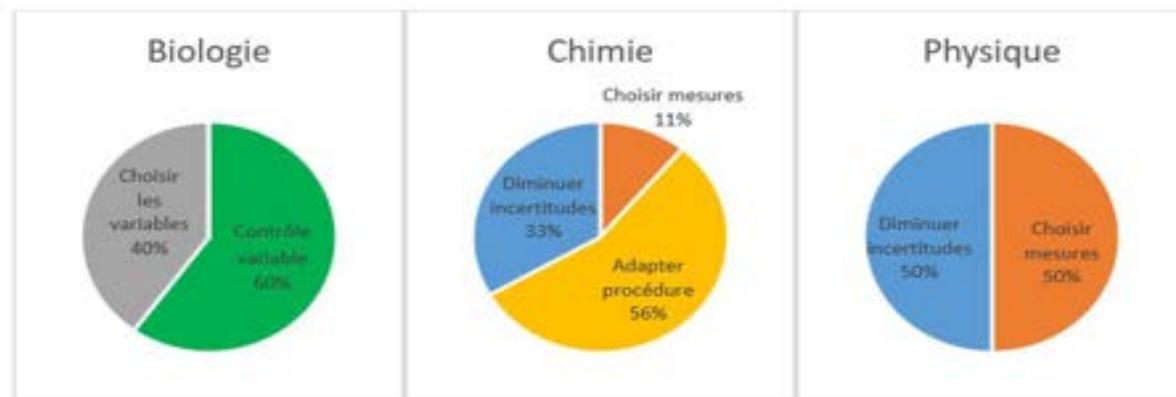
On peut donc conclure qu'il est possible d'offrir des choix aux étudiant·e·s pour chacune des étapes du processus cognitif. Toutefois, aucun des laboratoires décrits lors des entrevues ne nécessitait que les étudiant·e·s prennent des décisions pour l'ensemble des étapes du processus cognitif. Ceci apparaît logique puisqu'un tel laboratoire serait un laboratoire d'enquête authentique et non un laboratoire par enquête guidée (Blanchard et al., 2010). Au collégial, et en particulier dans les cours de première année, les étudiant·e·s peuvent avoir encore besoin de guidage, parce qu'il leur est encore un peu trop difficile de prendre en mains un problème ouvert. Ceci peut s'expliquer par une expérience encore insuffisante en laboratoire, ou par leur développement cognitif qui ne peut pas encore être au niveau du raisonnement abstrait (Gormally et al., 2009).

Il est intéressant de noter que certaines expériences décrites lors des entrevues n'ont pas pu être classées dans la typologie proposée. En effet, il est apparu, après l'analyse, que ces expériences de laboratoire n'étaient pas des laboratoires par enquête, malgré la perception qu'en avaient les enseignant·es. Par exemple, une expérience décrite consistait à étudier l'effet de la température sur la croissance de bactéries. Bien qu'un choix était laissé entre les mains des étudiant·e·s, le protocole de l'expérience était en liste d'étapes et toutes les manipulations étaient décrites et détaillées. Le choix que les étudiant·e·s devaient faire était la valeur de la température pour le traitement. Ainsi, même s'il y avait une certaine liberté, ce choix (portant sur la valeur numérique d'un paramètre) n'est pas suffisant pour que le laboratoire soit considéré comme un laboratoire par enquête (Blanchard et al., 2010).

Pour des raisons différentes, d'autres expériences de laboratoire ne pouvaient pas être définies comme des laboratoires par enquête : il s'agissait des laboratoires de conception de dispositif. Par exemple, un enseignant proposait à ses étudiant·e·s de concevoir un pont qui supporterait la plus grande masse possible. Même si ces activités expérimentales nécessitent que les étudiant·e·s fassent des choix et conçoivent un objet, il ne s'agissait pas de laboratoires par enquête parce qu'il n'y avait pas de collecte de données ni d'analyse de résultats pour ces expériences (Blanchard et al., 2010). Il s'agissait plutôt d'un défi scientifique, un type d'expérience qui, sans se classer comme un laboratoire par enquête, peut tout de même avoir une grande valeur éducative, en stimulant la motivation intrinsèque, notamment.

La figure 2.2 présente la répartition des choix confiés aux étudiant·e·s dans les laboratoires par enquête selon les disciplines. Cette dernière permet de mettre en évidence des différences marquées entre les laboratoires de biologie, de chimie et de physique.

**Figure 2.2**  
Proportion, par discipline, des catégories de laboratoires par enquête

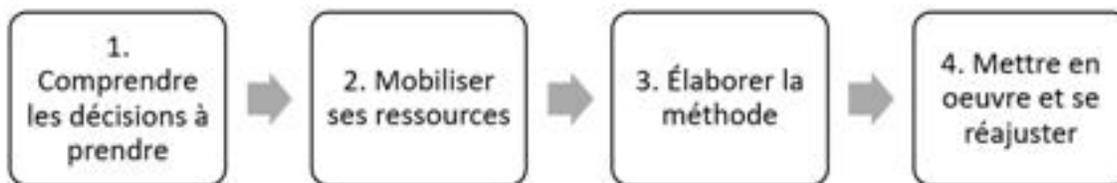


Parmi les expériences évoquées au cours de nos entretiens, celles de biologie se distinguent nettement de celles réalisées en chimie et en physique. Dans les laboratoires de biologie, le choix et le contrôle des variables occupent une place significative. Contrairement à la biologie, les laboratoires de chimie et de physique accordent une attention particulière à la diminution des incertitudes. Finalement, l’adaptation de procédures expérimentales semble être une particularité des laboratoires de chimie.

### 2.6.2 Typologie des stratégies d’étayages

Dans un laboratoire par enquête, les étudiant·e·s doivent prendre des décisions (Holmes et al., 2020). Ces décisions doivent être réfléchies et les choix ne doivent pas être faits au hasard comme dans un laboratoire d’exploration (aussi appelé laboratoire par enquête ouverte, par opposition au laboratoire par enquête guidée tel qu’étudié dans la présente recherche) (Blanchard et al., 2010). L’étayage fourni par l’enseignant·e dans ce type de laboratoire vise donc surtout à soutenir le processus décisionnel des étudiant·e·s. La figure 2.3 décrit les différentes étapes de ce processus, adapté du processus proposé par Holmes (2020).

**Figure 2.3**  
Processus décisionnel lors d'un laboratoire par enquête adapté de Holmes (2020)



La première étape du processus est de bien comprendre le but de l’expérience, à cette étape il faut que l’étudiant·e comprenne ce qui est attendu d’iel lors de cette expérience et quelles sont les décisions à prendre. La deuxième étape est de mobiliser les ressources nécessaires pour atteindre le but. Comme les décisions ne sont pas prises au hasard, l’étudiant·e doit identifier à quoi se référer pour prendre des décisions éclairées. Iel peut ensuite passer à la troisième étape : élaborer la méthode. C’est à cette étape que les décisions sont prises. Finalement, la quatrième et dernière étape est la mise en œuvre de la méthode expérimentale. Si des écueils surviennent à cette

étape, il est aussi possible que l'étudiant·e ait besoin de chercher des solutions pour ajuster la méthode expérimentale.

Comme l'étayage lors des laboratoires par enquête sert à soutenir le processus décisionnel étudiant·e·s lors de la prise en charge de la démarche expérimentale, nous avons donc élaboré une typologie des formes d'étayage basée sur les étapes du processus décisionnel à partir des données des entrevues. Cette typologie est présentée dans le tableau 2.5.

**Tableau 2.5**  
Typologie des formes d'étayage

Étapes du processus décisionnel	Forme d'étayage	Exemple
1. Comprendre les décisions à prendre	Scinder le but en plus petites tâches  Susciter la réflexion sur les impacts des choix	Questions de guidage dans le texte de laboratoire.  « Qu'est-ce qui arriverait si tu ne faisais pas les étapes dans le bon ordre »
2. Mobiliser ses ressources	Intégrer à la séquence de cours l'apprentissage des notions préalable  Expliquer de manière plus dirigée les nouveaux éléments.  Faire référence aux activités d'apprentissage antérieures	Faire un labo recette sur une nouvelle technique  Introduire un nouvel appareil dans un labo précédent.  Enseigner le modèle théorique en classe avant le labo.  Procédure expérimentale déjà fournie pour une portion des manipulations  « Qu'est-ce que nous avons vu dans le cours qui pourrait t'être utile ici »?  « Dans le labo B qu'on a fait la semaine passée, te souviens-tu à quoi servait l'amidon? »
3. Élaborer la méthode	Restreindre le nombre de possibilités  Guider la réflexion	Donner une liste de matériel ou donner des contraintes à respecter  Consacrer du temps de classe pour préparer le laboratoire  Questions de guidage
4. Essayer et se réajuster	Donner l'occasion de se reprendre  Susciter la réflexion sur les erreurs	Accorder plus de temps que nécessaire pour la réalisation des manipulations  Donner accès à la fois à un logiciel de traitement de données et au montage expérimental  Fournir une série de données obtenue par un expert  Poser des questions ouvertes de réflexion sur les résultats erronés

Ce tableau illustre que plusieurs stratégies d'étayage peuvent être mises en œuvre pour soutenir les étudiant·e·s aux différentes étapes du processus décisionnel. Les lignes qui suivent donnent des exemples de stratégies d'étayage rapportées par les enseignant·e·s lors des entrevues.

### *Stratégies d'étayage pour comprendre la ou les décisions à prendre*

Par définition, les laboratoires par enquête sont plus ouverts et les étudiant·e·s doivent prendre des décisions pour atteindre le but de l'expérience. Les enseignant·e·s interviewé·e·s ont déployé plusieurs stratégies pour que les étudiant·e·s soient en mesure de bien cerner la ou les décisions à prendre. La première stratégie d'étayage est de *scinder le but en plus petites tâches*. En décortiquant la tâche principale en plus petits éléments, l'étudiant·e peut voir plus explicitement quelles sont les décisions à prendre lors du laboratoire. Par exemple, dans une expérience de chimie qui a pour but de déterminer la teneur en vitamine C dans un comprimé, l'enseignante a décortiqué le but dans un document de consignes de la manière suivante : « Pour le dosage par spectrophotométrie, déterminer les quantités de solide et de solutions à utiliser afin de préparer les solutions étalon et la solution du comprimé de vitamine C ». Il est ainsi clairement énoncé que des quantités doivent être choisies. Au lieu de laisser ces décisions implicites, elles sont clairement énoncées pour soutenir les étudiant·e·s dans le processus décisionnel.

La deuxième stratégie est de *susciter la réflexion sur l'impact des décisions*. Comme il ne s'agit pas d'un laboratoire d'exploration, il est souhaité par les enseignant·e·s que les étudiant·e·s se questionnent sur la nature de leurs décisions et qu'ils ne les prennent pas au hasard. C'est ce que fait un enseignant de chimie dans un laboratoire de synthèse de l'alun dans lequel les étudiant·e·s peuvent choisir de prendre de l'aluminium, le réactif de départ, sous forme de poudre ou en solution. L'enseignant prenait un moment pour faire réfléchir les étudiant·e·s en leur demandant quel est le désavantage de prendre les granules plutôt que la solution.

Dans certains cas, les décisions à prendre sont laissées implicites dans le texte de laboratoire. C'est le cas d'un laboratoire de physique qui a pour but de vérifier la deuxième loi de Newton appliquée au mouvement circulaire. L'enseignante disait qu'elle aidait les étudiant·e·s qui ne comprenaient pas ce qu'ils devaient faire en décomposant le but avec des questions comme : « Ok, ça dépend de la constante de rappel. Est-ce que tu l'as ta constante de rappel? Comment tu peux aller la chercher cette constante? ». Il n'était pas clairement identifié dans le but du laboratoire qu'il faudrait connaître la constante de rappel du ressort, mais les questions ouvertes posées aidaient les étudiant·e·s à prendre conscience qu'ils devaient trouver cette constante pour répondre au but de l'expérience.

### *Stratégies d'étayage pour mobiliser les ressources sur lesquelles s'appuyer*

Lorsque les étudiant·e·s prennent des décisions dans les laboratoires par enquête, ils doivent nécessairement se baser sur des connaissances déjà acquises. La séquence de cours est souvent réfléchiée par les enseignant·e·s pour que les étudiant·e·s acquièrent des techniques ou des connaissances théoriques avant le laboratoire par enquête. Certain·e·s enseignant·e·s aident aussi les étudiant·e·s à cerner quelles ressources sont pertinentes dans le contexte de l'expérience.

La première stratégie est d'*intégrer à la séquence de cours l'apprentissage des notions préalables*. Par exemple, dans le cas du laboratoire sur la vitamine C, la technique utilisée dans l'expérience a déjà été vue dans les semaines précédentes. Les étudiant·e·s étaient donc déjà familiers avec la technique et les instruments utilisés. Dans un autre exemple, un laboratoire sur la force centripète en physique, le modèle mathématique avait été enseigné lors d'un cours théorique qui précédait le laboratoire. Les étudiant·e·s avaient donc déjà fait d'autres activités d'apprentissage qui utilisaient les équations mathématiques du modèle au préalable. Même si présenter la théorie avant le laboratoire est souvent une façon habituelle de travailler, nous avons constaté que pour certains laboratoires décrits lors des entrevues il est essentiel de procéder ainsi puisqu'il s'agit d'une forme d'étayage.

Dans certains cas, certaines notions pas encore étudiées en classe étaient nécessaires pour réaliser l'expérience par enquête. Les enseignant·e·s *expliquent de manière plus dirigée les nouveaux éléments* dans de tels

cas pour que ces éléments soient bien maîtrisés et ne nuisent pas à la capacité des étudiant·e·s à prendre des décisions lors de l'expérience. Par exemple, dans un laboratoire de biologie sur la photosynthèse où l'impact d'un paramètre sur le dégagement d'oxygène doit être vérifié, le déroulement de la procédure expérimentale pour la mesure de l'oxygène dissous était décrit de manière détaillée. Les étudiant·e·s n'avaient jamais utilisé la sonde à oxygène et n'auraient sans doute pas été en mesure de concevoir cette portion du protocole. En explicitant cette procédure, l'enseignant a permis aux étudiant·e·s de se concentrer sur le contrôle des variables, ce qui était réellement la portion par enquête dans cette expérience.

La troisième stratégie est de *faire référence aux activités d'apprentissage antérieures*. Dans le cas d'un laboratoire de biologie sur l'osmose, l'enseignante proposait dans le texte de laboratoire de l'expérience des ressources à consulter pour réviser le concept d'osmose déjà vus en classe. Les étudiant·e·s pouvaient ainsi prendre conscience qu'ils devaient mobiliser les notions d'osmose déjà abordées dans le cadre du cours. Elle proposait également un quiz autocorrigé en ligne, ce qui permettait de réactiver les connaissances antérieures qui seraient nécessaires pour réaliser le laboratoire par enquête. Un autre enseignant en physique y allait d'une question encore plus ouverte. Il demandait : « Quelle partie de la théorie pourra vous aider (équations ou concepts)? » pour que les étudiant·e·s fassent le lien entre l'expérience sur la force centripète et la théorie.

### *Stratégies d'étayage pour élaborer la méthode*

Ces stratégies sont mises en place dans le but de faciliter la prise des décisions préalablement identifiées. La première stratégie décrite est de *restreindre le nombre de possibilités*. En restreignant le nombre de possibilités, le niveau de difficulté de l'expérience était modulé par l'enseignant·e de manière à demeurer dans la zone proximale de développement de l'étudiant·e (Sweller, van Merriënboer, & Paas, 2019). Ceci était accompli de diverses manières. Par exemple, dans un laboratoire de biologie ayant pour but de déterminer la tonicité des cellules de pommes de terre, les étudiant·e·s n'avaient pas à choisir les concentrations des solutions de saccharose à utiliser puisqu'elles étaient déjà définies dans la liste de matériel fourni. Comme les étudiant·e·s n'avaient pas ce choix à faire, ils pouvaient se concentrer sur le contrôle des autres variables. Un autre exemple de stratégie de ce type a aussi été observé dans un laboratoire de physique où l'enseignant donnait ceci comme consigne « Obtenir la valeur de la masse inconnue  $M$  à partir de la pente ou de l'ordonnée à l'origine d'un graphique sur lequel vous devrez avoir au moins 7 points ». Non seulement cette consigne décortique le but en plus petites étapes, mais elle permet aussi de restreindre le nombre de décisions prises par l'étudiant·e : il n'aura pas besoin de réfléchir au bon nombre de points à mettre sur son graphique puisqu'il est spécifiquement indiqué qu'il doit y en avoir 7.

La deuxième stratégie est de *guider la réflexion*. Avec ces stratégies les enseignant·e·s veulent aider les étudiant·e·s à planifier la démarche ou le raisonnement pour sa prise de décision. C'est l'étape critique dans l'élaboration de la méthode. L'étayage est souvent sous forme de questions de guidage comme celles ci-dessous posées par un enseignant de physique : « De quoi aurez-vous besoin (matériel)? Quelle information pouvez-vous aller chercher en mode statique? Et en mode rotation? Quels paramètres pouvez-vous faire varier sur le montage. Quelle est la variable indépendante? Et la dépendante? (Plusieurs combinaisons sont possibles) ». Dans ce cas-ci, les questions de guidage étaient posées dans le texte de laboratoire, mais plusieurs enseignant·e·s posaient ces questions de vive voix dans des périodes de classes prévues pour l'élaboration de la méthode. Prévoir du temps de travail en classe constituait aussi une manière de guider la réflexion des étudiant·e·s lors de l'élaboration de la méthode expérimentale.

### *Stratégies d'étayage pour essayer et se réajuster*

Il est possible que les résultats d'une expérience par enquête ne soient pas concluants. C'est alors une belle occasion pour l'étudiant·e de réfléchir sur les erreurs commises, une approche qui favorise l'apprentissage (Astolfi, 2011). Voici deux stratégies répertoriées pour soutenir les étudiant·e·s dans ce processus. La première stratégie est de *donner l'occasion de se reprendre* lorsque l'expérience ne fonctionne pas du premier coup. Ceci a été fait, par exemple, en laissant plus de temps au laboratoire qu'il n'en aurait fallu à une personne expérimentée pour réaliser les manipulations. Le temps excédentaire était alors utilisé par les étudiant·e·s pour réfléchir et pour faire des

ajustements à la méthode expérimentale initialement prévue. Un autre exemple est celui d'un enseignant de physique qui mettait simultanément à la disposition de l'étudiant·e le montage expérimental et un logiciel de traitement de données pour permettre un aller-retour entre l'expérimentation et l'analyse des données. Il avait choisi de procéder ainsi puisque les étudiant·e·s ne remarquaient pas les erreurs expérimentales simplement en regardant les mesures expérimentales, mais ils y arrivaient après que lorsque données avaient été traitées sous forme de graphique. Avoir accès à la fois au logiciel de traitement de données et au montage expérimental permettait donc aux étudiant·e·s de récolter de nouvelles données pour corriger les erreurs de la première itération de leur expérience.

La deuxième stratégie est de *susciter la réflexion sur les erreurs* pour que les étudiant·e·s apprennent de ces erreurs et deviennent plus autonomes par la suite. Certains enseignant·e·s posent des questions ouvertes sur le résultat erroné comme « pourquoi penses-tu que la réaction est aussi lente? » ou « comment tu fais pour dire que l'amidon n'a pas fonctionné ». D'autres fournissent à l'étudiant·e une série de données qui aurait été obtenue par un expert qu'il doit comparer avec ses propres données. Il était alors demandé à l'étudiant·e de réfléchir sur sa méthode et d'identifier ce que l'expert a fait que lui ou elle n'a pas fait lors de son expérience. Finalement, un enseignant de physique allait même jusqu'à provoquer délibérément des erreurs. Dans un laboratoire une expérience où il fallait prédire la trajectoire d'une bille qui glissait le long d'un tuyau il utilisait une bille de liège (au lieu d'une bille de métal) pour faire réaliser aux étudiant·e·s que le modèle théorique ne s'applique pas à toutes les situations et qu'il a des limites d'application.

## 2.7 Références (chapitre deux)

- Astolfi, J.-P. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences : Repères, définitions, bibliographies*. 2e édition. Bruxelles: De Boeck.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? : A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1002/sce.20390>
- Buck, L. B., Bretz, S. L. et Towns, M. H. (2008). Characterizing the level of inquiry in the undergraduate laboratory. *Journal of college science teaching*, 38(1), 52–58.
- Celeux, G., & Soromenho, G. (1996). An entropy criterion for assessing the number of clusters in a mixture model. *Journal of classification*, 13, 195–212.
- Charles, E. S., Lenton, K., Lasry, N., Dugdale, M., Brouillette, Y., & Whittaker, C. (2020). Gestion et régulation du flux d'information en apprentissage actif. Collège Dawson. ISBN: 978-1-5501698-7-4
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools : A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218. <https://doi.org/10.1002/sce.10001>
- Gormally, C., Brickman, P., Hallar, B., & Armstrong, N. (2009). Effects of Inquiry-based Learning on Students' Science Literacy Skills and Confidence. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 3(2). <https://doi.org/10.20429/ijstl.2009.030216>
- Gouvernement du Québec. (2022, juillet 5). *Effectif à l'enseignement collégial selon diverses variables, au trimestre d'automne, Québec, de 2008-2009 à 2021-2022<sup>p</sup>*. Banque de données des statistiques officielles sur le Québec. [https://bdso.gouv.qc.ca/pls/ken/ken213\\_afich\\_tabl.page\\_tabl?p\\_iden\\_tran= REPERLQ089C56-74604038149LjfWM&p\\_lang=1&p\\_m\\_o=MES&p\\_id\\_raprt=3417#tri\\_organ=0&tri\\_lang=1&tri\\_niv\\_scol=1&tri\\_typ\\_freq=1&tri\\_typ\\_fmt=1&tri\\_typ\\_diplm=1&tri\\_serv\\_ensgn=1&tri\\_fam\\_prog=1&tri\\_sectr\\_fmt=0](https://bdso.gouv.qc.ca/pls/ken/ken213_afich_tabl.page_tabl?p_iden_tran= REPERLQ089C56-74604038149LjfWM&p_lang=1&p_m_o=MES&p_id_raprt=3417#tri_organ=0&tri_lang=1&tri_niv_scol=1&tri_typ_freq=1&tri_typ_fmt=1&tri_typ_diplm=1&tri_serv_ensgn=1&tri_fam_prog=1&tri_sectr_fmt=0)
- Hagenaars, J. A., & McCutcheon, A. L. (Eds.). (2002). *Applied latent class analysis*. Cambridge University Press.
- Holmes, N. G., Keep, B., & Wieman, C. E. (2020). Developing scientific decision making by structuring and supporting student agency. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1), 010109. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010109>

- Linzer, D. A., & Lewis, J. B. (2011). poLCA: AnRPackage for Polytomous Variable Latent Class Analysis. *Journal of Statistical Software*, 42(10). <https://doi.org/10.18637/jss.v042.i10>
- Masyn, Katherine E., (2013). Latent Class Analysis and Finite Mixture Modeling, in Todd D. Little (ed.), *The Oxford Handbook of Quantitative Methods in Psychology: Vol. 2: Statistical Analysis*, Oxford Library of Psychology (2013; online edn, Oxford Academic, 1 Oct. 2013), <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199934898.013.0025>, accessed 17 Dec. 2023.
- McCutcheon, A. L. (1987). *Latent class analysis* (Vol. 64). Sage.
- Nylund, K. L., Asparouhov, T., & Muthén, B. O. (2007). Deciding on the number of classes in latent class analysis and growth mixture modeling: A Monte Carlo simulation study. *Structural equation modeling: A multidisciplinary Journal*, 14(4), 535–569.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design : 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261-292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>.
- Walter, E. M., Henderson, C. R., Beach, A. L., & Williams, C. T. (2016). Introducing the Postsecondary Instructional Practices Survey (PIPS): a concise, interdisciplinary, and easy-to-score survey. *CBE-Life Sciences Education*, 15(4), ar53.

## CHAPITRE TROIS : Objectif 2

---

L'enseignement des sciences basé sur l'enquête s'appuie sur des modèles d'apprentissage sociocognitifs et socioculturels. Cette approche pédagogique centrée sur l'étudiant·e engage les étudiant·e·s dans des activités qui étudient des problèmes du monde réel afin de promouvoir des compétences cognitives de haut niveau, la démarche scientifique et le raisonnement fondé sur des preuves (Blumenfeld et al., 1991 ; Edelson, Gordin & Pea, 1999 ; Aulls & Shore, 2008). En incorporant des problèmes authentiques et en mettant l'accent sur la démarche scientifique, la pédagogie par enquête favorise la création de sens profonds et l'engagement dans la matière, et s'appuie sur les théories sociocognitives et socioculturelles de l'apprentissage (Cassidy, Charles et Slotta, 2019). La pédagogie par enquête a un impact positif sur les résultats cognitifs et affectifs des étudiant·e·s, en particulier dans l'enseignement des sciences (Creswell et Plano Clark, 2018). En outre, la pédagogie par enquête a été associée à un engagement et à une motivation accrues à l'égard de l'apprentissage (Bell et al., 2009 ; Means et al., 2017). Des données suggèrent que les approches fondées sur la recherche favorisent le développement chez les étudiant·e·s d'une compréhension plus approfondie du contenu scientifique et des démarches scientifiques. Toutefois, ces résultats n'ont pas été examinés de près pour les laboratoires par enquête et pour les étudiant·e·s du niveau postsecondaire.

Ce chapitre présente notre réponse au deuxième objectif de notre recherche : Portrait de la trajectoire de la compréhension de la démarche scientifique par les étudiant·e·s et de la façon dont elle évolue avec l'approche du laboratoire par enquête. Nous décrivons ici comment nous avons répondu aux questions de recherche (voir ci-dessous), en commençant par adapter un instrument d'enquête qui nous a permis de mesurer le développement du raisonnement scientifique des étudiant·e·s. Deux axes fondamentaux avaient été initialement envisagés. Tout d'abord, la compréhension des subtilités des croyances épistémiques, allant de la conception de la connaissance comme quelque chose de simple à celle comme quelque chose de complexe. Ensuite, l'approche ontologique: l'évolution de la déduction (à partir de la théorie) à l'induction (à partir des données), afin de mettre en lumière la dynamique entre la théorie et les données dans le processus de construction du savoir. Dans cette perspective, le développement d'un instrument, appelé «La crème glacée de George », avait été approfondi pour tester subtilement ces dimensions. Ce faisant, nous avons pu établir une manière de décrire la trajectoire de la compréhension de la démarche scientifique par les étudiant·e·s. Nous avons utilisé ce questionnaire dans les classes de 23 enseignant·e·s, avec une représentation des trois disciplines pour un total de 499 étudiant·e·s pour déterminer l'impact des laboratoires traditionnels et des laboratoires basés sur l'enquête.

- Q2.a : Comment observer et témoigner de l'apprentissage de la démarche scientifique ?
- Q2.b : Les étudiant·e·s acquièrent-ils/elles une compréhension de la démarche scientifique en participant à toutes les formes de laboratoires scientifiques ? Existe-t-il des différences entre l'apprentissage observé dans les laboratoires traditionnels et les formes de laboratoires par enquête ?

Ce chapitre est divisé en deux parties. **La partie 1** décrit l'analyse du codage manuel (l'analyse qualitative classique) des données collectées pour mesurer le développement de la compréhension de la démarche scientifique par les étudiant·e·s. **La partie 2** décrit l'analyse avec un modèle statistique génératif, l'allocation de Dirichlet latente (ADL) pour révéler les catégories latentes dans ces données.

### 3.1 Aperçu de l'étude

Afin de tracer un niveau de raisonnement scientifique chez les étudiant·e·s à la sortie d'un cours de sciences employant la pédagogie des laboratoires par enquête, nous avons cherché à mesurer ce niveau de raisonnement à l'entrée et à la sortie du cours, avec un instrument qui permet d'étudier principalement le raisonnement procédural. En effet, notre hypothèse était que ce type de raisonnement est au cœur de ce que le laboratoire par enquête permet

de développer: la prise de décision et la conception d'une méthode sont les aspects centraux de l'autonomie scientifique.

Les données recueillies chez les étudiants concernaient plusieurs aspects des connaissances procédurales : la conception d'expérimentation, le contrôle des variables, l'analyse des données et la formulation de conclusions qui s'appuient sur ces données. Le contexte de l'instrument de collecte de données était adidactique, et il portait sur la vitesse de fonte de la crème glacée, dans une mise en situation qui sera décrite plus loin où « George » (un personnage fictif) étudie cette question. C'est pourquoi ce chapitre porte sur « La crème glacée de George », le surnom de notre instrument.

### 3.2 Éléments méthodologiques

#### 3.2.1 La conception de la recherche

Le plan expérimental se compose d'une recherche orientée par conception (ROC) pour élaborer l'instrument et d'un plan quasi-expérimental qui nous a permis d'examiner l'efficacité de l'approche en laboratoire basée sur l'enquête par rapport à l'enseignement traditionnel. La quasi-expérience s'est étendue sur 2,5 ans alors que nous itérons l'instrument, développant finalement une extension de l'original.

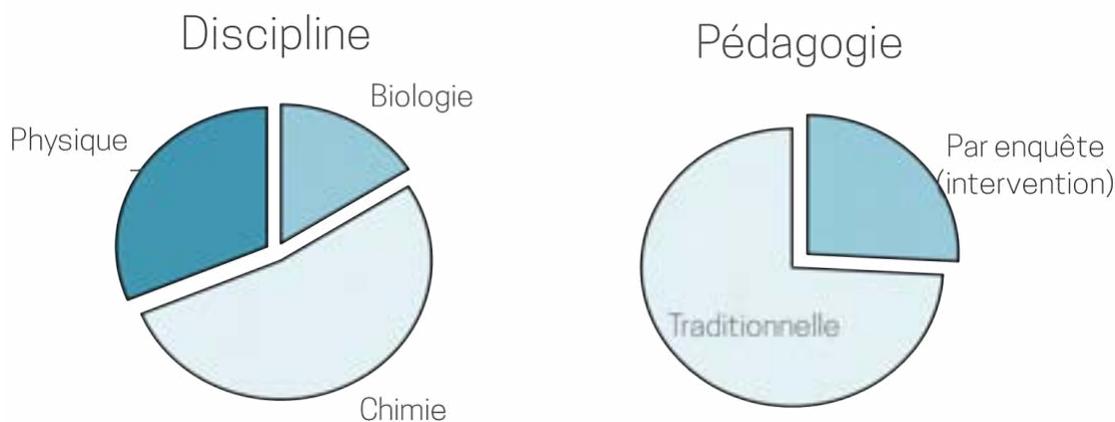
Le cadre comprenait les quatre collèges, trois anglophones et un francophone, couvrant trois disciplines et incluant des étudiants des deux années, première et deuxième année. Les données ont été collectées avant et après l'instruction, sur une période de 2,5 ans également. L'analyse a impliqué un codage qualitatif et l'application de la LDA (Analyse Latente de Dirichlet).

#### 3.2.2 Échantillon

Deux catégories d'étudiant·e·s ont participé à cette partie de la collecte de données : celles et ceux dans des groupes où il y avait des laboratoires par enquête (groupe expérimental) et celles et ceux où les laboratoires étaient tous traditionnels (groupe contrôle). La figure 3.1 présente la répartition de l'échantillon d'étudiant·e·s ayant participé à la collecte de données (pré-test et post-test), selon le cours dans lequel les étudiant·e·s ont répondu, et selon la pédagogie des laboratoires dans ce cours.

**Figure 3.1**

Répartition de l'échantillon des cours et selon la pédagogie des laboratoires dans ce cours.



Au total, 443 étudiant·e·s et étudiants collégiaux de Sciences de la nature ont participé à la collecte de données en répondant aux questionnaires. Environ un tiers (156) y ont répondu dans un cours de physique, plus de la moitié (263) étaient dans un cours de chimie et les autres (80), dans un cours de biologie. La pédagogie des laboratoires mise en place dans ces différents cours était majoritairement traditionnelle (pour 370 participant·e·s), et seulement le quart des répondant·e·s (129) étaient dans un cours où les laboratoires étaient par enquête.

### 3.2.3 Développement des instruments

#### *Description du contenu de l'instrument « la crème glacée de George »*

Pour étudier le raisonnement procédural autour de la conception d'expérience, nous avons développé un instrument basé sur un item adidactique proposé par Papaevripidou et Constantinou (2001) et baptisé « la crème glacée de George ». Le contexte de cet instrument est une expérience menée par un personnage fictif, George, qui veut étudier les variables qui influencent le temps de fonte de la crème glacée. Cet item est adidactique parce qu'il se situe dans un contexte qui n'est pas à proprement parler lié à un domaine disciplinaire (Riopel et al., 2009). Malgré tout, il permet de bien cerner la capacité des étudiant·e·s à concevoir une expérience avec des variables contrôlées (Papaevripidou & Constantinou, 2001). La figure 3.2 qui suit présente le contexte de cet instrument. Dans le cadre de notre recherche, deux questionnaires ont été développés sur la base de ce contexte: un pré-test en début de session et un post-test en fin de session.

**Figure 3.2**

Le contexte de l'instrument «la crème glacée de George » (adapté de Papaevripidou et Constantinou, 2001).

	Saveur	Couleur de l'emballage	Masse (g)	Temps pour fondre (min)
1	Citron	Blanc	80	8
2	Citron	Brun	80	8
3	Chocolat	Vert	100	6
4	Chocolat	Jaune	120	9
5	Vanille	Bleu	120	11
6	Fraise	Noir	120	12

Le pré-test (décrit ci-après), indique que George voulait vérifier l'effet de la couleur de l'emballage sur le temps de fonte: aucune conclusion ne peut être tirée en ce sens par les données que George a recueillies. Le problème présenté est fondamental dans la conception d'une expérience: en effet, pour mener une étude sur l'effet d'une variable indépendante (ici, la saveur, la couleur ou la masse) sur une variable dépendante (ici, le temps pour fondre), il faut que toutes les autres variables soient conservées constantes afin d'isoler l'effet de la variable choisie. La conception expérimentale de George est ainsi défectueuse : toutes les variables varient d'un essai à l'autre, ne permettant pas d'isoler l'effet d'une variable en particulier sur le temps de fonte. Un étudiant ou une étudiante qui note ce problème possède des connaissances procédurales sur la conception d'expérience, et en particulier sur le contrôle des variables, un aspect fondamental de l'expérimentation scientifique.

#### *Pré-test*

Pour le pré-test, administré en début de session aux étudiant·e·s, le contexte et la question suivant accompagnaient le tableau de résultats de la figure 3.2 (ci-dessus) :

George veut examiner si la couleur de l'emballage d'une crème glacée spécifique affecte le temps de fonte de la crème glacée. Pour répondre à cette question, il a effectué le test suivant.

Il a acheté plusieurs crèmes glacées avec des emballages de couleurs différentes, a mesuré la masse de chaque crème glacée comme indiqué dans le tableau ci-dessous, et les a mises toutes ensemble dans un congélateur. Il a ensuite sorti toutes les glaces du congélateur en même temps, les a placées sur le tableau de bord de sa voiture et a mesuré le temps qu'il fallait à chacune pour fondre.

D'après le test de George et ses mesures, pouvez-vous dire si la couleur de l'emballage de la crème glacée affecte le temps de fonte ? Expliquez votre raisonnement, en mentionnant les mesures ci-dessous que vous avez utilisées pour arriver à votre conclusion.

### *Développement et remaniement du post-test*

Initialement, le post-test consistait en une répétition du pré-test, comme il est décrit ci-dessous. Ce post-test initial a été élaboré à la suite d'une recherche guidée par la conception (ROC) détaillée dans les chapitres 4 et 5. Par la suite, nous avons modifié l'instrument du post-test en élaborant une version actualisée. Cette modification a été motivée par la constatation d'un effet de plafond, qui indiquait que la compréhension scientifique évaluée par l'instrument du pré-test était déjà assez bonne chez les étudiants. Donc, la première version du post-test, identique au pré-test, n'a pas fourni la résolution nécessaire pour en tirer des conclusions définitives.

En adoptant l'approche ROC, le nouveau post-test a été spécifiquement conçu afin d'encourager activement les étudiants à formuler des questions de recherche et à réfléchir à leurs attitudes épistémiques à l'égard de la méthode scientifique. Cette modification a introduit une distinction marquée entre le pré-test et le post-test, créant ainsi des défis pour la comparaison des données avant et après l'instruction. Pour relever ces défis, des méthodes novatrices ont été développées, comme il est détaillé dans la section 2.3.

Une phase pilote a été initiée, au cours de laquelle l'instrument a été testé dans quelques classes, à la fois en anglais et en français. Le dispositif a été administré avant et après les cours, permettant ainsi de détecter d'éventuels changements de trajectoire entre l'utilisation de laboratoires traditionnels ou par enquête. Au fil de plusieurs itérations, l'instrument a été peaufiné. De plus, deux versions isomorphes ont été développées pour potentiellement mesurer les changements au cours du semestre, constituant ainsi un post-test immédiat. Il est à noter que le post-test immédiat n'a été utilisé que dans le cadre des études de cas décrites aux chapitres 4 et 5 (voir la figure 5.3, en chapitre 5).

### *Post-test*

Au post-test, distribué après qu'au moins un labo par enquête ait été réalisé (dans le groupe expérimental) ou quelques semaines de cours (dans le groupe contrôle), le même tableau de résultats était présenté aux étudiants, mais le paragraphe qui le précédait et qui indiquait l'objectif de sa recherche était plutôt remplacé par le texte suivant:

Au début de la session, j'ai présenté une expérience que George avait réalisée. Il a acheté plusieurs crèmes glacées avec des emballages de couleurs différentes, a mesuré la masse de chacune, et les a toutes mises ensemble dans un congélateur. Il a ensuite sorti toutes les crèmes glacées du congélateur en même temps, les a placées sur le tableau de bord de sa voiture et a mesuré le temps que mettait chacune à fondre. Les données recueillies par George sont résumées dans le tableau ci-dessous.

1. D'après les données recueillies (voir le tableau ci-dessous [même tableau que pré-test]), expliquez ce que, selon vous, George a essayé d'accomplir avec cette expérience. En d'autres termes, écrivez la question de recherche que vous pensez que George voulait poser.
2. Proposez à George des modifications à son plan expérimental (procédure/méthodes) afin qu'il puisse mieux atteindre ses objectifs. Rédigez votre réponse comme si vous vous adressiez à George.

### 3.3 Partie 1 : Analyse qualitative classique

#### 3.3.1 Analyse des données

Deux formes d'analyse ont été réalisées sur les réponses des étudiant·e·s : une analyse purement qualitative, avec catégorisation classique en thèmes émergents, et une analyse de classe latente. Ces deux analyses ont généré des résultats complémentaires, qui seront présentés à la section suivante.

##### *Analyse qualitative classique*

Les données recueillies avec les questionnaires sur la crème glacée de George ont d'abord été analysées pour faire ressortir les thèmes émergents dans les réponses des étudiant·e·s. Pour ce faire, trois codeurs ont travaillé ensemble sur 10 % des données pour faire émerger les thèmes communs, puis ont travaillé séparément sur le reste du corpus de données pour catégoriser toutes les réponses. Ensuite, deux à deux, les codeurs ont discuté de toutes les divergences et se sont entendus sur un consensus pour chaque unité de sens. Ainsi, l'accord inter-juges est supérieur à 95 %, puisque seules les réponses très difficiles à interpréter n'ont pas pu être catégorisées. Les codes pour la question du pré-test («pouvez-vous dire si la couleur de l'emballage affecte le temps de fonte? ») ont été classifiés en quatre catégories (100, 200, 300 et 400) :

**Tableau 3.1**

Description des codes de réponses à la question du pré-test «pouvez-vous dire si la couleur de l'emballage affecte le temps de fonte? »

Code	Catégorie de réponse	Explication
100	Non, on ne peut pas dire	C'est la bonne réponse, on ne peut réellement pas dire parce que l'expérience a été mal conçue par George.
200	On peut conclure, et la conclusion est que la couleur affecte le temps de fonte	C'est une réponse incorrecte, parce que l'expérience, conçue comme elle l'est par George, ne permet pas une telle conclusion.
300	On peut conclure, et la conclusion est que la couleur n'affecte pas le temps de fonte	Même explication que la catégorie 200 : on ne peut pas tirer une telle conclusion étant donné la conception de l'expérience.
400	Oui et non, la couleur peut affecter le temps de fonte	Ceci se rapproche davantage de la bonne réponse, mais l'affirme avec moins de clarté ou d'assurance.

Chacune de ces catégories de code était détaillée en sous-codes (par ex. 101, 102, 103, etc.) pour raffiner l'analyse. Ensuite, une valeur numérique entre 1 et 9 a été attribuée à chaque sous-code, pour classer leur degré d'adéquation avec la réponse attendue. Voici l'attribution de ces valeurs pour les codes de la catégorie 100, qui sont de la bonne réponse :

**Tableau 3.2**

Description des codes détaillés pour les codes de la catégorie 100 «bonne réponse », au pré-test.

Sous-code	Catégorie de réponse	Score
110	Non on ne peut pas dire, masses et saveurs sont différentes	9
101	Non on ne peut pas dire, saveurs sont différentes (néglige masse)	6
102	Non on ne peut pas dire, masses sont différentes (néglige saveur)	6
103	Non on ne peut pas dire, il manque d'échantillons/de tests/de témoins/de réplicats	4
104	Non on ne peut pas dire (sans utiliser les données), c'est dû à d'autres facteurs (non précisés)	1
105	Non on ne peut pas dire (sans utiliser les données), c'est dû à d'autres facteurs (précisés, mais saveur et masse n'en font pas partie)	3
106	Non on ne peut pas dire, les résultats sont contradictoires, c'est pour ça qu'on ne peut pas dire si ça influence	8

On voit au tableau précédent que la valeur, ou le degré de justesse, de chaque type de réponse, même dans la catégorie 100, peut grandement varier. La meilleure réponse est qu'on ne peut pas conclure que la couleur influence le temps de fonte, parce que les masses et saveurs des crèmes glacées sont différentes (sous-code 110); ce sous-code s'est vu attribuer le score le plus élevé, de 9. Au contraire, le sous-code 104 ne vaut qu'un score de 1, parce que les données ne sont pas invoquées, que la personne répondante dit que la variation dans les temps de fonte est due à d'autres facteurs que la couleur, mais ne précise pas lesquels. L'ordonnancement des sous-codes à travers les quatre codes principaux a été élaboré par les membres de l'équipe de recherche, après que toutes les données aient été codées, pour faciliter les analyses subséquentes. Il demeure que cet ordonnancement était une tâche difficile, et nous a poussés à vouloir analyser aussi les données d'une autre façon. C'est ce qui sera présenté un peu plus loin, lorsqu'il sera question d'analyse de classe latente.

Pour le post-test, la première question («qu'est-ce que George tentait de vérifier?») permettait de comprendre les améliorations proposées en réponse à la seconde question. La vaste majorité des étudiant·e·s se rappelaient que George voulait vérifier l'effet de la couleur sur le temps de fonte, mais même s'ils proposaient une autre question, leur réponse à la seconde question a été analysée en lien avec cette première réponse. Ainsi, une grille de codage unique a été développée, pour les améliorations proposées à la méthode de George. Cette grille de codage a été développée de la même façon que la grille pour la question de pré-test; l'accord inter-juges était aussi très élevé, parce que chaque cas a été discuté par deux codeurs jusqu'à un consensus. Le tableau ci-dessous présente les codes pour les types de réponses au post-test.

Les améliorations qui étaient attendues étaient celles où les étudiant·e·s proposaient une certaine forme de contrôle de variables. Plusieurs types de contrôle de variables ont été proposés dans leurs réponses, et la typologie développée pour classer ces réponses est présentée au tableau ci-dessous.

**Tableau 3.3**

Description des codes de réponses à la question du post-test «proposez des modifications afin que George puisse mieux atteindre ses objectifs ».

Code	Catégorie de réponse	Explication
0	Aucun contrôle de variable	Ne propose pas de modification en lien avec le contrôle des variables
1	Contrôle une variable, mais pas l'autre	Propose de contrôler une variable (saveur ou masse), mais pas l'autre
2	Contrôle les deux variables, une expérience	Propose de contrôler les deux autres variables (saveur et masse) et de faire varier seulement la variable indépendante (couleur de l'emballage)
3	Contrôle les deux variables, deux expériences (tester l'effet d'une autre variable)	Propose de contrôler les deux autres variables, et de faire varier seulement la couleur de l'emballage, puis de faire une autre expérience séparée en faisant varier une autre variable (tester l'effet d'une autre variable indépendante).
4	Contrôle les deux variables, trois expériences pour tester les trois variables	Propose de mener trois séries d'expériences, pour étudier séparément l'effet de chacune des variables possibles (saveur, masse, couleur d'emballage) sur le temps de fonte, en contrôlant deux variables à chaque fois.

Pour le post-test, la réponse attendue était celle du niveau 2, mais plusieurs étudiant·e·s sont allé·e·s plus loin et ont répondu au niveau 3 ou 4. Il demeure qu'en réponse à la question posée, telle qu'elle était posée, la «bonne réponse » était au niveau 2.

### 3.3.2 Résultats de l'analyse qualitative classique

Avec les données issues de l'analyse qualitative classique, un score moyen au pré-test et au post-test a été calculé pour les étudiant·e·s du groupe contrôle (laboratoires traditionnels) et du groupe expérimental (laboratoires par enquête). La comparaison de ces scores est présentée dans le tableau 3.4.

**Tableau 3.4**

Effet de l'intervention (laboratoire par enquête) sur les scores obtenus aux questions «la crème glacée de George»

	Laboratoire	N	Score moyen	Écart type	t
PRÉ-TEST	Traditionnel	321	6,06	2,430	-1,219
	Par enquête	118	6,33	1,953	
POST-TEST	Traditionnel	91	1,78	0,984	-2,067*
	Par enquête	110	2,05	0,868	

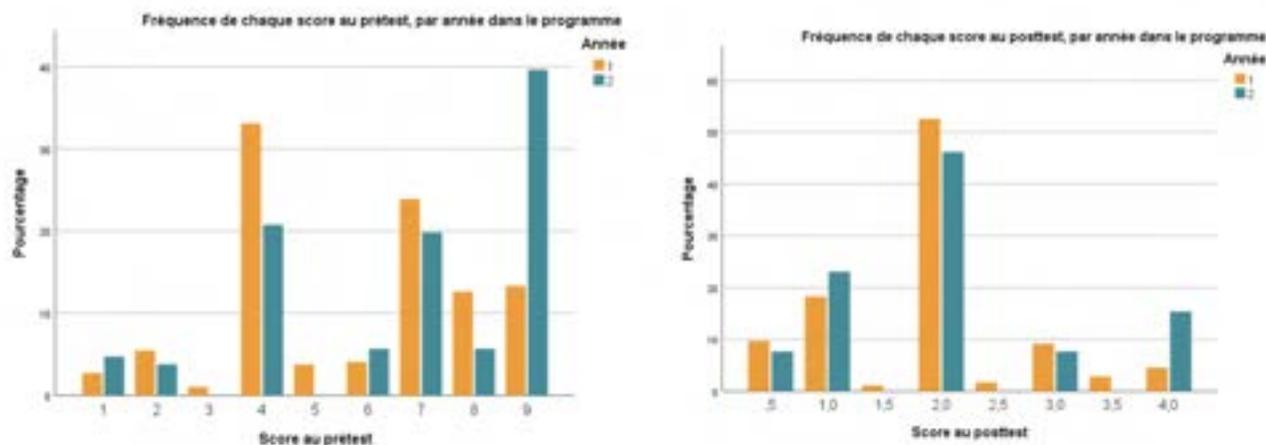
\*  $p < 0,05$ 

Les scores au pré-test ne se distinguent pas significativement entre le groupe contrôle et le groupe expérimental, mais les étudiant·e·s du groupe ayant eu des laboratoires par enquête réussissent significativement mieux le post-test que celles et ceux du groupe ayant eu des laboratoires traditionnels uniquement.

Ce résultat montre que, comme nous en faisons l'hypothèse, les laboratoires par enquête semblent permettre de développer une meilleure habileté à concevoir une expérience, en particulier en ce qui a trait au contrôle des variables. Une analyse des scores selon le moment dans le parcours collégial (première année ou deuxième année) a été réalisée. La figure 3.3 ci-dessous présente les résultats de cette analyse, pour le pré-test et le post-test.

**Figure 3.3**

Fréquence des scores au pré-test pour l'ensemble des participant·e·s, selon l'année où ils étaient dans le programme de Sciences de la nature (1re année ou 2e année).



La figure 3.3 montre une certaine forme de maturation à travers le programme, pour l'ensemble des étudiant·e·s (qu'ils et elles soient dans un dispositif par enquête ou non). Cette maturation ne se voit toutefois qu'au pré-test (où il suffisait d'identifier le problème de la conception expérimentale) et non pas au post-test (où il fallait en plus proposer des améliorations concrètes pour cette conception expérimentale fautive). Ceci s'observe à la figure ci-dessus par une nette augmentation du nombre de réponses ayant le score 9 au pré-test, tandis que la différence de distribution des scores au post-test n'est pas significative entre le pré et le post-test.

On peut conclure de ces deux résultats que le programme de Sciences de la nature permet aux étudiant·e·s de mieux comprendre les problèmes de conception d'expérience, sur la base de l'analyse de résultats expérimentaux, comme dans le pré-test. En revanche, une pédagogie incluant des laboratoires par enquête guidée permet aux étudiant·e·s de mieux apprendre à formuler des suggestions pour l'amélioration d'une conception expérimentale déficiente, comme dans le post-test. Cela nous a encouragés à explorer les effets de plafond que nous avons décrits précédemment. Cela nous a conduits à l'analyse qui suit.

Bien que ces analyses révèlent des schémas importants observés dans les réponses à l'instrument, elles reposent sur le codage manuel de caractéristiques développées de manière préalable (c'est-à-dire découlant du cadre conceptuel des chercheur·e·s). De cette manière, ils peuvent limiter ou masquer des schémas qui pourraient être révélés en utilisant des approches de codage émergentes. En outre, la comparaison de l'apprentissage des étudiant·e·s dans le cadre de différents traitements est compliquée par les effets d'alignement observés dans le problème original de la crème glacée de George, qui ont nécessité l'utilisation de différents éléments dans les divers scénarios du post-test.

Pour ces raisons, nous avons choisi d'entreprendre une analyse exploratoire complémentaire en utilisant des outils statistiques sophistiqués dans le domaine du traitement du langage naturel afin de créer un ensemble de mesures fondées plutôt qu'a priori. Nous présentons des preuves que ces mesures sont à la fois valides et fiables pour différents aspects de l'expertise, et nous constatons qu'elles soulignent encore plus le rôle que les laboratoires basés sur l'enquête peuvent jouer pour aider les étudiant·e·s à mieux apprendre l'art de l'expérimentation scientifique. Nous allons maintenant décrire ces techniques de modélisation et la manière dont elles ont été appliquées à notre étude quasi-expérimentale.

## 3.4 Partie II : Analyse avec un modèle statistique génératif

### 3.4.1 Un modèle statistique génératif : L'allocation de Dirichlet latente (ADL)

L'allocation de Dirichlet latente (ADL) est un modèle statistique génératif qui vise à découvrir les sujets sous-jacents dans une grande collection de documents. Introduite par Blei, Ng et Jordan en 2003, l'allocation de Dirichlet latente est depuis devenue une pierre angulaire dans le domaine de l'exploration de texte et du traitement du langage naturel (Blei *et al.*, 2003). Dans ce chapitre, nous utilisons l'allocation de Dirichlet latente pour explorer les réponses écrites à de multiples questionnaires d'enquête collectés avant et après l'enseignement, afin de déterminer s'il est possible de définir des mesures fiables du niveau de sophistication des étudiant·e·s et, le cas échéant, si les interventions laboratoire par enquête ont des effets mesurables et significatifs sur la capacité de réponse des étudiant·e·s.

#### *Principes d'allocation de Dirichlet latente*

L'idée de base d'allocation de Dirichlet latente est de représenter chaque document comme un mélange de sujets, où chaque sujet est caractérisé par une distribution de mots du texte. L'allocation de Dirichlet latente part du principe qu'un document  $d$  est généré en sélectionnant un ensemble de sujets, puis en choisissant des mots parmi ces sujets pour former le document. Le modèle ne connaît pas les sujets réels *a priori* ; il les apprend en examinant les schémas de cooccurrence des mots dans la collection de documents. Mathématiquement, l'allocation de Dirichlet latente utilise des distributions de Dirichlet, des distributions de probabilité particulièrement utiles pour traiter des événements multinomiaux (Minka, 2000), pour modéliser les relations entre les documents et les sujets, et entre les sujets et les mots.

#### *Aperçu algorithmique*

L'algorithme l'allocation de Dirichlet latente utilise généralement l'échantillonnage de Gibbs ou l'inférence variationnelle pour l'estimation des paramètres (Blei *et al.*, 2003). Étant donné un corpus de  $D$  documents et en supposant que  $K$  sujets, l'objectif est d'estimer :

- $d$ : la distribution des sujets pour le document  $d$ , et
- $k$ : la distribution des mots pour le sujet  $k$ .

Les  $d$  et  $k$  sont apprises à partir des données, tandis que les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  de la distribution de Dirichlet (priors de  $d$  et  $k$  respectivement) sont des hyperparamètres que les chercheurs doivent fixer. Pour ce faire, ils peuvent utiliser des techniques telles que la recherche en grille pour trouver des valeurs optimales ou, lorsque cela est possible, les fixer sur la base de la connaissance du domaine. Dans cette étude, nous utilisons le paquet R `topicmodels` (Grün & Hornik, 2011) qui définit des valeurs par défaut pour ces paramètres.

### *Limites de l'allocation de Dirichlet latente*

Bien qu'il s'agisse d'un outil puissant pour l'analyse de texte, l'allocation de Dirichlet latente présente deux défauts majeurs :

- 1) Comme beaucoup d'autres outils d'analyse quantitative de texte, tels que l'analyse sémantique latente (LSA ; Landauer & Dumais ; 1997), l'allocation de Dirichlet latente ne tient compte ni de la longueur du document ni de l'ordre d'apparition des mots. En raison de cette caractéristique, les modèles tels que l'allocation de Dirichlet latente et LSA sont communément appelés modèles «Bag-of-Words» (Landauer & Dumais, 1997 ; Blei *et al.*, 2003).
- 2) Tout comme le nombre de classes dans l'analyse des classes latentes (LCA ; voir, par exemple, Vermunt 2004), le nombre de sujets modélisés par l'allocation de Dirichlet latente est inconnu du chercheur a priori.  $K$  de sujets modélisés par l'allocation de Dirichlet latente est inconnu du chercheur *a priori*.

La première limitation peut être partiellement résolue en considérant non seulement les mots individuels (unigrammes) mais aussi les combinaisons de deux mots (bigrammes). Cette approche introduit une mesure de la dépendance de l'ordre des mots dans le modèle (Mikolov *et al.*, 2013). Pour répondre à la deuxième limitation, les analyses exploratoires impliquent généralement le calcul de modèles avec différentes valeurs de  $K$  et l'utilisation d'une ou plusieurs mesures basées sur la cohérence pour déterminer le nombre optimal de sujets (voir, par exemple, Mimno *et al.*, 2011).

### *Applications et cas d'utilisation*

Les chercheurs ont largement utilisé l'analyse linéaire des données dans divers domaines, notamment :

- classification et regroupement de textes
- systèmes de recommandation
- analyse des sentiments
- l'analyse exploratoire des données en sciences sociales et humaines.

C'est sur ce dernier cas d'utilisation que nous nous concentrons dans cette recherche. L'utilisation antérieure d'allocation de Dirichlet latente dans la recherche sur l'éducation comprend l'analyse des rétroactions en texte libre des étudiants pour identifier les sentiments ou les problèmes communs dans un cadre éducatif (Romero, Ventura & García, 2008) ; l'exploration de la dynamique des discussions en classe pour donner un aperçu des modèles d'engagement des étudiants et des changements de sujet (Paul & Girju, 2009) ; la notation automatique des questions à réponse courte en comparant les réponses des étudiants à des modèles définis par des experts (Ramesh *et al.*, 2013) ; et la catégorisation et la compréhension des forums éducatifs en ligne pour aider les étudiants à identifier les sujets qui leur posent le plus de problèmes (Wen *et al.*, 2014).

Les méthodes quantitatives d'analyse de texte telles que l'allocation de Dirichlet latente offrent des avantages uniques par rapport aux approches qualitatives en termes d'évolutivité, de reproductibilité et d'objectivité. Les analyses qualitatives, bien que riches en compréhension du contexte, sont souvent exigeantes en main-d'œuvre et subjectives, ce qui limite leur applicabilité à des ensembles de données plus importants (Denzin & Lincoln, 2000). En revanche, les méthodes quantitatives telles que l'analyse linéaire peuvent traiter et catégoriser efficacement de grands volumes de texte, offrant ainsi une vue d'ensemble qui serait impossible à obtenir par des moyens qualitatifs (Blei *et al.*, 2003). Ces algorithmes produisent également des résultats reproductibles, car le même ensemble de procédures peut être exécuté sur différents ensembles de données ou à différents moments, ce qui garantit la cohérence (Grimmer & Stewart, 2013). En outre, les approches quantitatives sont moins sujettes à la partialité des chercheurs puisqu'elles reposent sur des modèles mathématiques plutôt que sur l'interprétation humaine (Hopkins & King, 2010). Par conséquent, les techniques d'analyse quantitative de textes ouvrent de nouvelles voies pour mener des enquêtes textuelles plus approfondies, cohérentes et objectives, en particulier dans des domaines tels que les sciences sociales et humaines où l'analyse à grande échelle a traditionnellement été un défi.

#### Examen des données à travers le prisme d'allocation de Dirichlet latente

La nature hétérogène des réponses des étudiant·e·s aux différentes formes de l'instrument d'enquête, associée à la formulation variable des questions, rend la tâche d'examiner les changements avant et après l'instruction laborieuse lorsque l'on utilise des méthodes de codage manuel. Cette complexité nous incite à étudier deux questions de recherche distinctes : l'une de nature méthodologique et l'autre directement liée à l'efficacité des interventions de laboratoire par enquête :

1. L'allocation de Dirichlet latente peut-elle servir d'outil pour établir des mesures interprétables qui quantifient la sophistication des réponses des étudiant·e·s, en particulier lorsque ces réponses sont données à des instruments d'enquête non identiques avant et après l'enseignement ?
2. Si oui, les interventions laboratoire par enquête influencent-elles le développement de ces mesures chez les étudiant·e·s au cours d'un semestre ?

Nous répondons par l'affirmative à ces deux questions, comme nous l'expliquons dans la suite de ce chapitre.

### 3.4.2 Méthodologie

Cette analyse fait partie d'une quasi-expérience menée sur plusieurs semestres pour vérifier l'effet des approches laboratoire par enquête sur la capacité des étudiant·e·s à détecter les failles dans la conception expérimentale et l'interprétation statistique.

#### *Les données*

Les données utilisées pour la modélisation consistaient en 1 214 réponses à des messages-guides provenant de différentes itérations du questionnaire la crème glacée de George, collectées à la fois dans des contextes de pré-test et de post-test différé (tableau 2.5). Les données collectées consistaient en des réponses manuscrites à ces questions au début (pré-test) et à la fin (post-test différé) du semestre par 499 étudiant·e·s individuels : 325 dans la condition de traitement (laboratoire par enquête), 120 dans la condition de contrôle (non-laboratoire par enquête) et 54 indéterminés. Sur ces 1 214 réponses, 804 provenaient d'étudiant·e·s du groupe de traitement (laboratoire par enquête) et 320 du groupe de contrôle (non-laboratoire par enquête). Des réponses à des questions supplémentaires ont été enregistrées dans certaines conditions, mais elles n'ont pas été utilisées dans la modélisation l'allocation de Dirichlet latente, car elles étaient idiosyncrasiques par rapport à deux groupes d'étude. Néanmoins, nous avons pu analyser les réponses à ces questions à l'aide du modèle l'allocation de Dirichlet latente que nous avons développé.

#### *Prétraitement du texte*

Les réponses manuscrites aux questions des différents instruments ont été transcrites dans leur langue d'origine (français ou anglais) et conservées avec les identifiants de recherche des étudiant·e·s, des groupes (cours et section)

dont ils/elles faisaient partie, de l'établissement et de l'engagement de ce groupe dans l'apprentissage tout au long de la vie.

**Tableau 3.5**  
Invitations à la quasi-expérience de la crème glacée George.

Clé	Incitation	N <sub>LP</sub> <sub>E</sub>	N <sub>non-LPE</sub>	Type
Pré	Selon le test de George et ses mesures, pouvez-vous dire si la couleur de l'emballage de la crème glacée affecte le temps de fonte ? Expliquez votre raisonnement en mentionnant les mesures ci-dessus que vous avez utilisées pour parvenir à votre conclusion.	288	119	Pré-test
Poste 1	D'après les données qui ont été recueillies, expliquez ce que vous pensez que George essayait d'accomplir avec cette expérience. En d'autres termes, rédigez la question de recherche que vous pensez que George voulait poser.	157	50	Post-test différé
Post1b	En examinant la procédure et les données recueillies (voir Tableau 1), expliquez les principales erreurs que George a commises dans la conception de son expérience.	89	50	Post-test différé
Poste 2	Proposez des amendements à George sur sa conception expérimentale (procédure/méthodes) afin qu'il puisse mieux atteindre ses objectifs. Rédigez votre réponse comme si vous vous adressiez à George.	156	50	Post-test différé
Poste 3	Supposez que vous êtes un scientifique travaillant pour l'entreprise qui produit ces bâtonnets de crème glacée. Leur principale préoccupation est de maximiser la durée pendant laquelle leurs bâtonnets de crème glacée peuvent rester solides à l'extérieur d'un réfrigérateur. L'entreprise réalise que pour aborder cette préoccupation, il faut poser de nombreuses questions de recherche. Vous devez proposer une question de recherche spécifique pour aider l'entreprise à aborder sa préoccupation et concevoir une méthodologie (procédure/méthodes) appropriée pour répondre à votre question. Rédigez votre réponse comme si vous vous adressiez à votre collègue.	114	51	Post-test différé

Pour développer un modèle l'allocation de Dirichlet latente commun, les étapes de prétraitement suivantes ont été réalisées par le biais d'un ensemble de processus codés en Python à l'aide de plusieurs paquets de traitement de texte : nltk (<https://www.nltk.org>), contractions (<https://github.com/kootenpv/contractions>), autocorrection (<https://github.com/filyp/autocorrect>) et deep\_translator (<https://github.com/nidhaloff/deep-translator>).

- Traduction automatique dans une langue commune grâce à Google Translate. Étant donné que le chercheur chargé de l'analyse était anglophone et que de nombreux outils d'analyse de texte disponibles sont optimisés pour la langue anglaise, il a été décidé d'utiliser l'anglais comme langue commune pour l'analyse. Bien que des nuances aient été indubitablement perdues au cours de ce processus, le traitement ultérieur et la modélisation ont rendu le modèle insensible à ces nuances.
- Expansion automatique des contractions (par exemple, «didn't » a été remplacé par «did not »).

- Corriger et normaliser l'orthographe à l'aide de la vérification automatique de l'orthographe et de la conversion, le cas échéant, des conventions orthographiques américaines aux conventions orthographiques canadiennes.
- Remplacement des termes par leur synonyme le plus courant. Cette opération a été réalisée en tenant compte des ensembles de synonymes, classés par partie du discours (POS, par exemple : adjectif, nom, etc.) et des données relatives à la fréquence des mots.
- Lemmatisation : décomposition d'un mot jusqu'à sa racine : p. ex., le *lemme* de « better » est « good ».

Ces étapes ont permis de normaliser les ensembles de mots associés à chaque réponse, réduisant ainsi le nombre de jetons individuels identifiés dans les données et favorisant un modèle statistique plus robuste.

### *Construction de la matrice document-terme*

Les textes prétraités ont ensuite été tokenisés en unigrammes et bigrammes (compositions de deux mots) à partir desquels nous avons construit une matrice document-terme en utilisant la fonction `dfm` du package R `quantedata` (Benoit et al., 2018). Cette matrice encode la relation entre les tokens et les réponses, permettant la modélisation par l'allocation de Dirichlet latente. Les tokens apparaissant dans moins de 1 % des réponses ont été éliminés du modèle, car ils ont été jugés trop idiosyncrasiques pour être modélisés. De même, les jetons apparaissant dans plus de 99 % des réponses ont été éliminés, car ils étaient trop communs pour distinguer les réponses entre elles. La matrice résultante comprenait 1213 documents (réponses des étudiant·e·s) et 797 jetons uniques (unigrammes et bigrammes). À partir de cette matrice document-terme, des modèles l'allocation de Dirichlet latente ont été générés à l'aide de la fonction `ADL` du package R `topicmodels` (Grün & Hornik, 2011).

### *Déterminer le nombre optimal de sujets*

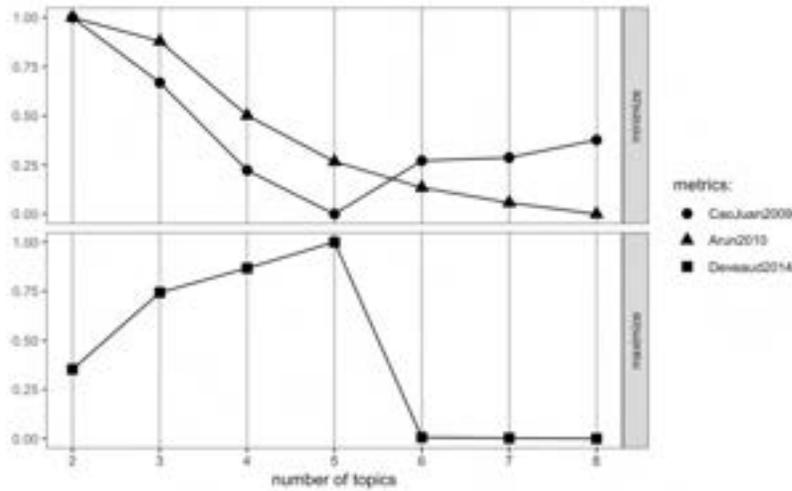
Des modèles thématiques ont été générés pour une série de numéros de sujets  $K \in \{2, \dots, 15\}$ . Chaque configuration a été initialisée de manière aléatoire et calculée 100 fois ; nous avons sélectionné l'itération présentant la log-vraisemblance la plus élevée afin d'atténuer le risque d'atteindre un maximum local, plutôt que global, de log-vraisemblance.

Pour évaluer ces modèles, nous avons utilisé trois mesures distinctes. Premièrement, la métrique 2009 de Cao *et al.* met l'accent sur le caractère distinctif des sujets en mesurant les distances intra-sujet et inter-sujets, garantissant ainsi que les sujets sont bien séparés (Cao *et al.*, 2009). Deuxièmement, la métrique 2010 d'Arun *et al.* utilise des techniques de factorisation matricielle pour évaluer dans quelle mesure les matrices générées par l'allocation de Dirichlet latente se rapprochent de la matrice terme-document originale, ce qui en fait un outil utile pour la comparaison des modèles (Arun *et al.*, 2010). Enfin, la métrique basée sur la cohérence de Deveaud *et al.* (2014) se concentre sur l'interprétabilité des sujets en mesurant la cohérence des mots les mieux classés dans chaque sujet sur la base de leur cooccurrence dans le corpus de référence (Deveaud *et al.*, 2014). Ces mesures ont été calculées pour chacun des modèles les plus probables et représentées graphiquement en fonction du nombre de thèmes  $K$  à l'aide des fonctions `FindTopicsNumber` et `FindTopicsNumber_plot` du package R `ldatuning` (Nikita, 2020).

Le graphique qui en résulte (voir la figure 3.4) indique que les mesures de CaoJuan2009 et de Deveaud2014 pointent toutes deux vers une configuration optimale de cinq sujets. Cela suggère qu'un modèle à cinq sujets produit des résultats qui sont à la fois cohérents et distincts, ainsi qu'interprétables et bien différenciés. En revanche, la métrique d'Arun2010 ne présente pas de minimum dans la plage de  $K$  considérée. Sa valeur modérée implique que, bien que le modèle à cinq thèmes soit acceptable, il n'offre peut-être pas la représentation la plus complète de l'ensemble de la collection de documents.

**Figure 3.4**

Métriques basées sur la cohérence évaluant les modèles l'allocation de Dirichlet latente construits sur un nombre différent de sujets.



Notes : par souci de clarté, les résultats concernant le nombre de sujets sont omis car ils ne contiennent pas d'informations nouvelles.  $K \in \{9 \dots 15\}$  de sujets sont omis car ils ne contiennent pas de nouvelles informations.

Nous avons ensuite affiné le modèle à cinq sujets sélectionné en le recalculant avec 1 000 initialisations aléatoires, en sélectionnant à nouveau l'itération présentant la log-vraisemblance la plus élevée pour l'utiliser comme base de nos analyses.

### *Transformation des charges thématiques*

Dans la méthode l'allocation de Dirichlet latente, la distribution des sujets au sein des documents est représentée par  $\theta_d$  la distribution des sujets entre les documents. Chaque document  $d$  se voit attribuer des charges de sujets l'allocation de Dirichlet latente T01, T02, ..., T05 (dans notre modèle à cinq sujets) correspondant aux proportions de chaque document composées des sujets respectifs. En tant que proportions, chaque ensemble de pondérations thématiques est soumis à deux contraintes : chaque pondération se situe dans l'intervalle  $[0,1]$  et, pour chaque document, la somme des pondérations est égale à 1 (ou 100 %). Par exemple, un document peut être décrit comme étant composé de 11 % du thème 1, de 13 % du thème 2, etc.

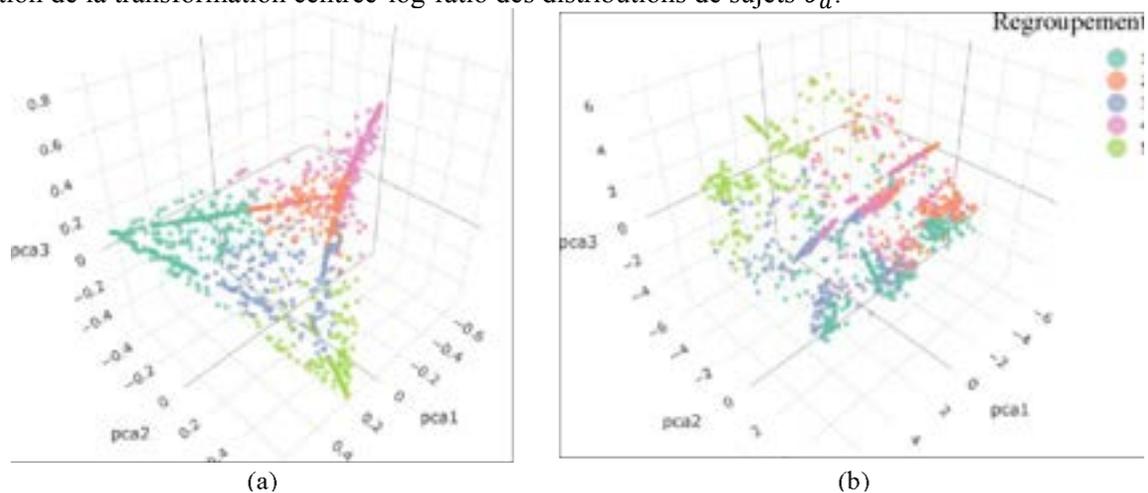
D'un point de vue mathématique, ces deux contraintes placent les variables de chargements thématiques dans ce que l'on appelle un espace simplexe - un espace géométrique spécialisé qui englobe des données de composition telles que celles-ci (Aitchison, 1982). Cependant, l'espace du simplexe n'est pas fermé par les opérations mathématiques conventionnelles d'addition et de soustraction, ce qui rend les opérations statistiques typiques telles que le calcul d'une moyenne (qui nécessite une addition) mal définies. Ces facteurs font qu'il est difficile d'analyser et d'interpréter ces types de données de manière rigoureuse.

Pour relever les défis posés par l'espace simplexe, nous utilisons la transformation CLR (Centred Log-Ratio). Cette transformation fait correspondre les données de composition à un espace euclidien qui présente une fermeture sous addition, et dans lequel les métriques de distance sont bien définies. Cela permet d'appliquer des techniques statistiques standard telles que le calcul des moyennes et des variances (Quinn et al., 2019), ce qui est conforme aux meilleures pratiques en matière d'analyse des données de composition (Aitchison, 1982). La transformation CLR fournit donc un cadre méthodologique robuste pour interpréter les topic loadings de manière statistiquement rigoureuse.

Pour illustrer l'utilité de la transformation CLR, nous avons calculé le regroupement Partitioning Around Medoids (PAM) des charges thématiques brutes à l'aide des fonctions `pamk` et `pam` du paquet R `fpc` (Hennig, 2023). La solution optimale de regroupement s'est avérée comporter cinq groupes, chacun étant associé à la charge thématique la plus importante du document. La figure 3.5a, une visualisation tridimensionnelle de l'ACP (Jolliffe, 2002), montre les points contraints à un tétraèdre dont les sommets correspondent à quatre des thèmes - un reflet géométrique de l'espace simplexe dans lequel résident les charges thématiques<sup>2</sup>. Après la transformation CLR, comme le montre la figure 3.5b, la contrainte est levée et les groupes restent distincts, mais les points ne sont plus liés de la même manière. Cette transformation fait correspondre les charges thématiques à l'espace euclidien, les couleurs indiquant les grappes identifiées par le PAM des charges thématiques brutes, ce qui permet une analyse et une interprétation plus nuancées de la distribution des thèmes.  $\theta_d$ .

### Figure 3.5

Illustration de la transformation centrée-log-ratio des distributions de sujets  $\theta_d$ .



Notes : (a) Les charges thématiques d'origine contraintes à leur espace simplexe. (b) Les mêmes données après la transformation CLR, qui fait correspondre les charges thématiques à l'espace euclidien. Les couleurs indiquent les grappes identifiées par le partitionnement autour des médioïdes (PAM) des charges thématiques brutes.

#### Implications de la transformation du CLR

Bien qu'elle permette de résoudre les difficultés liées à l'utilisation de données compositionnelles dans un espace simplexe, cette méthode n'est pas sans complications. L'application de la transformation CLR à notre ensemble de données fait apparaître une bimodalité apparente dans la distribution des données. Mathématiquement, l'amélioration de la bimodalité par la transformation CLR est due à son rapport logarithmique qui amplifie la distinction entre les valeurs proches de zéro et les autres points de données. Cet effet est illustré dans la figure 3.6.

L'émergence de la bimodalité nécessite de s'écarter des tests statistiques paramétriques conventionnels (par exemple, les tests  $t$ ), car les hypothèses de normalité inhérentes à ces tests sont violées. Par conséquent, l'adoption de tests statistiques non paramétriques devient impérative pour garantir une analyse solide et valide des données transformées.

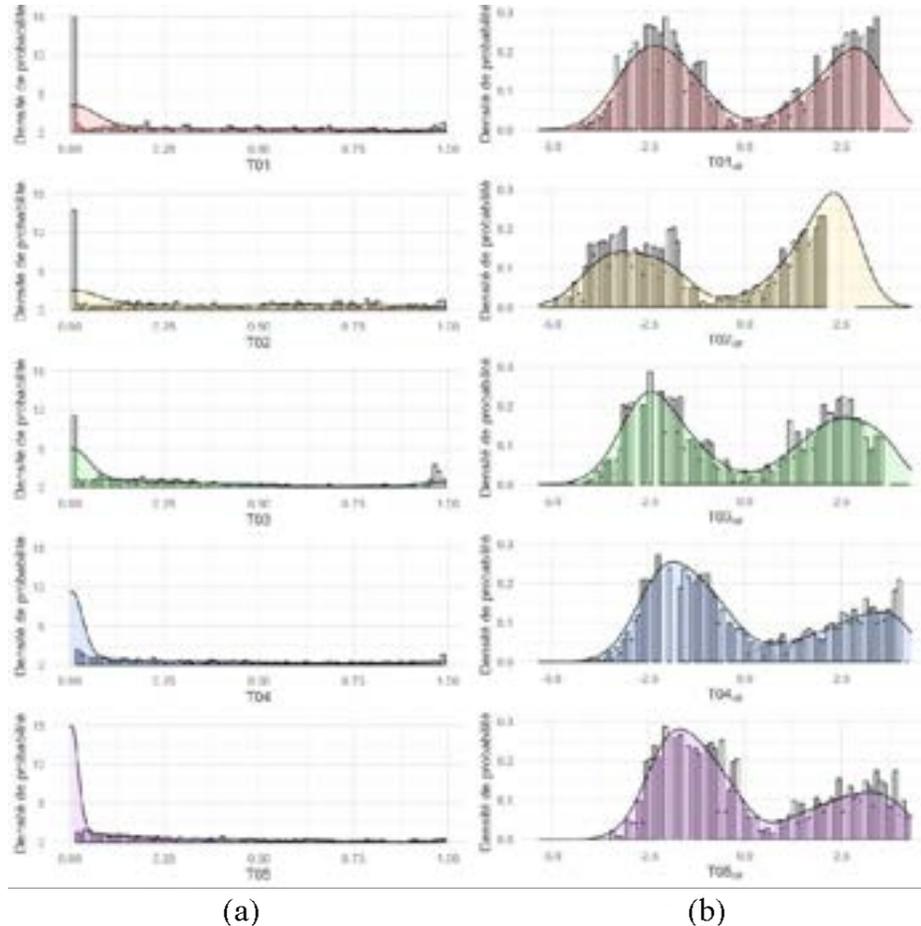
Dans les analyses suivantes, nous optons pour le bootstrapping (Efron & Tibshirani, 1994) - une technique de rééchantillonnage non paramétrique - afin de tirer des conclusions à partir des données transformées par le CLR. Le bootstrapping ne suppose pas une distribution spécifique des données et est donc adapté à l'analyse de données

<sup>2</sup> Si nous pouvions tracer une représentation quadridimensionnelle, la forme du simplexe serait en fait un *pentachoron*, dont les cinq sommets correspondraient à chacun de nos cinq sujets.

présentant une bimodalité. Grâce au bootstrapping, nous visons à obtenir des estimations fiables des paramètres d'intérêt, ce qui garantit la robustesse de nos résultats malgré la nature bimodale des données transformées.

**Figure 3.6**

Bimodalité amplifiée dans les distributions de données d'étudiant·e·s transformées par CLR.



Notes : (a) histogramme et diagramme de densité des charges thématiques brutes (compositionnelles) ; (b) histogramme et diagramme de densité des données correspondantes transformées par le CLR.

### Interprétation des cinq thèmes

Une fois le modèle à cinq thèmes sélectionné, nous avons cherché à comprendre la signification et l'interprétabilité des thèmes associés. Plus précisément, nous avons examiné à la fois la  $\theta_d$  (la distribution des sujets dans un document spécifique  $d$ ) et  $\phi_k$  (indiquant quels mots sont les plus répandus ou définissant un sujet donné  $k$ ).

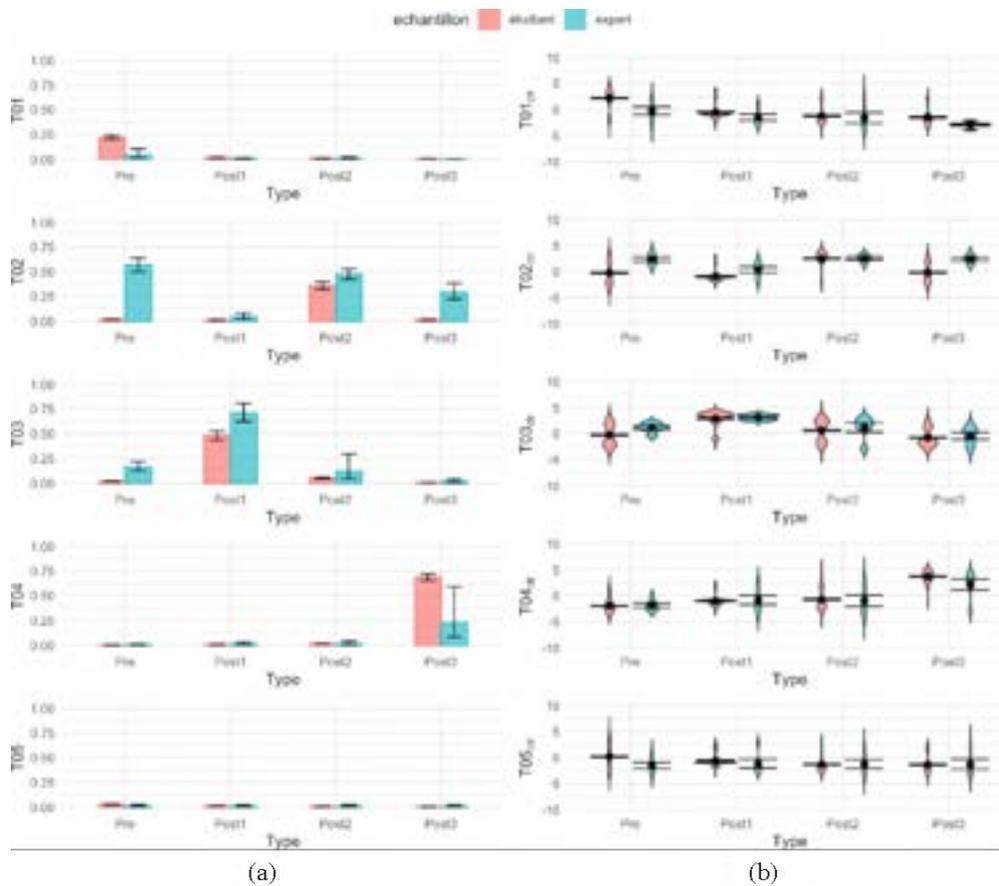
### Répartition des thèmes $\theta_d$ des thèmes

Pour interpréter et comprendre la nature des sujets révélés par l'allocation de Dirichlet latente, nous avons d'abord adopté une approche comparative - en juxtaposant les réponses des étudiant·e·s à celles de six expert·e·s (professeur·e·s de sciences au Cégep). Cette approche comparative, centrée sur les questions du questionnaire crème glacée de George, permet de mieux comprendre la qualité de l'argumentation exprimée par la saturation des sujets. Nous avons calculé les charges thématiques des réponses des experts aux questions «Pre», «Post1», «Post2» et «Post3» du CPG afin de les comparer à celles de l'échantillon d'étudiant·e·s.

Ces données sont illustrées à la figure 3.7, à la fois (a) avant la transformation CLR (à l'aide des moyennes géométriques et des erreurs standard, qui sont bien définies pour les variables de composition) et (b) après la transformation CLR. Cela montre que les étudiant·e·s et les expert·e·s partagent des similitudes dans de nombreux domaines, bien que des distinctions claires entre les écrits des expert·e·s et des étudiant·e·s soient évidentes dans la manière dont les réponses à certaines questions sont composées de certains thèmes. À partir d'un examen superficiel, nous formulons les conjectures préliminaires suivantes :

- Le sujet T04 semble refléter un sujet que les experts intègrent comme élément de réponse à la plupart, voire à la totalité, des questions.
- Le thème T03 est un composant qui reflète les réponses à l'invite «Post1 ». Il semble être employé davantage par les experts que par les étudiant·e·s dans ce contexte.
- De même, le sujet T01 est fortement associé à l'invite «Post3 » et est employé par les étudiant·e·s dans une plus large mesure que par les expert·e·s, bien que cette différence soit peut-être trop faible pour être significative.
- Le sujet T05 est un élément peu utilisé dans les réponses à ces questions. Néanmoins, les étudiant·e·s semblent l'intégrer davantage dans leurs réponses à l'exercice «Pré ».
- Le sujet T02 ne semble pas être une composante majeure des réponses à l'une ou l'autre des questions.

**Figure 3.7**  
Chargement des sujets par type de question et par échantillon.



Notes : (a) Diagramme à barres de la moyenne géométrique et de l'erreur-type géométrique des charges thématiques brutes ; (b) diagramme en violon des distributions de ces données après transformation CLR.

Bien que la moyenne géométrique et l'erreur type géométrique soient mathématiquement bien définies sur l'espace simplexe des variables de composition, elles peuvent encore être quelque peu trompeuses car elles ne tiennent pas strictement compte de la contrainte de la somme à 1 de la composition. Nous avons donc entrepris de vérifier ces conjectures préliminaires en examinant les distributions des charges thématiques transformées par le rapport logarithmique centré.

### Analyse des valeurs moyennes

Dans la discussion précédente, une optique comparative a été employée pour délimiter les associations apparentes entre les sujets dérivés d'allocation de Dirichlet latente et les réponses des étudiant·e·s et des expert·e·s aux messages-guides du crème glacée de George . Les conjectures préliminaires tirées des visualisations de la figure 3.7 soulignent certaines distinctions claires dans la charge des sujets, qui font potentiellement allusion aux différentes qualités de l'argumentation entre les deux groupes. Un examen statistique plus rigoureux s'impose pour tirer parti de ces observations préliminaires. Cela permettra de s'assurer que les différences observées dans la répartition des thèmes sont robustes et ne sont pas des artefacts de la nature compositionnelle des données.

Nous commençons par examiner si les moyennes de la charge thématique transformée par le CLR corroborent les conjectures préliminaires exposées ci-dessus. Notez que les variables transformées par le CLR n'adhèrent pas à une distribution normale, ce qui remettrait en question l'applicabilité des tests t (ou de tout autre test paramétrique) compte tenu du petit échantillon de réponses d'experts. Ce scénario nécessite d'autres méthodologies statistiques robustes capables de contourner les hypothèses rigoureuses liées aux tests paramétriques.

Nous avons donc adopté une approche bootstrap pour cette analyse, une méthodologie empirique bien connue pour sa capacité à fournir des informations dans des scénarios où les hypothèses des tests paramétriques ne sont pas respectées (Efron & Tibshirani, 1994). Nous avons procédé à un rééchantillonnage (avec remplacement) sur 10 000 itérations, en utilisant la fonction «boot» du paquet boot R (Canty & Ripley, 2022) pour construire une distribution d'échantillonnage empirique pour les différences de moyennes de l'échantillon (étudiant·e·s/expert·e·s). Cette analyse bootstrap a facilité la caractérisation de l'estimation et de l'erreur standard de la différence des moyennes pour chaque sujet. En outre, des intervalles de confiance corrigés du biais et accélérés (BCa) (DiCiccio & Efron, 1996) ont été calculés à l'aide de la fonction «boot.ci» du même progiciel. Enfin, à partir de ces intervalles de confiance, nous avons calculé des valeurs p effectives pour faciliter l'interprétation.

**Sujet T01.** Le sujet T01 est principalement, bien que faiblement, observé dans les réponses à l'invite «Pre ». Comme le résume le tableau 2.6, il présente une association nettement plus forte avec les réponses des étudiant·e·s aux questions «Pre » et «Post3 », ainsi qu'à l'ensemble des questions.

**Tableau 3.6**

Association du thème T01<sub>clr</sub> avec les réponses des étudiant·e·s et des expert·e·s.

	Pré	Poste 3	Tous les messages
Nstudent	454	179	1074
Nexpert	6	6	24
Estimation	2.48	1.43	1.90
95 % IC	[1.18, 3.84]	[1.01, 1.98]	[1.15, 2.62]
BCa			
SE <sub>eff</sub>	0.68	0.25	0.37
p <sub>eff</sub>	< .001***	< .001***	< .001***

Notes : Basé sur 10 000 échantillons bootstrap stratifiés sur les charges T02 transformées par le CLR. Les colonnes indiquent la promptitude. Les valeurs positives de l'estimation indiquent une association plus forte avec les réponses des étudiant·e·s, tandis que les valeurs négatives indiquent une association plus forte avec les réponses des expert·e·s pour le thème T02. Seuls les résultats significatifs sont résumés.

\* $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ . \*\*\*  $p < .001$ .

**Sujet T02.** Il s'agit peut-être du thème le plus intéressant de ces ADL car, bien qu'il soit clairement associé à l'expertise, les étudiant·e·s emploient également son langage dans leurs réponses à l'invite «Post2 ». En effet, la différence de charge entre les étudiant·e·s et les expert·e·s n'est pas significative dans ce contexte (tableau 3.7). Ce thème est très largement associé à l'expertise lorsque l'on considère les autres questions ou les réponses agrégées à toutes les questions. Cela suggère que T02 est un élément incorporé par les experts dans leurs réponses à l'ensemble des questions.

**Tableau 3.7**

Association du thème T02<sub>clr</sub> avec les réponses des étudiant·e·s et des expert·e·s

	Pré	Poste 1	Poste 3	Tous les messages
Nstudent	454	221	179	1074
Nexpert	6	6	6	24
Estimation	-2.68	-1.21	-2.59	-1.73
95 % IC	[-3.48, -1.93]	[-2.11, -0.06]	[-3.29, -1.90]	[-2.24, -1.16]
BCa				
SE <sub>eff</sub>	0.39	0.52	0.36	0.28
p <sub>eff</sub>	< .001***	0.021*	< .001***	< .001***

Notes : Basé sur 10 000 échantillons bootstrap stratifiés sur les charges T04 transformées par le CLR. Les colonnes indiquent la promptitude. Les valeurs positives de l'estimation indiquent une association plus forte avec les réponses des étudiant·e·s, tandis que les valeurs négatives indiquent une association plus forte avec les réponses des expert·e·s pour le thème T04. Seuls les résultats significatifs sont résumés.

\* $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ . \*\*\*  $p < .001$ .

**Thème T03.** Ce thème est le plus fortement associé à l'invite « Post1 » (figure 3.7) et, dans ce contexte, on observe qu'il reflète davantage les réponses des experts à ce thème. En revanche, il ne permet pas de distinguer les réponses des experts de celles des étudiant·e·s pour les autres invites, ni lors de l'agrégation des invites (tableau 3.8).

**Tableau 3.8**

Association du thème T03<sub>clr</sub> avec les réponses des étudiant·e·s et des expert·e·s

	Pré
Nstudent	454
Nexpert	6
Estimation	-1.40
95 % IC	
BCa	[-2.05, -0.66]
SE <sub>eff</sub>	0.357
p <sub>eff</sub>	< .001***

Notes : Basé sur 10 000 échantillons bootstrap stratifiés sur les charges T04 transformées par le CLR. Les colonnes indiquent la promptitude. Les valeurs positives de l'estimation indiquent une association plus forte avec les réponses des étudiant·e·s, tandis que les valeurs négatives indiquent une association plus forte avec les réponses des expert·e·s pour le thème T04. Seuls les résultats significatifs sont résumés.

\* $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ . \*\*\*  $p < .001$ .

**Thème T04.** Ce thème n'a pas montré de différence significative dans ses charges sur les réponses des étudiant·e·s et des expert·e·s à l'une ou l'autre des invites. Son poids est le plus important dans les réponses à «Post3 », ce qui suggère que ce thème est associé uniquement aux détails inhérents à la réponse à l'invite et qu'il ne fait pas la distinction entre une écriture de type étudiant·e et une écriture de type expert.

**Sujet T05.** Bien que ce thème ne contribue pas fortement aux réponses à l'une ou l'autre des questions, il est plus étroitement associé au pré-test «Pre ». Dans ce contexte, il a eu un impact beaucoup plus important sur les écrits des étudiant·e·s que sur ceux des expert·e·s (tableau 3.9). En outre, cette différence est également significative si l'on considère l'ensemble des réponses à toutes les questions, mais pas si l'on considère ces questions individuellement. Il n'est pas clair *a priori* si l'absence de différence dans le post-test différé reflète la formulation différente des questions du post-test, ou si elle indique que les étudiant·e·s ont appris à moins intégrer ce sujet.

**Tableau 3.9**

Association du thème 105<sub>clr</sub> avec les réponses des étudiant·e·s et des expert·e·s.

	Pré
Nstudent	454
Nexpert	6
Estimation	1.69
95 % IC	
BCa	[0.41, 2.73]
SE <sub>eff</sub>	0.59
p <sub>eff</sub>	.004**

*Notes :* Basé sur 10 000 échantillons bootstrap stratifiés sur les charges T04 transformées par le CLR. Les colonnes indiquent la promptitude. Les valeurs positives de l'estimation indiquent une association plus forte avec les réponses des étudiant·e·s, tandis que les valeurs négatives indiquent une association plus forte avec les réponses des expert·e·s pour le thème T04. Seuls les résultats significatifs sont résumés.

\*p < .05. \*\* p < .01. \*\*\* p < .001.

En résumé, l'examen de la manière dont les cinq thèmes dérivés de l'analyse linéaire des données se sont imposés dans les réponses des étudiant·e·s et des expert·e·s aux messages-guides fournit les premiers indices quant à leur interprétation.

- T01 est un indicateur d'écriture de type novice, observé principalement dans les réponses à l'invite «Pre ».
- T02 est prévalent est fortement associé à l'écriture de type expert et est prévalent pour tous les sujets à l'exception de «Post1 ».
- T03 n'est présent que dans les réponses à l'invite «Post1 », où il présente une association modérée avec l'écriture de type expert. Nous classons donc T03 comme un indicateur modéré de l'écriture de type expert.
- T04 est étroitement lié à l'invite «Post3 » et ne fait pas la distinction entre les réponses de type étudiant·e et expert·e à cette question. C'est pourquoi nous classons T04 dans la catégorie des indicateurs neutres.
- T05 est très peu utilisé, principalement en réponse à l'invite «Pre ». Dans ce contexte, elle est fortement associée à l'écriture de type étudiant·e·s. C'est pourquoi nous classons le T05 comme un indicateur d'écriture de type novice.

Des questions demeurent quant à cette catégorisation : les saturations des sujets T02 et T03 mesurent-elles un trait dans deux contextes différents (« Post1 » vs. toutes les autres invites), ou reflètent-elles des aspects indépendants de l'expertise ? De même, T01 et T05 reflètent-ils un seul trait ou plusieurs traits de l'écriture novice ? Pour explorer ces questions, nous nous tournons vers une analyse des corrélations entre les charges thématiques.

### *Analyse des corrélations*

Afin d'explorer plus avant la distribution sujet-document  $\theta_d$  nous avons exploré cette distribution pour déterminer si des corrélations significatives entre les sujets pouvaient être discernées. Bien que les sujets l'allocation de Dirichlet latente soient générés en supposant leur indépendance (c'est-à-dire que la présence d'un sujet dans un document n'affecte pas la probabilité de la présence d'un autre sujet), trois considérations nous ont incités à approfondir cette question.

1. D'un point de vue mathématique, les corrélations sont garanties dans les saturations des thèmes et leurs valeurs transformées par CLR en raison de leur nature compositionnelle. Bien que la transformation CLR atténue les complexités de l'espace simplexe à partir duquel les saturations brutes sont tirées, elle n'atténue pas complètement la contrainte de la somme à un. Ainsi, l'espace des saturations thématiques est un sous-espace quadridimensionnel de l'espace euclidien à cinq dimensions dans lequel les saturations thématiques CLR sont projetées. En d'autres termes, les données doivent présenter une *certaine* structure de corrélation.
2. Le modèle l'allocation de Dirichlet latente a été calculé sur un ensemble de réponses d'étudiant·e·s prises à différents moments (pré-test et post-test différé). Il est possible que l'examen du sous-ensemble de réponses prises à un seul moment (post-test différé) révèle une structure de corrélation qui ne serait pas globalement évidente.
3. Dans les sections précédentes, nous avons illustré la manière dont certains sujets sont capables de distinguer une argumentation de type expert d'une argumentation de type novice. A priori, il n'est pas certain que la structure de corrélation attendue aux points 1 et 2 reflète cet état de fait.

Nous avons donc entrepris une brève étude de la structure de corrélation des charges thématiques transformées par le CLR dans les réponses des étudiant·e·s au post-test différé. Bien que nos résultats soient conformes à l'hypothèse de l'indépendance des sujets, nous rendons compte de la méthodologie qui, selon nous, représente une nouvelle approche.

Plutôt que de rapporter et de synthétiser de manière exhaustive les coefficients de corrélation par paire, nous avons cherché à savoir si les facteurs sous-jacents pouvaient expliquer la structure observée. L'écart important par rapport à la normalité des données rend toutefois suspecte l'analyse factorielle traditionnelle.

Au lieu de cela, nous avons d'abord utilisé l'analyse en composantes principales (ACP), en limitant nos données à la saturation (transformée par le CLR) des réponses des étudiant·e·s au post-test différé (c'est-à-dire en excluant les réponses au pré-test, car elles ont été collectées à un moment antérieur). L'ACP implique simplement une rotation orthogonale des variables qui diagonalise la matrice de covariance. Ce faisant, elle trouve une représentation dans laquelle les groupements de variables (appelés composantes principales) sont (a) non corrélés et (b) décrivent une fraction quantifiable de la covariance totale des données (tableau 3.10).

Comme prévu, l'une des cinq composantes principales (PC5) était insignifiante (c'est-à-dire qu'elle n'expliquait aucune des covariances des données) en raison de la multicollinéarité inhérente à une construction quadridimensionnelle intégrée dans un espace quinquidimensionnel. Cette composante nulle a été abandonnée, laissant un ensemble orthogonal de coordonnées couvrant les quatre dimensions indépendantes des données. Cette représentation était toutefois difficile à interpréter, car la base de cet espace a été choisie par l'ACP pour maximiser la variance décrite par chaque composante.

**Tableau 3.10**

Composantes principales de la saturation des thèmes transformée par le CLR.

	PC1 (38.0% )	PC2 (29.9% )	PC3 (19.6% )	PC4 (12.4% )	PC5 (0.0% )
T01 <sub>cl</sub> r	-0.016	0.203	0.733	-0.470	0.447
T02 <sub>cl</sub> r	0.262	0.735	-0.433	0.060	0.447
T03 <sub>cl</sub> r	0.556	-0.601	-0.256	-0.252	0.447
T04 <sub>cl</sub> r	0.788	-0.181	-0.345	-0.164	0.447
T05 <sub>cl</sub> r	-0.015	-0.157	0.301	0.827	0.447

Notes : Calculé à partir des réponses des étudiant·e·s aux questions du post-test différé. Les pourcentages figurant en tête de colonne indiquent la proportion de variance décrite par la composante correspondante. La composante PC-5 est un artefact de l'expression des données quadridimensionnelles par cinq coordonnées. Elle a été abandonnée avant tout autre traitement.

Pour atténuer cette difficulté d'interprétation, nous avons effectué une rotation supplémentaire des coordonnées, en utilisant une rotation oblique, promax (voir, par exemple, Kline, 2014). Cette rotation, couramment utilisée en analyse factorielle, vise à simplifier la structure des charges factorielles afin d'en faciliter l'interprétation. La nature oblique de la représentation permet aux facteurs de présenter des corrélations.

Cette séquence d'étapes : effectuer l'ACP sur les saturations des sujets, supprimer la composante principale nulle, représenter les composantes résultantes par des facteurs obliques est non paramétrique et déterministe. En d'autres termes, elle évite les hypothèses de distribution normale des variables inhérentes à l'analyse factorielle. L'ACP est cependant connue pour être sensible aux valeurs aberrantes. C'est pourquoi nous avons opté pour un échantillonnage bootstrap de l'ensemble de la procédure afin d'atténuer cette sensibilité et d'estimer les intervalles de confiance sur les charges factorielles. Par souci de cohérence entre les échantillons, les signes des éléments des composantes de l'ACP ont été normalisés (les saturations ayant la valeur absolue la plus élevée ont été choisies comme positives), de même que ceux des coordonnées promax-rotation. Les résultats de ce bootstrap de 20 000 échantillons sont résumés dans le tableau 3.11.

Les résultats de cette analyse suggèrent *fortement* que la restriction des données au sous-ensemble post-test différé (où l'on pourrait s'attendre à un degré de corrélation plus élevé) n'introduit aucune corrélation autre que les corrélations parasites (relativement faibles et symétriques) découlant de la dimensionnalité. Chacun des facteurs a une forte charge sur exactement un thème, avec une charge négative (faible) sur le thème T03<sub>cl</sub>. En outre, les corrélations entre ces facteurs (tableau 2.11) sont parfaitement symétriques, ce qui renforce notre conviction que les seules corrélations présentes entre les thèmes sont un artefact de la dimensionnalité.

**Tableau 3.11**

Structure factorielle effective des pondérations thématiques transformées par le CLR.

	R1	R2	R3	R4
T01 <sub>cl</sub>			0.999***	
<sup>r</sup> T02 <sub>cl</sub>		0.999***		x
<sup>r</sup> T03 <sub>cl</sub>	-0.316*	-0.316***	-0.316***	-0.316***
<sup>r</sup> T04 <sub>cl</sub>	0.999*			
<sup>r</sup> T05 <sub>cl</sub>				0.999***
<sup>r</sup>				

Notes : Basé sur 20 000 échantillons bootstrap. Les saturations dont les valeurs absolues sont inférieures à 0,3 sont (Sallis et al., 2021). Les colonnes ont également été réorganisées pour plus de clarté. Le vecteur de chargement R3 supprimées, comme c'est souvent le cas dans les rapports sur les saturations des facteurs dans l'analyse factorielle présente un degré de signification plus faible dans ses résultats ; nous interprétons cela comme un artefact résultant d'une identification incohérente des composantes principales de l'ACP dans quelques échantillons bootstrap.

**Tableau 3.12**

Corrélations entre les facteurs efficaces

	R1	R2	R3	R4
R <sub>1</sub>	1.000	-0.201	-0.201	-0.201
R <sub>2</sub>	-0.201	1.000	-0.201	-0.201
R <sub>3</sub>	-0.201	-0.201	1.000	-0.201
R <sub>4</sub>	-0.201	-0.201	-0.201	1.000

### 3.4.3 Résumé de l'analyse de la distribution $\theta_d$ des thèmes

Les résultats de l'analyse de la répartition des thèmes révèlent ce qui suit :

- La nature indépendante et non corrélée des sujets reste solide lorsque l'on examine des sous-ensembles de données dans lesquels on aurait pu s'attendre à des corrélations accrues.
- Quatre des thèmes, T01, T02, T03 et T05, permettent de distinguer de manière fiable les réponses de type expert de celles de type novice, du moins lorsqu'ils sont limités à certaines invites.
- Les sujets T01 et T05 sont associés à des réponses de type novice aux invites «Pre », et aux invites «Pre » et « Post3 », respectivement.
- Le sujet T03 est associé à des réponses de type expert à l'invite «Post1 » uniquement.
- Le thème T02 fait la distinction entre les réponses de type expert et novice dans plusieurs contextes : «Pre», « Post2 » et « Post3 ».

Il s'agit maintenant d'établir la validité de ces assignations en examinant les mots et les phrases associés à chaque thème.

### *Distribution $\phi_k$ de mots tokenisés pour le thème $k$ .*

Une autre partie importante du modèle l'allocation de Dirichlet latente est la distribution  $\phi_k$  des mots tokenisés associés au sujet  $k$  (Blei *et al.*, 2003). Les jetons sur lesquels le modèle est construit représentent les mots inclus dans les textes. Toutefois, avant de mettre en œuvre le modèle de l'allocation de Dirichlet latente, nous avons divisé le texte en unigrammes et en bigrammes afin d'obtenir une représentation sémantique plus riche. Les unigrammes se réfèrent à des mots uniques, tandis que les bigrammes impliquent des paires de mots adjacents. Cette stratégie de symbolisation permet d'identifier non seulement des mots individuels, mais aussi des phrases communes pertinentes pour les sujets. Ce faisant, nous visons à fournir une compréhension plus nuancée des sujets, car les bigrammes peuvent refléter des nuances phraséologiques et des relations entre les mots que les unigrammes pourraient manquer (Mikolov, Sutskever, Chen, Corrado, & Dean, 2013).

Pour mieux comprendre la signification éventuelle de ces cinq sujets à la suite de l'allocation de Dirichlet latente, nous avons extrait les 30 tokens les plus courants (unigrammes et bigrammes) et les 30 tokens les plus courants propres à chaque sujet. Ces éléments sont résumés dans le tableau 2.13 ci-dessous.

La synthèse des résultats du tableau 9 permet de constater ce qui suit :

- Un grand nombre de tokens les plus communs sont partagés entre les sujets (*affect, affect\_melt, be, change, coffee, color, different, experiment*, etc. sont observés dans les tokens les plus communs de plus d'un sujet) ; les contrastes entre les sujets sont plus clairs lorsque l'on considère leurs tokens uniques les plus communs.
- Le sujet T01, comme le sujet T05 ci-dessous, se concentre sur les détails de la situation (*color\_packaging, wrapper\_affect, wrapper\_not, lemon\_season, one\_two, five\_six, three\_four*) mais semble également impliquer l'identification de différences (*different\_melt, icecream\_different, two\_different, flavor\_different*) et en tirer des conclusions (*conclude, accord, not\_think, cannot\_be*). Ce dernier élément est intéressant, dans la mesure où les conclusions tirées ne semblent pas s'appuyer sur des concepts statistiques formels. Ainsi, on peut affirmer que T05 est un élément d'argumentation auquel il manque des justifications essentielles.
- Le thème T02 est sensible aux mots associés à des concepts statistiques formels (*contrôle, variable\_be, indépendant, variable\_indépendante, dépendant, variable\_dépendante, uniforme*). Il reflète également une formulation associée à la fois à la fiabilité et à la validité par l'utilisation de mots tels que *many, accurate, error, enough, many\_variable* et *one\_variable*, ce qui est cohérent avec les résultats des études de cas (chapitre 4 et 5). Enfin, ce sujet semble envisager des hypothèses, exprimées avec peut-être un certain niveau de qualification (*pourrait\_être, possible, devrait\_conserver, devrait\_utiliser*).
- Le thème T03 est presque entièrement observé dans les réponses à l'invite «Post1 », et ses termes uniques doivent être compris dans ce contexte. Les jetons *try, be\_try, george\_be, try\_see, think\_george* et *george\_want* semblent indiquer que ceux qui intègrent ce thème dans leurs réponses s'adressent directement à George par son nom et suggèrent directement des actions spécifiques (*try, be\_try*) en réponse à cette invite (qui demande aux répondants d'aider George). Il a été noté dans des études antérieures que ces caractéristiques de réponse sont, dans une certaine mesure, positivement associées à l'expertise. Cependant, ce thème n'est pas très présent, ni un indicateur d'une argumentation de type expert ou novice dans le contexte d'autres messages-guides.
- Le sujet T04 implique un langage (*special, special\_ingredient, research, research\_question, procedure*) qui reflète la formulation de l'invite «Post3 », et c'est dans ce contexte qu'il est le plus répandu.
- Le sujet T05 est particulièrement sensible aux mots-clés qui se concentrent sur la couleur de l'emballage (*noir, brun, vert, jaune, plus foncé, foncé, blanc\_brun, couleur plus foncée, clair*) et aux détails concernant

la situation hypothétique (120g, 10g, 12, 100g). Cela semble refléter un engagement de surface avec les questions, plutôt que de faire appel à des principes plus profonds (cf. thème T02, décrit ci-dessus).

**Tableau 3.13**

Tokens uniques les plus courants et les plus courants des sujets l'allocation de Dirichlet latente.

Sujet	Type	Jetons les plus courants (30)	Jetons uniques les plus courants (30)
T01	Étudiant·e, associé·e à "Pre".	fondre, être, temps, temps de fonte, glace, masse, couleur, différente, pas, affecter, affecter_fondre, saveur, emballage, deux, obtenir, emballage, temps_être, un, pas_affecter, être_différent, citron, couleur_glace, café, couleur_emballage, ne peut pas, couleur_emballage, aussi, là, là_être, différence	pas_affecter, être_différent, couleur_emballage, emballage_pas, fondre_différent, même, glace_différente, emballage, ne pas_penser, cinq_six, être_masse, plutôt, deux_glaces, fait, deux_différents, saveur_différente, cas, malgré, grande_masse, pourrait, saison_citron, ne peut pas être, différence_fondre, fondre_être, 8_heure, penser_couleur, avis, dire_couleur, temps_depuis, être_un
T02	Expert (tous les messages).	être, variable, expérience, pas, devrait, saveur, glace, masse, entièrement, serait, constant, aussi, être_pas, résultat, utiliser, un, garder, pourrait, là, faire, george, différent, là_être, données, changement, contrôle, test, couleur, masse_shot, bien	contrôle, beaucoup, expérience_être, variable_être, indépendant, précis, variable_indépendante, pourrait_être, tableau de bord, erreur, façon, assez, aussi_beaucoup, capable, être_able, dépendant, beaucoup_variable, voiture, variable_dépendante, uniforme, possible, comme, condition, une_variable, choisir, temps_devoir, résultat_être, dessiner, être_changer, devrait_maintenir
T03	Expert-like, associé à l'invite "Post1".	emballage, temps, couleur, fondre, temps de fonte, couleur_emballage, être, glace, saveur, masse, voir, affecter, george, affect_melt, essayer, effet, temps_icecream, couleur_emballage, être_essayer, saveur_masse, george_être, vouloir, saveur_glace, différent, changer, couleur_masse, effet_fondre, un, relation, données	essayer, être_essayer, george_be, color_mass, effect_melt, flavor_wrapper, try_see, color_affect, influence_melt, think_george, see_whether, color_effect, change_melt, see_wrapper, george_want, être_enveloppeur, masse_enveloppeur, corrélation, effet_glace, couleur_enveloppeur, saveur_temps, croire, collecter, impact_fusion, temps_enveloppeur, effet_enveloppeur, vouloir_voir, être_voir, voir_effet, couleur_saveur.
T04	Neutre, associée à l'invite "Post3".	icecream, temps, fondre, être, ingrédient, saveur, obtenir, un, temps de fonte, barre, question, régulier, spécial, ingrédient spécial, deux, taille, serait, changer, recherche, entièrement, trois, icecream_bar, température, recherche_question, 80g, affecter, citron, devrait, version, expérience	ingrédient, bar, question, régulier, spécial, ingrédient_spécial, taille, recherche, icecream_bar, recherche_question, version, procédure, gratuit, pain, entier, extérieur, 160g, enregistrement, étape, pièce, début, réfrigérateur, pain_libre, répétition, congélateur, quantité_temps, rester_entier, mettre, obtenir_icecream, mesurer_temps
T05	Étudiant·e·s, associé·e·s à la prompte "Pré".	fondre, couleur, être, glace, emballage, min, blanc, noir, un, obtenir, temps, brun, vert, jaune, taux, pas, plus rapide, chaleur, occuper, heure, plus sombre, facile, serait, café, citron, fondre_plus_rapide, glace_fondre, sombre, envelopper, dix	min, noir, brun, vert, jaune, taux, plus rapide, occuper, plus foncé, facile, fondre_plus_rapide, foncé, emballage, 120g, taux de fonte, blanc_brun, couleur_plus_foncée, vitesse, rapide, 10g, le, léger, glace, 12, vitesse de fonte, crème, papier, fondre_rapidement, énergie, 100g

Notes : basé sur la distribution  $\phi_k$  de mots du modèle l'allocation de Dirichlet latente à cinq sujets construit sur la base des réponses des étudiant·e·s.

Ces schémas d'utilisation des mots, en particulier celui du sujet T02, sont cohérents avec l'interprétation des éléments d'argumentation de type novice et de type expert. Alors que les sujets T01 et T05, caractéristiques des réponses des novices, donnent la priorité à des détails situationnels tels que la couleur de l'emballage, la masse de la glace et l'ordinalité, le sujet T02 met clairement l'accent sur les concepts statistiques plus profonds.

Cette caractérisation des caractéristiques de surface par rapport à la structure profonde est bien connue dans la littérature des sciences cognitives (par exemple, Chi et al. 1981). Nous soutenons donc que le sujet T04 est une mesure valide et fiable de l'argumentation de type expert, tandis que les sujets T02 et T05 représentent une focalisation plus novice sur les détails de la situation.

#### *Résumé des résultats du modèle l'allocation de Dirichlet latente*

Si l'on considère à la fois les distributions  $\theta_d$  des sujets et des distributions  $\phi_k$  des mots symbolisés, nous avons identifié trois mesures cohérentes présentant des différences entre l'argumentation de type novice et celle de type expert dans les réponses à la crème glacée de George. Ces mesures sont les suivantes :

- T01 : une mesure indiquant que l'attention portée aux détails de la situation est celle d'un novice ;
- T02 : une mesure de l'argumentation de type expert qui s'appuie sur des concepts statistiques formels ;
- T05 : une mesure (peut-être plus nuancée) de l'argumentation de type novice dans laquelle les conclusions sont tirées sans référence explicite au langage formel des statistiques.

Les autres sujets ne font pas de distinction entre l'écriture experte et l'écriture novice (T04), ou sont fortement liés au contexte d'une invite donnée (T03 et référence directe à George), de sorte que leur validité dans d'autres contextes est suspecte.

Nous affirmons donc que l'analyse linéaire des données peut effectivement servir d'outil pour établir des mesures interprétables qui quantifient la sophistication des réponses des étudiant·e·s, et qu'au moins un sous-ensemble de ces mesures est utilisable lorsque ces réponses sont données à des instruments d'enquête non identiques avant et après l'enseignement.

#### 3.4.4 Examen de l'évolution des réponses des étudiant·e·s

Ayant établi que la modélisation thématique l'allocation de Dirichlet latente peut distinguer de manière fiable les caractéristiques correspondant aux réponses de type expert et de type novice, nous utilisons ces mesures pour étudier si le traitement, l'enseignement en laboratoire basé sur l'enquête, a affecté la manière dont les étudiant·e·s ont répondu aux messages-guides du post-test différé.

Pour chaque étudiant·e (c'est-à-dire en utilisant des mesures appariées), nous avons examiné les différences  $\Delta T0N_{clr}$  des charges transformées en clr pour chacun des cinq sujets, et pour chaque réponse au post-test, et nous avons effectué une analyse de régression bootstrap à 2000 itérations pour déterminer si la condition de traitement avait une incidence sur le *changement* des charges des sujets.

Bien que nous ayons fait cela pour tous les sujets, nous avons trouvé des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les groupes (laboratoire par enquête, non-laboratoire par enquête) pour seulement deux sujets : T02 et T05. Nous constatons également que ces différences sont observées pour toutes les conditions du post-test et notons que ces deux sujets sont *exactement* ceux que nous avons précédemment identifiés comme correspondant à des caractéristiques de type expert (T02) et de type novice (T05). Les tableaux dessous (tableaux 3.14 et 3.15) résument les différences significatives entre les groupes pour les sujets T02 et T05, respectivement - les autres sujets ne présentent aucune différence significative.

**Tableau 3.14**

Différences entre les groupes laboratoire par enquête et non-laboratoire par enquête dans l'augmentation du sujet T02<sub>clr</sub> (expert-like).

Invitation au post-test	N <sub>LPE</sub>	N <sub>Non-LPE</sub>	Estimatio n	95 % IC BCa	$p_{eff}$	$p_{emp}$
Poste 1	141	49	2.2	[1.4, 2.9]	< .001***	< .001***
Post1b	77	49	2.0	[1.1, 2.9]	< .001***	< .001***
Poste 2	140	49	1.9	[0.9, 2.9]	< .001***	< .001***
Poste 3	105	50	1.8	[0.8, 2.8]	.005**	.001**

Notes : L'estimation est  $\Delta T02_{clr}^{LPE} - \Delta T02_{clr}^{Non-LPE}$  où  $\Delta T02_{clr}$  est l'augmentation de la charge de sujets T02 entre les mesures du pré-test et du post-test. En d'autres termes, des estimations positives indiquent que le groupe expérimental a augmenté sa charge de sujets T02 plus que le groupe de contrôle. Basé sur un échantillonnage bootstrap à 2000 répliques.  $p_{eff}$  est la valeur p effective calculée,  $p_{emp}$  est la valeur p basée sur l'échantillon.

\*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ . \*\*\*  $p < .001$ .

**Tableau 3.15**

Différences entre les groupes LPE et non-LPE dans l'augmentation du sujet T05<sub>clr</sub> (novice-like).

Invitation au post-test	N <sub>LPE</sub>	N <sub>Non-LPE</sub>	Estimatio n	95 % IC BCa	$p_{eff}$	$p_{emp}$
Poste 1	141	49	-0.9	[-1.67, -0.03]	.035*	.044*
Post1b	77	49	-1.0	[-2.04, -0.03]	.043*	.046*
Poste 2	140	49	-1.3	[-2.23, -0.25]	.012*	.012*
Poste 3	105	50	-1.9	[-2.96, -0.85]	.003**	< .001***

Notes : L'estimation est  $\Delta T05_{clr}^{LPE} - \Delta T05_{clr}^{Non-LPE}$  où  $\Delta T05_{clr}$  est l'augmentation de la charge de sujets T05 entre les mesures du pré-test et du post-test. En d'autres termes, les estimations négatives indiquent que le groupe expérimental a moins augmenté sa charge de sujets T05 que le groupe de contrôle. Basé sur un échantillonnage bootstrap à 2000 répliques.  $p_{eff}$  est la valeur p effective calculée,  $p_{emp}$  est la valeur p basée sur l'échantillon.

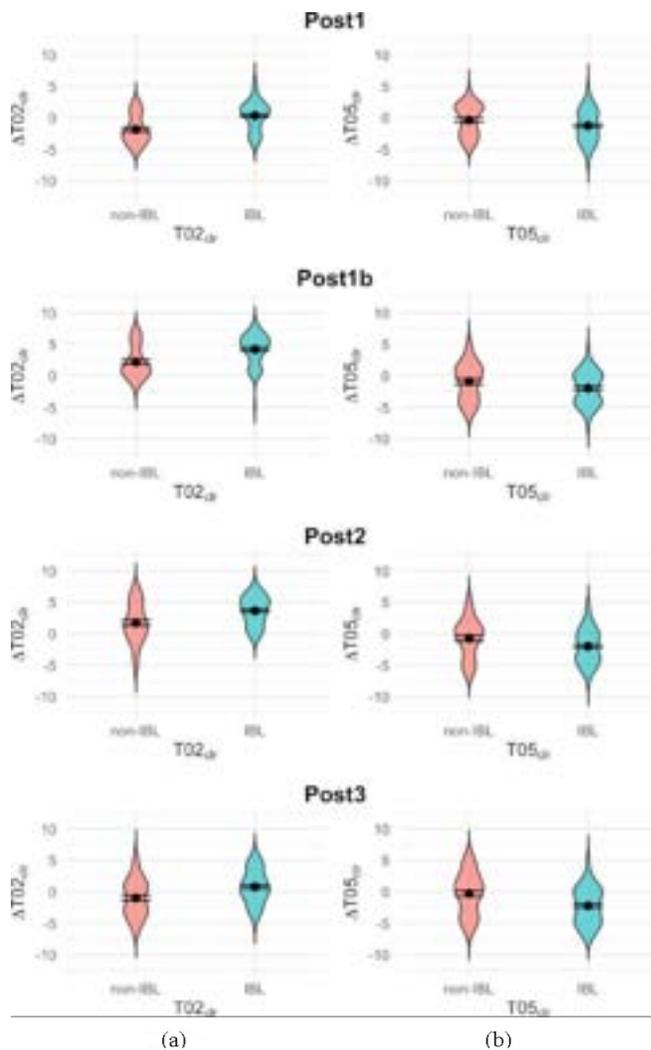
\*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ . \*\*\*  $p < .001$ .

Ces résultats indiquent qu'en moyenne, les étudiant·e·s des groupes de traitement ont augmenté la charge du sujet T02 (semblable à un expert) plus que ceux du groupe de contrôle. Dans le même temps, ils ont diminué la charge du thème T05 (novice) dans les messages-guides, bien qu'à un degré de signification moindre. Ces observations sont valables pour toutes les réponses au post-test différé.

La figure 3.8 illustre ces différences entre les groupes. Si l'on considère les saturations transformées en clr du sujet T02 de type expert, on constate que pour le groupe laboratoire par enquête, le changement  $\Delta T02_{clr}$  entre les conditions du pré-test et du post-test est uniformément positif. Cela contraste avec le groupe de contrôle, dans lequel de nombreux messages-guides ont entraîné une charge plus faible du sujet T02 dans la condition du post-test. Alors que les groupes de contrôle et de traitement affichent moins de sujets T05 de type novice dans leur condition de post-test, la baisse est significativement plus importante dans le groupe de traitement.

**Figure 3.8**

Changements dans le chargement des sujets (avant et après) par groupe de traitement.



Pour mettre ces chiffres en contexte, l'augmentation différentielle d'environ 2 dans le thème T02<sub>clr</sub> a l'interprétation suivante pour les saturations brutes (c'est-à-dire non transformées en clr) : la moyenne géométrique des saturations du thème T02 du groupe expérimental a augmenté d'environ sept fois ( $e^2$ ) que celle du groupe témoin. De même, la diminution plus importante de la charge T05 du groupe de traitement<sub>clr</sub> correspond à une diminution de la moyenne géométrique  $\sim 3,5$  fois ( $e^{-1.3}$ ) plus importante que celle du groupe témoin.

En résumé, cette analyse confirme que les traitements laboratoire par enquête étudiés dans cette quasi-expérience ont conduit à des réponses des étudiant·e·s qui incluaient plus de raisonnement de type expert (augmentation plus importante du sujet T02) et moins de concentration sur l'écriture de type novice (diminution plus importante du sujet T05) que celles du groupe de contrôle.

### 3.5 Discussion

Il aurait été clairement plus facile d'analyser les réponses du pré-test et du post-test si les messages-guides avaient été les mêmes dans les conditions du pré-test et du post-test. Cependant, les premiers essais ont montré qu'un effet de saturation était évident avec le questionnaire du pré-test. En résumé, tel qu'il est rédigé, le message-guide du pré-test n'est pas suffisamment riche pour permettre de comparer les apprentissages ; son point le plus important est suffisamment facile à discerner pour des étudiant·e·s qui n'ont qu'une connaissance superficielle de l'analyse des données et des statistiques (par exemple, au niveau de l'enseignement secondaire).

C'est pourquoi nous avons choisi d'examiner les réponses à des ensembles plus riches d'invites dans la condition post-test et de les examiner en utilisant les outils plus sophistiqués disponibles dans les domaines en pleine expansion de l'apprentissage automatique, de l'analyse de texte et du traitement du langage naturel. Pour cette tâche, l'attribution de Dirichlet latente s'est avérée être une base fiable pour mesurer la sophistication des sujets sur lesquels les étudiant·e·s se sont concentrés.

Cette analyse s'est toutefois révélée plus nuancée que prévu initialement. La nature compositionnelle des variables rendait suspecte l'analyse des saturations brutes. C'est pourquoi nous avons dû adapter la méthodologie pour travailler avec les saturations de ces thèmes transformées en clr. En outre, les distributions très asymétriques qui sont apparues ont nécessité l'utilisation de tests statistiques bootstrap plutôt que paramétriques.

Deux des cinq caractéristiques découvertes sont en corrélation avec l'expertise, fournissant des indicateurs quantitatifs du niveau de sophistication des réponses des étudiant·e·s. L'interprétation de ces caractéristiques était, dans cette étude, non seulement évidente à travers la comparaison des expert·e·s et des novices, mais également soutenue par l'examen des jetons uniques associés à ces sujets. Dans cette étude, l'interprétation de ces caractéristiques n'était pas seulement évidente grâce à la comparaison entre les experts et les novices, mais elle était également étayée par l'examen des jetons uniques associés à ces sujets.

Cependant, les résultats indiquent clairement que (1) l'allocation de Dirichlet latente peut s'avérer une mesure fiable pour découvrir les sujets associés aux réponses de type expert (T02) et de type novice (T05) à travers les différentes invites, (2) ces mesures sont suffisamment sensibles pour comparer comment leurs valeurs changent entre le pré-test et le post-test, et (3) que ces différences indiquent que les pédagogies basées sur laboratoire par enquête, lorsqu'elles sont considérées dans leur ensemble, conduisent à de meilleurs résultats (augmentation de l'inclusion de sujets de type expert, diminution de l'accent mis sur les sujets de type novice) que ceux observés dans le groupe de contrôle.

Nous présentons également cette analyse dans l'espoir d'encourager l'utilisation de la modélisation thématique l'allocation de Dirichlet latente dans de futures études quasi-expérimentales. Bien qu'elle ne soit pas adaptée à toutes les situations, lorsqu'elle est réalisée avec soin (utilisation de charges transformées en clr et de tests statistiques non paramétriques, par exemple), elle peut constituer un outil valide et fiable pour classer les réponses écrites et fournir une mesure quantitative de l'efficacité des interventions pédagogiques.

### 3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous efforçons de répondre aux questions suivantes :

1. L'allocation de Dirichlet latente peut-elle servir d'outil pour établir des mesures interprétables qui quantifient la sophistication des réponses des étudiant·e·s, en particulier lorsque ces réponses sont données à des instruments d'enquête non identiques avant et après l'enseignement ?

2. Si oui, les interventions laboratoire par enquête influencent-elles le développement de ces mesures chez les étudiant·e·s au cours d'un semestre ?

La réponse à ces deux questions est oui. L'allocation de Dirichlet latente appliquée à ces réponses a permis de détecter et de quantifier de manière fiable des caractéristiques valables dans les réponses des étudiant·e·s associées à l'expertise (T02) et à l'absence d'expertise (T05), ainsi que d'autres caractéristiques qui distinguent les réponses aux différentes invites et reflètent les choix stylistiques de l'auteur.

En outre, en utilisant cette optique pour examiner comment les interventions en laboratoire par l'enquête affectent l'apprentissage des étudiant·e·s, nous notons des améliorations significatives dans les réponses des étudiant·e·s résultant de l'inclusion accrue de sujets de type expert et de la diminution de la dépendance à l'égard de sujets de type novice.

### 3.6 Références (chapitre trois)

- Aitchison, J. (1982). The statistical analysis of compositional data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 44(2), 139–160.
- Arun, R., Suresh, V., Veni Madhavan, C. E., & Narasimha Murthy, M. N. (2010). On finding the natural number of topics with latent dirichlet allocation: Some observations. In *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining: 14th Pacific-Asia Conference, PAKDD 2010, Hyderabad, India, June 21–24, 2010. Proceedings. Part I 14* (pp. 391–402). Springer Berlin Heidelberg.
- Benoit, K., Watanabe, K., Wang, H., Nulty, P., Obeng, A., Müller, S., & Matsuo, A. (2018). Quanteda : An R package for the quantitative analysis of Textual Data. *Journal of Open Source Software*, 3(30), 774. <https://doi.org/10.21105/joss.00774>
- Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). Latent dirichlet allocation. *Journal of machine Learning research*, 3 (Jan), 993–1022
- Campbell, Joshua Charles (2015). *The Art and Science of Analyzing Software Data || Latent Dirichlet Allocation. 139–159*.doi:10.1016/b978-0-12-411519-4.00006-9
- Canty, A, & Ripley, B. D. (2022). *boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions*. R package version 1.3-28.1. <https://cran.r-project.org/package=boot>
- Cao, J., Xia, T., Li, J., Zhang, Y., & Tang, S. (2009). A density-based method for adaptive LDA model selection. *Neurocomputing*, 72 (7–9), 1775–1781.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5(2), 121–152.
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (Eds.) (2011). Introduction: The discipline and practice of qualitative research. *The Sage handbook of qualitative research*, Sage.
- Deveaud, R., SanJuan, E., & Bellot, P. (2014). Accurate and effective latent concept modeling for ad hoc information retrieval. *Document numérique*, 17 (1), 61–84.
- DiCiccio, T. J., & Efron, B. (1996). Bootstrap confidence intervals. *Statistical science*, 11(3), 189–228.
- Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1994). *An introduction to the bootstrap*. CRC Press.
- Grimmer, J., & Stewart, B. M. (2013). Text as data: The promise and pitfalls of automatic content analysis methods for political texts. *Political analysis*, 21(3), 267–297.
- Grün, B., & Hornik, K. (2011). *topicmodels: An R Package for Fitting Topic Models*. *Journal of Statistical Software*, 40(13), 1–30. URL <http://www.jstatsoft.org/v40/i13/>.
- Hennig, C. (2023). *fpc: Flexible Procedures for Clustering*. R package version 2.2-10, <https://CRAN.R-project.org/package=fpc>.
- Hopkins, D. J., & King, G. (2010). A method of automated nonparametric content analysis for social science. *American Journal of Political Science*, 54(1), 229–247.
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis for special types of data* (pp. 338–372). Springer New York.

- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (2009). *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis*. John Wiley & Sons.
- Kendall, M. G. (1938). A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30 (1/2), 81–93.
- Kline, P. (2014). *An easy guide to factor analysis*. Routledge.
- Landauer, T. K., & Dumais, S. T. (1997). A solution to Plato’s problem: The latent semantic analysis theory of acquisition, induction, and representation of knowledge. *Psychological review*, 104 (2), 211.
- Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G. S., & Dean, J. (2013). Distributed representations of words and phrases and their compositionality. *Advances in neural information processing systems*, 26.
- Mimno, D., Wallach, H., Talley, E., Leenders, M., & McCallum, A. (2011, July). Optimizing semantic coherence in topic models. In *Proceedings of the 2011 conference on empirical methods in natural language processing* (pp. 262–272).
- Minka, T. (2000). Estimating a Dirichlet distribution, 2000. URL <http://research.microsoft.com/~minka/papers/dirichlet>.
- Nelson, L. K., Burk, D., Knudsen, M., & McCall, L. (2021). The future of coding: A comparison of hand-coding and three types of computer-assisted text analysis methods. *Sociological Methods & Research*, 50(1), 202–237.
- Nikita M (2020). *ldatuning: Tuning of the Latent Dirichlet Allocation Models Parameters*. R package version 1.0.2, <https://CRAN.R-project.org/package=ldatuning>
- Romero, C., Ventura, S., & García, E. (2008). Data mining in course management systems: Moodle case study and tutorial. *Computers & education*, 51(1), 368–384.
- Papaevripidou, M., Constantinou, C. P., & Zacharia, Z. C. (2007). Modeling complex marine ecosystems: An investigation of two teaching approaches with fifth graders. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 145-157.
- Paul, M., & Girju, R. (2009, September). Topic modeling of research fields: An interdisciplinary perspective. In *Proceedings of the International Conference RANLP-2009* (pp. 337–342).
- Quinn, T. P., Erb I., Gloor G., Notredame C., Richardson, M. F., & Crowley, T. M. A field guide for the compositional analysis of any-omics data. **Gigascience**. 2019 Sep 1;8(9): giz 107. doi : 10.1093/gigascience/giz107. PMID: 31 544 212; PMCID: PMC6755255.
- R Core Team (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ramesh, A., Goldwasser, D., Huang, B., Daumé III, H., & Getoor, L. (2013, December). Modeling learner engagement in MOOCs using probabilistic soft logic. In *NIPS workshop on data driven education* (Vol. 21, p. 62).
- Sallis, J. E., Gripsrud, G., Olsson, U. H., Silkoset, R. (2021). Factor Analysis. In: *Research Methods and Data Analysis for Business Decisions*. Classroom Companion: Business. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-84421-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-84421-9_12)
- Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American journal of psychology*, 15, 72–101.
- Wen, M., Yang, D., & Rose, C. P. (2014). Sentiment Analysis in MOOC Discussion Forums: What does it tell us? *Proceedings of Educational Data Mining*, 309–312.
- Vermunt, J. K., & Magidson, J. (2004). Latent class analysis. *The sage encyclopedia of social sciences research methods*, 2, 549–553.

## CHAPITRE QUATRE : Objectif 3

---

Les laboratoires scientifiques traditionnels, souvent de type 'livre de cuisine', visent principalement à vérifier des concepts (Doucette et al., 2019). Ils impliquent généralement que les étudiant·e·s suivent une procédure prédéfinie sous la direction de l'enseignant, limitant ainsi la créativité et l'exploration. Une étude récente a révélé que de telles méthodes ne parviennent pas toujours à atteindre l'objectif principal des laboratoires, à savoir favoriser la compréhension du contenu (Holmes, 2017). En contraste, le laboratoire basé sur l'enquête encourage les étudiant·e·s à réfléchir activement sur la démarche scientifique et à prendre des décisions éclairées. Des recherches indiquent que cette approche renforce l'apprentissage du processus de la démarche scientifique (Blanchard et al., 2010 ; Etkina et al., 2010) et développe un sentiment d'autonomie et d'agence épistémique (Holmes et al., 2017). La réussite de cette méthode est souvent mesurée par la capacité des étudiant·e·s à mener des recherches rigoureuses, améliorant ainsi leur compréhension des techniques pour accroître la fiabilité et la validité de leurs expériences. Toutefois, peu d'études ont examiné si les étudiant·e·s étaient aussi plus aptes à interpréter les données collectées. Lorsqu'elles le font, l'accent est mis sur la capacité des étudiant·e·s à réfléchir sur les erreurs expérimentales et à justifier les incertitudes, ou sur le processus d'analyse statistique (Metz, 2008). Jusqu'à présent, peu se sont concentrés sur la prise de décision quantitative et l'intégration des données dans un modèle pour interpréter les représentations graphiques (Holmes, 2015) et les difficultés associées, telles que la compréhension de données avec des relations non linéaires (Roll et al., 2012).

Les recherches sur les laboratoires basés sur l'enquête s'insèrent majoritairement dans le domaine de l'enseignement des sciences, ce qui entraîne souvent une lacune dans l'explication des considérations de conception pédagogique, en particulier sur la façon de structurer cet apprentissage agentique.

Ce chapitre présente notre réponse au troisième objectif de notre recherche : Mener une recherche orientée par la conception (ROC) pour explorer l'impact des étayages et leur rôle dans les laboratoires par enquête. Nous décrivons ici comment nous avons répondu aux questions de recherche (voir ci-dessous).

- Q3.a : Est-ce que l'apprentissage de la démarche scientifique peut être assuré lors de la mise en pratique d'une pédagogie utilisant les laboratoires par enquête ?
- Q3.b : Parmi les instances de la démarche scientifique sur lesquelles l'étayage peut porter dans un laboratoire par enquête (par exemple, sur la question de recherche à poser, sur la méthode à développer ou sur la façon d'analyser les résultats), sur laquelle ou lesquelles l'étayage constitue le meilleur support pour le développement de la démarche scientifique chez les étudiant·e·s (dans les sphères conceptuelle, procédurale et épistémologique) ?
- Q3.c : Comment le contexte (par exemple, en salle de classe ou au laboratoire) et le choix du moment dans la session pour la mise en œuvre de l'intervention d'étayage ont-ils un impact sur le développement de la démarche scientifique ?

### 4.1 Contexte

Des laboratoires par enquête sont utilisés depuis longtemps dans la recherche sur l'enseignement de la physique. Deux applications notables sont le Studio Physics, où les cours sont intégrés au laboratoire, et le plus récent *Investigative Science Learning Environment* (ISLE ; Etkina et al., 2010). ISLE est un système centré sur l'étudiant·e, utilisé dans les cours d'introduction à la physique, qui reflète les processus utilisés par les scientifiques pour construire et appliquer leurs connaissances. Les étudiant·e·s analysent des données expérimentales, élaborent des explications et testent leurs idées par le biais d'un raisonnement hypothético-déductif. L'ISLE remplace les

cours magistraux traditionnels par des réunions interactives en grande salle et des récitations, impliquant l'enseignement par les pairs et le travail en groupe. Ces approches peuvent être efficaces, mais nécessitent une refonte des programmes et des espaces d'apprentissage. En particulier, le laboratoire par enquête nécessite un étayage.

#### 4.1.1 Les étayages

Contrairement à l'apprentissage par découverte, l'apprentissage par enquête repose sur l'étayage, une composante essentielle de cette méthode pédagogique (Hmelo-Silver et al., 2007). L'étayage, dans ce contexte, assure un soutien aux étudiant·e·s dans leur processus d'apprentissage, leur permettant de naviguer efficacement dans les tâches d'enquête. Il s'agit d'un processus d'assistance visant à aider l'apprenant à réaliser une tâche ou atteindre un objectif qui serait hors de portée sans cette aide (Wood, et al., 1976). Cela est particulièrement pertinent pour les laboratoires basés sur des enquêtes, comme l'a montré une méta-analyse de Lazonder et al. (2016), soulignant le rôle crucial de l'accompagnement pour faciliter la réalisation des tâches par les apprenants et améliorer leurs résultats d'apprentissage.

Les étayages sont des outils qui offrent un soutien en concentrant l'apprenant, en simplifiant la tâche en réduisant les degrés de liberté, en gérant la frustration liée à la tâche, en modélisant des solutions idéales, etc. (Wood et al., 1976). (Wood et al., 1976). En outre, leur objectif est de réduire la charge cognitive des tâches complexes, en permettant aux novices de se concentrer sur les éléments qu'ils peuvent gérer, dans leur zone de développement proximal (ZDP ; Vygotsky, 1978). Dans la ZDP, les étudiant·e·s peuvent travailler de manière autonome, mais en dehors de cette zone, ils ont besoin d'un soutien supplémentaire pour travailler efficacement. Parmi les exemples d'étayages, on peut citer les modèles, les grilles d'évaluation et les ressources technologiques conçues, comme les logiciels qui rythment et stimulent l'apprentissage (Quintana et al., 2004). Il peut s'agir d'outils, de ressources, voire de programmes d'études qui incluent des stratégies pour rendre la pensée visible (Puntambekar & Hubscher, 2005). Ils doivent être stratégiquement intégrés aux activités de la leçon pour aider les apprenants à gérer le processus d'enquête et de prise de décision (Lazonder & Harmsen, 2016), et la rétroaction des enseignants peut fournir un étayage juste à temps pour réguler et maintenir l'apprentissage sur la bonne voie. En outre, ils sont censés *s'estomper* et les apprenants devraient être explicitement informés du rôle qu'ils jouent et des aspects de l'apprentissage qu'ils soutiennent. La suppression des étayages est associée au développement de l'autonomie et des compétences d'autorégulation, car les apprenants acceptent d'assumer davantage de responsabilités dans l'acquisition de leurs connaissances et la réussite des tâches. Il est donc essentiel de comprendre comment concevoir les étayages pour faire avancer le sujet du laboratoire par enquête.

#### *Cadre pour la conception d'étayages de recherche*

Dans une étude fondamentale sur cette question de l'étayage, Quintana et ses collègues (Quintana et al., 2004) ont proposé un cadre pour la conception d'étayages dans le contexte de la recherche. En utilisant des approches méthodologiques à la fois théoriques et inductives, l'équipe a identifié trois éléments qui sont des considérations critiques : (1) les aspects cognitifs et sociaux des démarches scientifiques (le *modèle de la tâche*) ; (2) les obstacles cognitifs et épistémologiques auxquels les apprenants sont confrontés pour s'engager dans ces pratiques ; et (3) les façons dont les outils peuvent modifier ces tâches pour aider les apprenants à surmonter les obstacles identifiés. Ils articulent le modèle de tâche en trois processus : la création de sens, la gestion du processus, et la réflexion et l'articulation. Pris dans leur ensemble, ces trois éléments, y compris les trois processus, sont considérés comme des *lignes directrices pour l'étayage*. Quintana et al. (2004) établissent ensuite un lien entre ces lignes directrices et les *stratégies d'étayage*, les moyens spécifiques de mettre en œuvre les lignes directrices et les *exemples de caractéristiques des logiciels* qui permettent la stratégie d'étayage (voir la figure 4.1). Ils affirment que l'étayage de la capacité des étudiant·e·s à naviguer dans l'interaction et l'intégration de diverses formes de représentation est important.

**Figure 4.1**

Le résumé du cadre de conception de l'étayage est présenté dans Quintana et al. (2004), p. 345.

Scaffolding Guidelines	Scaffolding Strategies
Science inquiry component: Sense making Guideline 1: Use representations and language that bridge learners' understanding	1a: Provide visual conceptual organizers to give access to functionality 1b: Use descriptions of complex concepts that build on learners' intuitive ideas 1c: Embed expert guidance to help learners use and apply science content
Guideline 2: Organize tools and artifacts around the semantics of the discipline	2a: Make disciplinary strategies explicit in learners' interactions with the tool 2b: Make disciplinary strategies explicit in the artifacts learners create
Guideline 3: Use representations that learners can inspect in different ways to reveal important properties of underlying data	3a: Provide representations that can be inspected to reveal underlying properties of data 3b: Enable learners to inspect multiple views of the same object or data 3c: Give learners "malleable representations" that allow them to directly manipulate representations
Science inquiry component: Process management Guideline 4: Provide structure for complex tasks and functionality	4a: Restrict a complex task by setting useful boundaries for learners 4b: Describe complex tasks by using ordered and unordered task decompositions 4c: Constrain the space of activities by using functional modes
Guideline 5: Embed expert guidance about scientific practices	5a: Embed expert guidance to clarify characteristics of scientific practices 5b: Embed expert guidance to indicate the rationales for scientific practices
Guideline 6: Automatically handle nonsalient, routine tasks	6a: Automate nonsalient portions of tasks to reduce cognitive demands 6b: Facilitate the organization of work products 6c: Facilitate navigation among tools and activities
Science inquiry component: Articulation and reflection Guideline 7: Facilitate ongoing articulation and reflection during the investigation	7a: Provide reminders and guidance to facilitate productive planning 7b: Provide reminders and guidance to facilitate productive monitoring 7c: Provide reminders and guidance to facilitate articulation during sense-making 7d: Highlight epistemic features of scientific practices and products

#### 4.1.2 La prise de conscience et le laboratoire par enquête

Dans le modèle des tâches, les processus identifiés constituent les principaux éléments à considérer pour l'étayage, notamment en ce qui concerne la 'création de sens'. Dans la figure 1, la création de sens est placée au sommet du cadre conceptuel de l'étayage, liée à trois lignes directrices principales : (1) l'utilisation de représentations et de langage facilitant la compréhension des apprenants ; (2) l'organisation des outils et des artefacts autour de la sémantique de la discipline ; et (3) l'emploi de représentations que les apprenants peuvent examiner sous différents angles pour révéler les propriétés importantes des données sous-jacentes. Nous montrerons dans la section dédiée aux résultats l'importance cruciale de l'étayage dans la construction du sens pour le succès des laboratoires d'enquête.

Occupant une place centrale dans la démarche scientifique, la construction du sens est essentielle pour élaborer des interprétations significatives des résultats, reliant ainsi le raisonnement théorique abstrait à l'expérimentation empirique concrète. Elle est au cœur de l'étude de la philosophie et de l'épistémologie des sciences (par exemple, Latour, 1990) et joue un rôle essentiel dans la compréhension par les étudiant·e·s des représentations scientifiques, telles que les diagrammes, les équations symboliques et les données numériques (par

exemple, Klahr & Dunbar, 1988 ; Greeno, 1989). De plus, développer la capacité de générer, d'affiner et d'analyser habilement ces représentations est essentiel à la pratique d'un raisonnement scientifique efficace et rigoureux, ainsi qu'à l'extraction d'inférences perspicaces.

Conceptuellement, la création de sens s'articule autour de trois composantes distinctes (Odden et Russ, 2018) : un cadre pour l'apprentissage de la démarche scientifique, un processus cognitif, et une pratique discursive. Redish (2004) définit un cadre épistémologique comme un ensemble d'activations cognitives présentant une cohérence locale, émanant des interactions entre multiples éléments cognitifs, au sein d'un individu ou d'un groupe. Au niveau cognitif, ce cadre s'active avec les connaissances antérieures et permet ensuite aux étudiant·e·s d'intégrer des concepts nouveaux, peu familiers et complexes dans leurs cadres de connaissances existants (Zhang 2014). Une fois instancié, l'individu peut s'appuyer sur diverses ressources épistémiques, comme des objets physiques ou la communication avec d'autres, pour soutenir ce processus. Dans les laboratoires de physique, la construction du sens peut nécessiter la coordination de diverses représentations des phénomènes scientifiques, incluant le formalisme mathématique, les classifications ontologiques, les représentations picturales, et même les analogies et métaphores. Ces formes épistémiques aident à établir des liens entre les connaissances antérieures et les nouvelles idées scientifiques lors de la construction du sens. Le graphique représente une forme épistémique clé dans les laboratoires de physique.

#### 4.1.3 Graphiques et représentation graphique

La représentation graphique joue un rôle crucial dans l'atteinte des objectifs des activités de laboratoire. Elle permet non seulement l'analyse et l'interprétation des données, mais contribue également au développement de la pensée physique, selon Nixon et al. (2016). Les physiciens utilisent les graphiques pour révéler des modèles et des relations qui ne sont pas immédiatement évidents dans les données brutes. Autrement dit, il faut transformer les données brutes en un modèle de données pour les exploiter efficacement. De plus, la création de graphiques est un élément essentiel de la communication scientifique, d'où l'importance pour les étudiant·e·s de maîtriser la création de graphiques conformes aux normes du domaine. Les physiciens se réfèrent également aux graphiques créés par d'autres pour évaluer la validité de leurs affirmations. Pour participer activement à la physique et évaluer de manière critique les démarches scientifiques, les étudiant·e·s doivent savoir interpréter les messages véhiculés par les graphiques.

L'utilisation de graphiques pour interpréter les données de laboratoire est fondamentale pour que les étudiant·e·s développent leur compréhension des concepts de physique, un objectif clé des activités de laboratoire. Cependant, des recherches indiquent que les étudiant·e·s éprouvent des difficultés à construire et interpréter des graphiques dans le domaine de la physique. Ceci inclut des tâches telles que tracer une ligne de meilleur ajustement ou interpréter la pente d'une ligne, comme le montre leur compréhension des fonctions linéaires en cinématique et en mathématiques. Une étude empirique de Phage et al. (2017) a renforcé cette idée, soulignant que la compréhension des graphiques est vitale pour la saisie des concepts de cinématique par les étudiant·e·s. En particulier, la construction et l'interprétation des graphiques sont nécessaires pour contextualiser les connaissances et pour tout processus déductif. Bien que les participants à l'étude aient transféré habilement les connaissances mathématiques liées à la lecture des coordonnées et aux fonctions linéaires à la cinématique, ils ont rencontré des difficultés avec les fonctions non linéaires. Une compréhension insuffisante du concept de pente a été identifiée comme un obstacle majeur. L'étude conclut que les difficultés rencontrées par les étudiant·e·s avec les graphiques de cinématique proviennent d'un manque de connaissances contextuelles fondamentales, essentielles à la compréhension du modèle physique et mathématique du mouvement linéaire représenté par les graphiques. Ceci est en accord avec les constatations de Nixon et al. (2016), qui ont observé que bien que les étudiant·e·s en physique puissent construire avec succès des graphiques avec des lignes de meilleur ajustement, ils ne les relient souvent pas aux concepts physiques sous-jacents, ce qui indique une incapacité à réaliser le 'sensemaking' nécessaire. Notre étude actuelle se concentre sur cet aspect complexe des laboratoires de physique.

Holmes (2015) décrit la manière dont les graphiques peuvent être intégrés dans un cours de physique en laboratoire. Dans un exemple spécifique (la constante de temps pour un circuit LR), les étudiant·e·s tracent l'inverse de la constante de temps en fonction de la résistance, visant à obtenir une droite dont l'ordonnée à l'origine est nulle. L'ajout de données pour des valeurs de résistance plus faibles révèle une ordonnée à l'origine non nulle, menant à l'adoption d'un modèle à deux paramètres avec une ordonnée à l'origine variable, qui correspond mieux à la réalité et encourage la poursuite des investigations. À travers cette séquence de comparaisons, de réflexions et d'actions, l'étudiant·e explore les limites des modèles physiques et de mesure, tout en réfléchissant de manière critique sur le processus expérimental. Cette activité de laboratoire fait partie d'une approche pédagogique conçue pour développer la pensée critique des étudiant·e·s dans les laboratoires d'introduction à la physique, une méthode qui s'est révélée efficace pour les impliquer dans l'expérimentation itérative et l'évaluation des limites et hypothèses des modèles. En mettant l'accent sur l'incertitude des mesures et en décomposant les composantes de la conception expérimentale, les étudiant·e·s développent des compétences techniques et pratiques et construisent de nouvelles connaissances. Ce cadre favorise également les changements épistémologiques et affectifs à mesure que les étudiant·e·s s'engagent dans diverses activités.

## 4.2 Méthode

La Recherche Orientée par la Conception (ROC) permet d'examiner les principes de conception, d'identifier les conditions favorisant de meilleurs résultats d'apprentissage lors d'une intervention ou avec un modèle conceptuel, et d'utiliser des itérations de conception tout en recueillant des preuves grâce à des méthodes mixtes (Anderson & Shattuck, 2012). La méthode de ROC représente une approche pragmatique dans la recherche pédagogique, prenant en compte le contexte et la pratique envisagée. Plutôt que de générer de grandes théories de l'apprentissage, cette méthode permet aux chercheur·e·s et concepteurs pédagogiques d'étudier les conditions et le contexte entourant l'utilisation efficace d'une innovation, favorisant ainsi l'ajustement et l'adaptation des innovations pour mieux soutenir l'apprentissage. La ROC se concentre sur la création d'outils basés sur des cadres théoriques, qui sont ensuite ajustés pour refléter les conditions et contextes locaux. Les résultats des projets ROC offrent des lignes directrices adaptées au contexte, permettant le raffinement des modèles conceptuels basés sur les particularités de l'intervention. Ces éléments peuvent servir de fondement à l'élaboration d'interventions pédagogiques futures pour améliorer l'apprentissage. La ROC est caractérisée principalement par : (1) sa mise en place dans de véritables contextes éducatifs ; (2) son orientation sur la conception et le test d'innovations importantes (méthodes pédagogiques, outils, systèmes éducatifs) avec des fondements théoriques ; (3) sa couverture sur plusieurs itérations de l'innovation ; (4) la collaboration entre chercheur·e·s et praticiens ; (5) l'utilisation de méthodes mixtes (Creswell, 2008) pour la collecte de données ; et (6) la stimulation de l'évolution des principes de conception, enrichissant ainsi la compréhension des théories éducatives. Cette méthodologie emploie des cycles itératifs de conception, de mise en œuvre et de révision, incluant des études de cas utilisant des protocoles d'observation ethnographique et la collecte de divers types de données, y compris questionnaires, entretiens et groupes de discussion. Cette ROC a été menée sur un projet de deux ans avec trois cycles consécutifs - le premier cycle à l'automne 2021, le deuxième en hiver 2022, et le troisième à l'automne 2022.

Notre étude respecte ces six caractéristiques, soulignant l'usage de méthodes mixtes pour la collecte de données. Cela implique que nos questions de recherche nécessitent l'utilisation de diverses méthodes de recherche, associées à la collecte de données quantitatives et qualitatives. Les deux études ROC ont recours à des approches qualitatives et quantitatives, en particulier les études de cas. La ROC pour le cours de physique a impliqué un design de recherche quasi-expérimental avec des comparaisons croisées entre cas, répétées sur trois semestres.

### 4.2.1 Contexte et participants

Le modèle des laboratoires par enquête a été intégré dans un cours universitaire de 15 semaines sur les ondes et la physique moderne, qui constitue généralement le deuxième des trois cours de physique au niveau universitaire. L'enseignant responsable a été le même pour les trois cycles de mise en œuvre. Chaque cycle a impliqué une cohorte différente d'étudiant·e·s. Tous les étudiant·e·s de chaque cohorte suivaient un parcours en sciences. La taille des classes variait entre 36 et 40 étudiant·e·s. Les cohortes de l'automne 2021 (F2021) et de l'automne 2022 (F2022)

ont montré des performances et résultats globaux comparables. En automne, lorsque le cours 'Ondes et physique moderne' est proposé, les cohortes sont diversifiées, incluant aussi bien des étudiant·e·s brillants que des étudiant·e·s moins préparés, certains ayant rencontré des difficultés en physique, notamment en mécanique (le prérequis) ou dans le cours sur les 'Ondes' lui-même. En revanche, au semestre d'hiver (W2022), le cours attire habituellement des étudiant·e·s des deux filières du programme de sciences naturelles - santé et pures et appliquées - et la cohorte W2022 était typique de ce profil.

Les étudiant·e·s ont participé tant individuellement qu'en collectif, notamment en petits groupes. La composition de ces groupes a été déterminée par une procédure d'échantillonnage ciblé. Concrètement, durant la première semaine du semestre, l'enseignant a formé des groupes de 3 à 4 étudiant·e·s, qui ont travaillé ensemble tout le semestre. Bien que composés de 3 à 4 membres, la majorité des activités de laboratoire se sont déroulées en binômes pour garantir que tous les étudiant·e·s puissent participer activement aux expériences et interagir directement avec l'équipement. Les binômes étaient encouragés à consulter les autres membres de leur groupe de quatre, surtout pour les activités impliquant la prise de décision et la réflexion.

#### 4.2.2 Collecte de données

La collecte des données a fait appel à des méthodes quantitatives et qualitatives. Les données qualitatives ont été recueillies auprès de l'enseignant et des étudiant·e·s. En ce qui concerne l'enseignant, elles comprenaient les éléments suivants (1) le matériel et les notes de ses sessions de planification - par exemple, les réflexions, (2) les artefacts produits pour le laboratoire par enquête - par exemple, les guides d'enquête et les questions incitatives, les réflexions conçues. Les données fournies par les étudiant·e·s comprenaient (1) des feuilles de travail remplies avec des activités pré et/ou post-laboratoire ; (2) des artefacts, y compris le rapport de laboratoire et les graphiques ; (3) des enquêtes post-intervention, y compris des questions d'entretien, sur les perceptions des étudiant·e·s concernant le format de la LBI et leur niveau de confiance dans la réalisation des activités.

Les données quantitatives ont été collectées uniquement auprès des étudiant·e·s et consistaient en une série d'instruments que nous avons développés ou adaptés : (1) un questionnaire d'évaluation de la démarche scientifique, adapté de Papaevripidou et Constantinou (2001), La crème glacée de George ; (2) les notes obtenues lors de certains travaux pratiques ; et (3) une enquête sur les croyances épistémiques à l'aide d'un questionnaire sur les croyances épistémiques (*Topic Specific Epistemic Beliefs*, Strømsø, et al., 2008). Ces instruments sont décrits en détail dans d'autres chapitres de ce rapport. Néanmoins, dans ce chapitre, nous illustrerons brièvement quelques exemples de résultats de l'évaluation de la crème glacée de George (pré-test, post-test immédiat et post-tests différés) afin de brosser un tableau complet de l'évolution de la démarche scientifique des étudiant·e·s.

#### 4.2.3 Éléments intégrés dans l'intervention du laboratoire par enquête en physique

Les laboratoires par enquête constituaient la composante pratique d'un cours sur les ondes et la physique moderne et s'étendaient sur 12 semaines, réparties en quatre modules (M1, M2, M3, M4). La progression dans ces laboratoires, structurée selon les approches décrites par Blanchard et al. (2010), s'est déroulée sur ces quatre modules. Plus précisément, les trois premiers modules (M1, M2, M3) adoptaient une approche d'enquête guidée (voir la figure 4.2), permettant aux étudiant·e·s de concevoir leurs propres procédures et méthodes de collecte de données, ainsi que d'analyser et d'interpréter les résultats obtenus. Le dernier module (M4), en revanche, impliquait une approche d'enquête ouverte, où les étudiant·e·s étaient encouragés à formuler leur propre question de recherche et à mener leurs expériences et analyses, aboutissant à la conception d'un instrument de musique. Les objectifs d'apprentissage des trois premiers modules visaient à développer les connaissances conceptuelles et les compétences procédurales nécessaires aux étudiant·e·s pour prendre des décisions éclairées et relever avec succès le défi de concevoir un instrument de musique dans le cadre du module M4.

**Figure 4.2**

Différents niveaux d'enquête en sciences (adapté de Buck et al., 2008)

Caractéristique	Niveau 0 : vérification	Niveau ½ : enquête structurée	Niveau 1 : enquête guidée	Niveau 2 : enquête ouverte	Niveau 3 : enquête authentique
Problème/question	Fourni	Fourni	Fourni	Fourni	Non fourni
Théorie/contexte	Fourni	Fourni	Fourni	Fourni	Non fourni
Procédures/démarche	Fourni	Fourni	Fourni	Non fourni	Non fourni
Analyse des résultats	Fourni	Fourni	Non fourni	Non fourni	Non fourni
Communication des résultats	Fourni	Non fourni	Non fourni	Non fourni	Non fourni
Conclusions	Fourni	Non fourni	Non fourni	Non fourni	Non fourni

#### 4.2.4 Conception de l'étayage des modules

Nous avons conçu nos dispositifs d'étayage pour l'enseignement de l'enquête en suivant deux dimensions : (1) les aspects à étayer et (2) la méthode d'étayage. Le tableau 4.1 illustre les trois aspects de l'apprentissage pris en compte lors de la conception de nos dispositifs d'étayage, à savoir les aspects cognitifs, sociaux et métacognitifs. Il précise également les trois formes d'étayage que nous avons utilisées pour soutenir l'apprentissage. Nous expliquons ensuite comment ces deux cadres se sont combinés pour guider nos choix de conception pour l'enseignement du laboratoire par enquête et pour les dispositifs d'étayage. Cette approche débute par la structuration de l'activité au niveau méta.

**Tableau 4.1**

Caractéristiques prises en compte lors de la conception de nos étayages laboratoire par enquête. Version simplifiée de Quintana et al. (2004).

Échafaudage (ce qu'il faut échafauder)		Formes d'étayage / Moyens de soutien (comment échafauder)
Cognitif	Prise de décision sélection de la procédure, décision sur les méthodes utilisées pour mener à bien la procédure (c.-à-d. fiabilité des résultats)	Structure des activités et des artefacts (rôles, actions, phases, scripts)
	La prise de conscience (interprétation des données)	
Social	Communication	Interactions (incitations/suggestions/questions)
Métacognitif	Gestion des processus (enquête et communication)	Outils informatiques (étayage logiciel)

### 4.3 La conception d'étude

#### 4.3.1 Conception pédagogique des unités laboratoire par enquête : un étayage à méta-niveau

Rappelons que cette étude repose sur une Recherche Orientée par la Conception (ROC). En tant que telle, elle débute avec un cadre théorique et vise à découvrir, explorer et confirmer les relations entre les éléments dans un

contexte donné. Notre approche des laboratoires par enquête s'appuie sur des théories socio-constructivistes, favorisant un apprentissage collaboratif basé sur des activités concrètes. Plus particulièrement, la conception de notre programme s'est fondée sur deux méthodes pédagogiques : (1) l'Apprentissage par Problèmes (APP ; Hmelo-Silver, 2004), tel qu'appliqué dans le cours de physique de premier cycle à l'Université de Harvard (Espinosa, et al., 2019) ; et (2) le programme d'apprentissage par la conception (*Learning by Design*; Kolodner, et al., 2003). Ces deux approches ont fourni un cadre global et ont guidé la conception de nos laboratoires par enquête durant deux ans.

La structure de notre programme a été influencée par le modèle APP-Harvard, intégrant à la fois l'acquisition de connaissances conceptuelles et le développement de compétences fondamentales pour la démarche scientifique. Cette méthode a également favorisé le développement de compétences sociales à travers des activités de groupe structurées. Par ailleurs, elle a orienté notre sélection de contenu, en tenant compte des caractéristiques spécifiques de notre population étudiant·e, différente de celle de Harvard. Nous avons adopté une approche d'étayage pour simplifier le contenu, afin de l'adapter à la Zone Proximale de Développement (ZPD) de nos étudiant·e·s. Nous avons choisi de débiter le programme avec le concept de mouvement harmonique simple (MHS) car il présente moins de variables que le concept ultérieur d'ondes stationnaires résonantes (OSR). Ce choix a été simplifié davantage en commençant par l'exemple d'un système de bloc-ressort, suivi d'une pendule simple dans le module 2 (M2). Le concept d'OSR a été introduit dans le module 3 (M3) et poursuivi dans le module 4 (M4), en raison de son lien naturel avec la fabrication d'instruments de musique.

Le modèle l'apprentissage par la conception a structuré nos activités en définissant les rôles et les actions dans un scénario soutenant le développement des compétences cognitives, sociales et métacognitives. L'étayage cognitif englobe notamment la prise de décision procédurale et l'initiation aux processus de création de sens. Notre modèle met en œuvre ce scénario en deux phases distinctes : la première, une phase d'exploration initiale (c'est ce qu'on appelle la phase « *messing about* »), encourage les étudiant·e·s à expérimenter avec le matériel et à tester différentes approches, préparant le terrain pour l'élaboration de procédures. Cette phase exploratoire est ensuite suivie d'une phase d'exécution, durant laquelle les étudiant·e·s réalisent les expériences et participent à un processus décisionnel structuré par l'enquête.

Le scénario exploratoire comprend deux volets favorables à l'apprentissage. D'une part, il amène les étudiant·e·s à mobiliser leurs connaissances, à la fois conceptuelles et procédurales, sur le sujet, les préparant ainsi à la phase suivante d'expérimentation et de prise de décision. Cette approche peut agir comme un organisateur préalable, facilitant les futures tâches cognitives et métacognitives. D'autre part, cette phase offre aux étudiant·e·s la chance de développer des compétences procédurales en manipulant les équipements, en concevant des procédures et en réalisant des tests, révélant ainsi autant les échecs que les succès. Cet espace d'apprentissage, conçu pour intégrer l'échec et la rétroaction, s'aligne avec le concept d'échec productif, qui permet aux étudiant·e·s de s'engager activement avec les idées avant un enseignement formel. En parallèle, la rétroaction immédiate et contextualisée constitue une forme supplémentaire d'étayage, offrant une guidance dialogique opportune. Selon Hmelo-Silver et al. (2007), ces moments de rétroaction sont une forme d'étayage efficace : « Un mini-exposé ou une leçon de référence présentant des informations clés est utilisé lorsque les étudiant·e·s perçoivent la nécessité de ces informations et leur pertinence pour leurs démarches de résolution de problèmes et d'investigation » (p.100 ; libéral traduit).

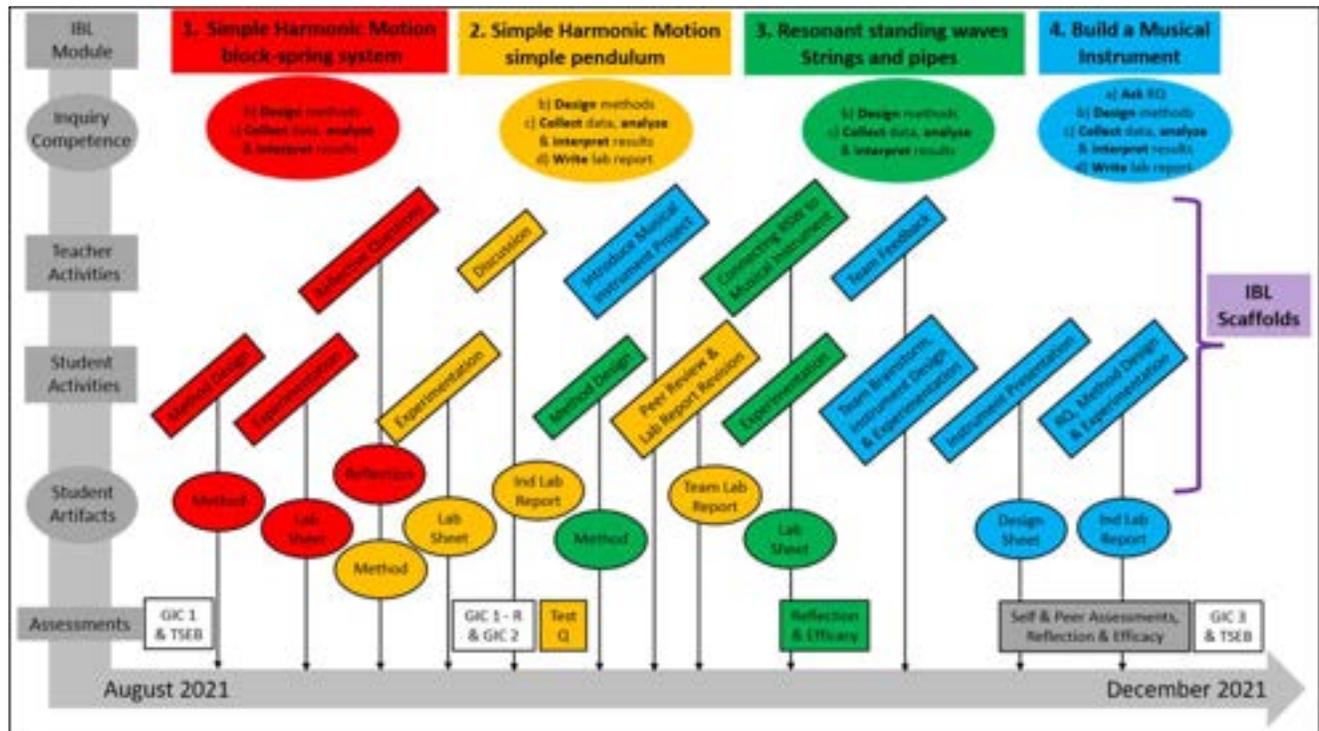
#### 4.4 Automne 2021 (cycle 1)

Dans notre étude ROC, nous nous sommes appuyés sur les modèles théoriques mentionnés précédemment. Ces cadres étaient conçus pour soutenir les tâches cognitives, sociales et métacognitives inhérentes aux laboratoires par l'enquête, permettant ainsi de concevoir un dispositif d'étayage au niveau méta pour ces laboratoires. Cette section décrit les différentes phases de notre processus ROC, examinant l'efficacité de notre cadre théorique initial et les ajustements nécessaires à chaque itération. Nous allons détailler nos méthodes d'étayage, incluant les activités

structurées et les artefacts utilisés, telles que les feuilles de travail, les rubriques, les modèles et les questions, qui ont incité les étudiants à articuler clairement leur raisonnement ou à évaluer leurs décisions, comme illustré dans la figure 4.2. De plus, nous détaillerons les technologies utilisées pour construire ces étayages, telles que la plateforme myDALITE (Charles et al, 2015), qui ont été essentielles au développement des compétences cognitives et métacognitives liées à la compréhension conceptuelle de chaque module. Nous commençons par la figure 4.3, qui présente la première mise en œuvre du laboratoire 'Ondes et physique moderne' basé sur l'enquête.

**Figure 4.3**

Vue d'ensemble de la mise en œuvre du laboratoire par enquête sur 12 semaines (itération 1) menée à l'automne 2021.

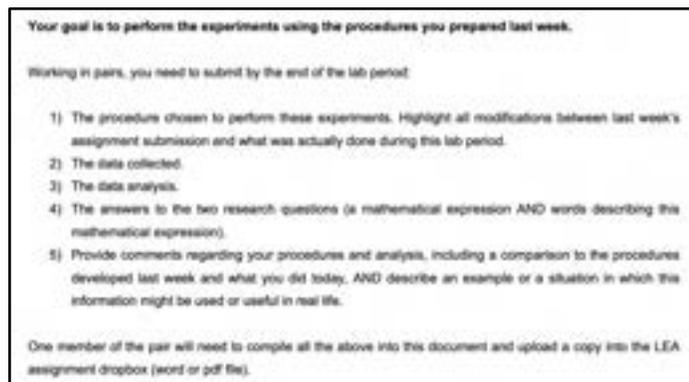


#### 4.4.1 Module 1

Le bloc de ressort en Mouvement Harmonique Simple (MHS) s'est étendu sur deux séances de laboratoire. Lors de la première séance, les étudiant·e·s ont participé à l'activité d'exploration « en vrac » basée sur la question de recherche fournie par l'enseignant. À la fin de cette session, les étudiant·e·s devaient soumettre leur procédure pour l'expérience qui serait réalisée dans le premier laboratoire d'enquête guidée. Lors de la deuxième séance, les étudiant·e·s ont participé au processus de réalisation de l'expérience qu'ils avaient conçue : collecte des données, analyse des données et interprétation des résultats. Travaillant en groupes de deux, les étudiant·e·s ont été invités à soumettre ces informations à l'aide de la *feuille de laboratoire* fournie par l'enseignant, un document numérique qui incluait la question de recherche et fournissait une liste de contrôle simple des informations à inclure (voir la figure 4.4). Au cours des deux séances de laboratoire, l'enseignant a fourni des conseils sous la forme de réponses à des questions spécifiques, en utilisant un protocole dialogique qui a incité les étudiant·e·s à penser et à réfléchir plutôt qu'à fournir des réponses directes.

**Figure 4.4**

Extrait du document Lab Sheet.



L'étape finale du module 1 était une activité de réflexion réalisée sur la plateforme en ligne (myDALITE), qui consistait en plusieurs questions, chacune agissant comme une incitation pour amener les étudiant·e·s à s'entraîner au processus de création de sens d'un ensemble de données. Rappelons que myDALITE est un environnement d'apprentissage qui présente aux étudiant·e·s des questions à choix multiples dans le cadre d'un script métacognitif qui les invite à choisir une réponse, à expliquer leur choix (auto-explication), à comparer cette explication à des exemples fournis par des pairs (à partir d'une base de données) et à reconsidérer leur réponse initiale ainsi que leur explication, ce qui leur permet d'identifier une erreur dans leur première réponse et/ou de choisir une amélioration de leur explication.

Pour cette activité, quatre questions myDALITE ont été conçues (voir la figure 4.5). La première question (Q1), non illustrée, invitait les étudiants à comparer leurs hypothèses et se référait à l'amplitude et à la période. La deuxième question (Q2) présentait aux étudiant·e·s un ensemble de données préparé et un graphique de l'analyse ; elle les incitait à examiner les modèles de collecte, la cohérence des données, et les méthodes d'analyse employées ; elle demandait également aux étudiant·e·s de comparer ces artefacts à leur propre ensemble de données et à leur propre approche de l'analyse des données (voir la figure 4.5b, à droite). L'objectif était de sensibiliser explicitement les étudiants aux *formats normatifs du tableau de données* et à la *représentation graphique*, deux façons normatives de présenter une analyse de données et de donner un sens aux données. Nous reviendrons plus loin sur la façon dont les graphiques servent de médiateur au processus de construction du sens.

La troisième question (Q3) offrait aux étudiant·e·s l'occasion d'évaluer leur processus, compte tenu des indications du tableau de données, et leur a demandé ce qu'ils pourraient faire différemment s'ils avaient la possibilité de refaire le bloc MHS au cours du laboratoire de printemps. L'incitation à ce type de réflexion était un thème commun aux étayages que nous avons conçus, et nous avons réalisé qu'il fallait l'affiner à chaque itération de notre conception. La dernière question (Q4) était destinée à préparer le module suivant (M2). Elle demandait aux étudiant·e·s de réfléchir à ce qu'ils avaient appris dans ce premier laboratoire et à la manière dont ils pouvaient l'utiliser dans un nouveau contexte, à savoir le pendule MHS. En outre, elle leur demandait de rédiger une procédure pour l'expérience proposée. Ainsi, cette question fonctionnait à la fois comme un organisateur préalable, guidant la réflexion des étudiant·e·s, et de moyen de les amener à reconnaître que les *principes* appris sur le MHS peuvent être transférés dans un autre contexte - un exemple de transfert d'apprentissage. Nous verrons comment les étudiant·e·s ont réagi à cette activité dans la section « Réflexions » ci-dessous.

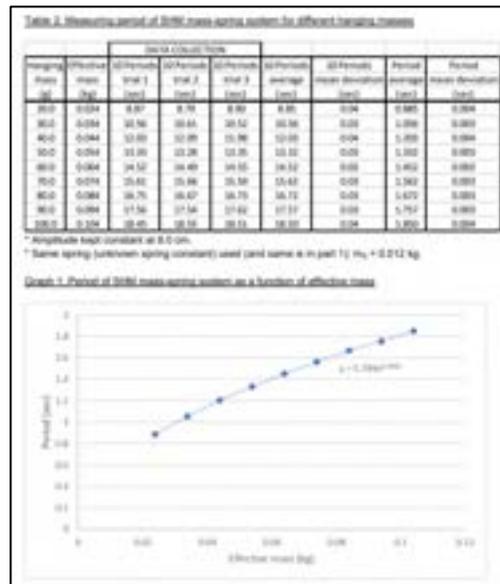
**Figure 4.5**

La collection de trois questions myDALITE utilisées dans cette activité, et l'ensemble de données pour Q2 (fig 5b).

**Question: SHM research questions Q2**  
 Read the "SHM research questions - data and analysis" pdf provided in our course LEA space with respect to Table 2, Graph 1 and its analysis that allows to answer the research question, "Does the mass of the hanging block affect the period of the motion?", please provide what you think is the procedure/methods that led to the data collection and analysis.

**Question: SHM research questions Q3**  
 Revisit the procedure/methods that your team developed and that you used during the lab time to collect data and to analyze the two SHM based research questions. Compare and contrast your procedure/methods used to the ones you wrote for the previous two myDALITE questions. Based on this, what would you do differently if you were to redo the experiments? Be specific.

**Question: SHM research questions Q4**  
 Given the context of a simple pendulum, you need to experimentally research the following two research questions: 1) Does the maximum angular displacement of the motion affect the period of the motion? 2) Does the length of the pendulum affect the period of the motion? Write the procedure/methods that will allow an experimenter to answer the two research questions.



#### 4.4.2 Module 2

Le laboratoire MHS - pendule simple a suivi un processus semblable à celui du premier module, mais avec une seule séance de laboratoire et sans phase de discussion. Dans cette activité laboratoire par enquête guidée, comme dans la précédente, les étudiant·e·s se sont vu présenter des questions de recherche. Travaillant en binômes, les étudiant·e·s ont ensuite élaboré une procédure pour répondre à ces questions, réalisé l'expérience, recueilli et analysé les données et, enfin, interprété les résultats.

La caractéristique distinctive de ce module était une activité qui engageait les étudiant·e·s dans la création d'un rapport de laboratoire (Rapport de laboratoire sur la pendule simple). Cette activité de rapport de laboratoire s'inscrivait dans un processus d'étayage comprenant une réflexion et une révision intentionnelles. Ce micro-scriptum impliquait l'utilisation d'étayages préparés par l'enseignant·e, notamment des lignes directrices, une liste de contrôle et une rubrique, et demandait aux étudiant·e·s de s'engager dans les tâches suivantes : (1) individuellement, préparer un rapport de laboratoire ; (2) en binôme (deux partenaires de laboratoire), en utilisant la suite d'outils, et plus spécifiquement, un questionnaire. Suite à l'évaluation par les pairs, plutôt que de demander à chaque étudiant·e de soumettre un rapport individuel révisé, il leur a été demandé de soumettre un seul *rapport d'équipe*, en utilisant les données d'un ensemble de données compilées par l'enseignant·e, plutôt que leurs propres données. De plus, le but de ce rapport de laboratoire collectif était de faire prendre conscience aux étudiant·e·s à reconnaître qu'il s'agissait d'un « modèle » qui pouvait être utilisé comme modèle pour leurs futurs rapports, en particulier le rapport de laboratoire du module 4. Ce point a lui aussi fait l'objet d'itérations dans les cycles ultérieurs de la conception du laboratoire par enquête.

#### 4.4.3 Module 3

Le laboratoire dédié aux ondes stationnaires résonantes (OSR) a adopté le même déroulement et la même structure en deux séances que le premier module (M1), incluant l'activité exploratoire (*messing about*). Comme précédemment, les questions de recherche fournies par l'enseignant·e ont amené les étudiant·e·s, travaillant en

binômes, à réaliser les tâches de l'enquête guidée (M1 et M2). Suite à cette activité, les étudiant·e·s devaient de nouveau soumettre une fiche de laboratoire, similaire à celle mentionnée précédemment, accompagnée d'un questionnaire réflexif. La feuille de laboratoire remplie semble servir d'étayage pour donner un sens aux données, les étudiant·e·s fournissant des explications et des graphiques, à l'instar de l'étayage myDALITE . Nous en donnerons un extrait dans la section suivante.

#### 4.4.4 Module 4

Le dernier module, intitulé 'Construire l'instrument' (M4), visait à mettre en œuvre un apprentissage par enquête ouverte, c'est-à-dire qu'il demandait aux étudiant·e·s de développer leurs propres questions de recherche et de concevoir l'expérience. Cette activité, centrée sur la conception d'un instrument de musique, débutait par une phase expérimentale. En basant leurs décisions sur les résultats de leur expérimentation, les étudiant·e·s ont ensuite construit un instrument et l'ont présenté à la classe. L'une des principales différences de cette activité était que les expériences devaient être réalisées à la maison, et non dans le laboratoire du cours. Cette décision visait à assurer que tous les étudiant·e·s disposent des mêmes conditions pour la phase de construction. Le protocole utilisé est décrit ci-après.

Les étudiant·e·s avaient le choix entre deux matériaux pour construire leurs instruments : à cordes ou à tuyaux. Ce module fournissait des étayages, incluant des directives pour la construction de l'instrument et les critères de performance (contraintes) de l'instrument. L'un des principaux critères de performance était les fréquences que l'instrument devait produire - par exemple, les notes musicales de « Do, Re, Mi ». Cela signifie que les étudiant·e·s doivent concevoir une expérience qui examine la relation entre les fréquences et les éléments qui les produisent ; plus précisément, les variables associées aux fréquences de résonance (harmoniques) pour les ondes stationnaires, comme le montrent des équations mathématiques.<sup>3</sup> En outre, lors de la conception de leurs expériences, ils devront prendre en compte les implications théoriques et pratiques de la variation de ces variables. Par exemple, la longueur d'une corde ou d'un tuyau, le diamètre d'un tuyau, la tension d'une corde, le type de corde (densité de masse linéaire), etc. Ces considérations qualitatives (variables indépendantes) et le critère de performance consistant à produire une fréquence spécifique (variable dépendante) ont permis d'établir un contexte expérimental approprié et de fournir une approche fondée sur des preuves pour *prendre des décisions éclairées* lorsqu'il s'agit de concevoir leur instrument de musique. En bref, l'application de la science à un problème de conception authentique, illustrant ainsi la manière d'intégrer la science dans le quotidien - l'objectif ultime des approches pédagogiques basées sur la conception.

#### 4.4.5 Résultats de la mise en œuvre à l'automne 2021 (cycle 1)

D'une manière générale, la première mise en œuvre du laboratoire par enquête en physique a été bien accueillie et les étudiant·e·s ont semblé capables d'effectuer de nombreuses tâches dans les modules de recherche guidée (M1, M2, M3) et dans le module de recherche ouverte sur la construction d'un instrument de musique (M4). Les étudiant·e·s ont également été en mesure de construire des instruments de musique répondant aux critères de performance suivants : jouer des notes de musique . L'équipe de recherche a également identifié des erreurs gênantes dans quelques artefacts clés produits par les étudiant·e·s, ce qui a ouvert la voie à des changements dans le programme d'études et a conduit à la conception du cycle 2 (hiver 2022). Nous les décrivons ci-après.

##### *Artefacts des fiches de laboratoire*

Pour commencer, nous avons analysé les artefacts des feuilles de laboratoire produits pendant les activités des modules M1 et M3, afin de mettre en lumière l'influence des tâches laboratoire par enquête guidées sur les résultats d'apprentissage des étudiant·e·s. Ces artefacts ont montré que les étudiant·e·s pouvaient produire des procédures adéquates pour collecter des données, et qu'ils pouvaient modéliser la manière de présenter des tableaux de données et d'utiliser des graphiques dans le cadre de leur processus d'analyse des données (voir l'exemple de la figure 4.6). Toutefois, si un certain pourcentage de groupes d'étudiant·e·s a produit de tels artefacts, tous n'ont pas reconnu l'importance des graphiques.

---

<sup>3</sup> Les équations :  $f_n = nv / 2L$  ( $n = 1, 2, 3...$ ) pour les tiges ;  $f_n = nv / 2L$  ( $n = 1, 2, 3...$ ) pour les tiges ;  $f_n = nv / 2L$  ( $n = 1, 2, 3...$ ) pour les cordes. ... pour les tiges ;  $f_n = nv / 2L$  ( $n = 1, 2, 3...$ ) tuyaux ouverts aux deux extrémités ;  $f_n = nv / 4L$  ( $n = 1, 3, 5...$ ) tuyaux ouverts à une seule extrémité ; ( $L$ ) longueur, ( $v$ ) vitesse de l'onde, ( $f_n$ ) fréquence de la  $n$ ème harmonique,  $n$  = nombre d'harmoniques ; pour les cordes,  $v = \sqrt{\text{tension de la corde} / \text{densité de masse linéaire de la corde}}$ .

### Les rapports de laboratoire

Les rapports de laboratoire produits en M2 demandaient aux étudiant·e·s de fournir une analyse des données et leur donnaient la possibilité de produire un graphique des données, ce que la majorité des étudiant·e·s ont fait. Les graphiques permettent aux étudiant·e·s de démontrer leur compréhension des relations entre leurs variables et leur capacité à générer une interprétation fiable qui confirme le lien entre les données et la théorie.

En analysant les graphiques, l'équipe de recherche a pu identifier le niveau de compréhension des étudiant·e·s : (1) niveau A, graphique de haute qualité présentant une ligne de tendance correcte, suffisamment de points de données et des barres d'erreur appropriées ; (2) niveau B, graphique de bonne qualité présentant une tendance correcte, suffisamment de points de données, avec quelques erreurs mineures (par exemple, des barres d'erreur incorrectes) ; (3) niveau B, graphique de bonne qualité présentant une ligne de tendance correcte, suffisamment de points de données, avec quelques erreurs mineures (par exemple, des barres d'erreur incorrectes), barres d'erreur incorrectes) ; (3) niveau C, un graphique de qualité acceptable, avec une ligne de tendance correcte mais pas assez de points de données, ce qui suggère une faible compréhension de la démarche scientifique ; (4) niveau D, un graphique de qualité médiocre, avec une ligne de tendance incorrecte, ce qui suggère un manque de compréhension des concepts clés ; et (5) niveau E, des graphiques complètement inacceptables avec une tendance incorrecte et d'autres erreurs. Il est intéressant de noter que ceux qui ont choisi pour ne pas produire de graphiques (niveau F) ont également révélé une faiblesse dans leur compréhension du rôle des graphiques dans l'épistémologie scientifique. Nos analyses des graphiques (voir tableau 4.2) produits par les étudiant·e·s de l'automne 2021 montrent que si 42 % des étudiant·e·s pouvaient être classés au niveau A, plus de 40 % (niveaux C à F) présentaient des faiblesses dans leur compréhension à la fois procédurale et conceptuelle.

**Tableau 4.2**

Les résultats de l'évaluation évaluant les graphiques produits à l'automne 2021.

Niveau d'évaluation	Pourcentage d'étudiant·e·s
A	42.4%
B	9.1%
C	18.2%
D	6.1%
E	12.1%
F	3.0%
N/A	9.1%
Total	100%

**Figure 4.6**  
Exemple d'artefact de fiche de laboratoire d'un groupe.

**203-NYC-05: Waves, Optics & Modern Physics**

**Teammates:** \_\_\_\_\_

Given the context of a simple pendulum, you need to experimentally research the following two research questions:

- 1) Does the maximum angular displacement of the motion affect the period of the motion?
- 2) Does the length of the pendulum affect the period of the motion?

Working in pairs, you need to submit by the end of class:

- 1) The procedure chosen (from the myDALTE assignment) to perform these experiments. Highlight all modifications between the assignment submission and what was actually done during this lab period.
- 2) The data collected.
- 3) The data analysis.
- 4) The answers to the two research questions.
- 5) Any comments that you wish to share regarding your procedures and analysis, including a comparison to what you did today to what you did last week (for the block-spring experiment).

One member of the pair will need to compile all of the above into this document and upload a copy into the LEA assignment dropbox.

1) i) Keep the same length for a pendulum and the same mass, and assume there is no friction for the duration of the procedure.  
 ii) Start at a certain angular displacement and keep increasing it until reaching the maximum angular displacement (minimum valid angular displacement for a small angle pendulum system (15°)).  
 iii) Make at least 3 trials for each increase of the angle.  
 iv) Measure the time it takes for the pendulum system to cycle 3 times.  
 v) Calculate the 3 period's average and mean deviation for each trial.  
 vi) Calculate the 1 period's average and mean deviation for each trial.  
 In the analysis, determine if they are within range of each other compares their period values +/- their mean deviation.

**Table D:**

Length of string (m)	3 periods total 3 (s)	3 periods total 2 (s)	3 periods total 3 (s)	3 periods average (s)	3 period Mean deviation	1 period average (s)	1 period mean deviation
0.811	1.28	1.24	1.23	1.25	0.044	1.78	0.0141
0.841	4.75	4.77	4.84	4.71	0.044	1.57	0.0141
0.886	1.68	1.71	1.73	1.71	0.0158	1.34	0.0052
0.225	1.36	1.37	1.34	1.36	0.0091	0.93	0.0031

Hanging mass kept constant at 0.025kg  
Angular displacement kept constant at 15°

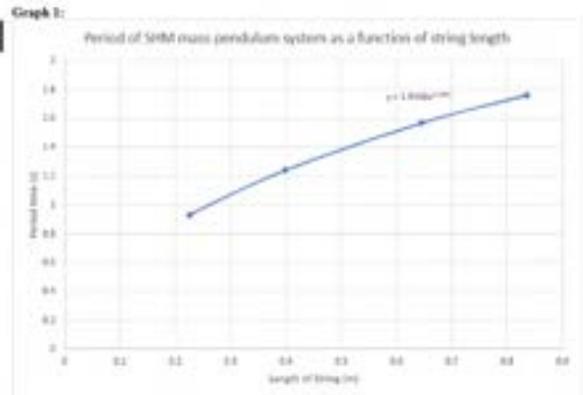
- iii) At each successive decrease, measure the time it takes for the pendulum system to cycle 3 times, for a minimum of 3 trials.
- iv) Calculate the 3 period's average and mean deviation.
- v) Calculate the 1 period's average and mean deviation for each trial.
- vi) Do a graph with a power function that includes the period (sec) and the increasing length of the pendulum (m).
- vii) Elaborate in the analysis, with the help of the graph, if the length of the pendulum affects the period of the motion.

**Table E:**

Angular displacement	3 periods total 3 (s)	3 periods total 2 (s)	3 periods total 3 (s)	3 periods average (s)	3 period Mean deviation	1 period average (s)	1 period mean deviation
15°	1.38	1.34	1.34	1.35	0.0178	1.78	0.0074
10°	1.56	1.58	1.21	1.45	0.0113	1.78	0.0178
15°	1.25	1.34	1.25	1.29	0.0178	1.78	0.0093

Hanging mass kept constant at 0.025kg  
Length of string kept constant at 0.815m

**Analysis:**  
Using the 3 maximum angular displacements, it is possible to compare their period values +/- their mean deviations to analytically determine their consistency with each other. In the experiment, the data shows that maximum angular displacement is independent of the period for the data sets, 15° and 10°. For the 15° slight under-measure is present for the average period with its mean deviation, which can account for human error at measurement lab rotation (noting not straight, then fully measured, etc.). Theoretically the period is independent from the angular displacement and representatively the data mostly proves that this is true.



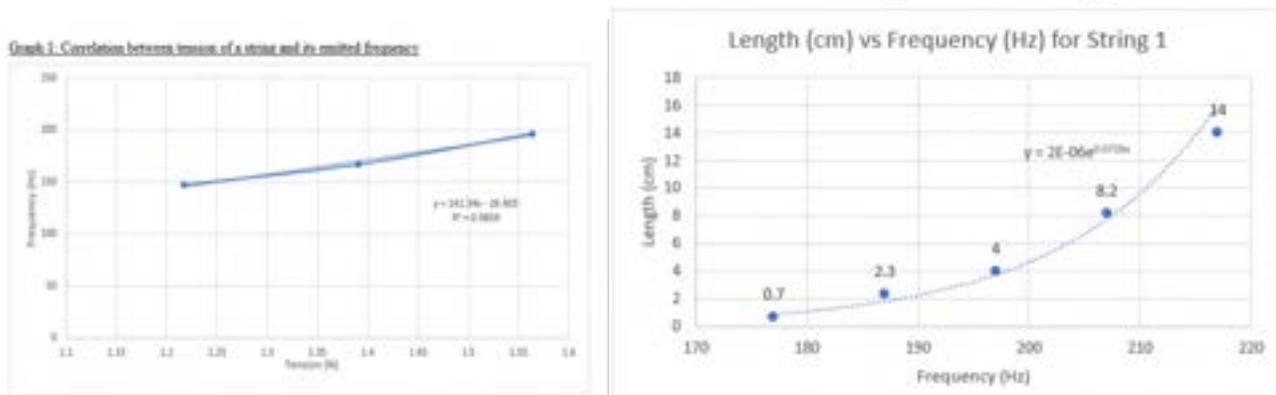
**Analysis:**  
The plot graph for the data is a power function. The power is 0.484 (-0.2), which signifies a square root function and shows that the length of the string does affect the period of the motion for a mass-pendulum system. The data sets and their mean deviations also back this up.

La figure 4.7 présente des exemples de graphiques incorrects. Le graphique de gauche (7a) est un exemple typique de graphique avec trop peu de points de données, ce qui illustre l'une des lacunes les plus courantes dans les connaissances procédurales des étudiant·e·s, à savoir la méconnaissance du concept de fiabilité expérimentale en ce qui concerne la conception de la collecte de données suffisantes. Le graphique de droite (7b) est un exemple typique de graphique dont l'identification des axes est incorrecte, ce qui signifie que la relation illustrée ne peut pas être interprétée.

**Figure 4.7**

Exemples typiques de graphiques produits par les étudiant·e·s de la cohorte de l'automne 2021 :

(4.7a) graphique incorrect en raison du nombre insuffisant de points de données ; (4.7b) graphique incorrect en raison de la relation entre les axes.



### Réflexion de l'équipe de recherche sur les réflexions des enseignants

Voici un extrait du journal de réflexion de l'enseignant qui nous permet de voir ses observations qui ont ensuite été présentées à l'équipe de recherche pour examen et confirmation de ce qui devait être changé pour l'itération suivante. Ces extraits illustrent les types de préoccupations de l'enseignant

***Activité graphique :** En général, nous indiquons aux étudiant·e·s la quantité de données à collecter et nous leur disons ensuite ce qu'ils doivent en faire. J'ai pensé que les étudiant·e·s seraient capables de faire un bon travail au début et qu'ils pourraient certainement affiner leur approche après que nous leur ayons montré des exemples et qu'ils y aient réfléchi - c'est-à-dire les étayages myDALITE. Ce que je n'avais pas prévu, c'est qu'il y a beaucoup plus de "compétences" ou d'"outils" à prendre en compte lorsqu'il s'agit d'établir des graphiques (utiliser la meilleure tendance, etc.). Alors que les étudiant·e·s voient des graphiques et des relations dans les cours de physique précédents, dans les cours de physique des ondes et de physique moderne, ces graphiques représentent des relations non linéaires, ce qui semble être nouveau pour eux.*

En examinant cette déclaration, l'équipe de recherche a réfléchi à l'article de Natasha Holmes (Holmes, et al., 2017) qui décrivait son expérience d'un travail sur les graphiques. Cet article montrait que ses étudiant·e·s étaient capables de tracer des graphiques correctement, sans les erreurs que nous avons observées. En comparant ces résultats avec ceux de l'équipe et de l'enseignant, il est apparu qu'une explication plausible de la différence était que ses étudiant·e·s étaient probablement en deuxième année d'université et qu'ils étaient donc plus avancés que notre cohorte. C'est ce qui a déclenché notre prochain cycle de conception pour soutenir le développement par les étudiant·e·s des compétences et des connaissances nécessaires pour combler cette lacune potentielle. Nous avons commencé ce processus en examinant une autre réflexion de l'enseignante qui identifiait un endroit spécifique où nous pouvions commencer à concevoir une nouvelle activité qui tirerait parti de l'un des artefacts existants, les fiches de laboratoire.

***Échafaudage des activités menant à la représentation graphique :** après la séance de laboratoire sur le pendule, j'ai examiné les "fiches de laboratoire" soumises. C'est là que j'ai réalisé pour la première fois que mes étudiant·e·s avaient collecté trop peu de données. Avant de remettre mon "rapport de laboratoire formel", j'ai donc créé un ensemble de données fictives et je l'ai inclus dans mon travail.*

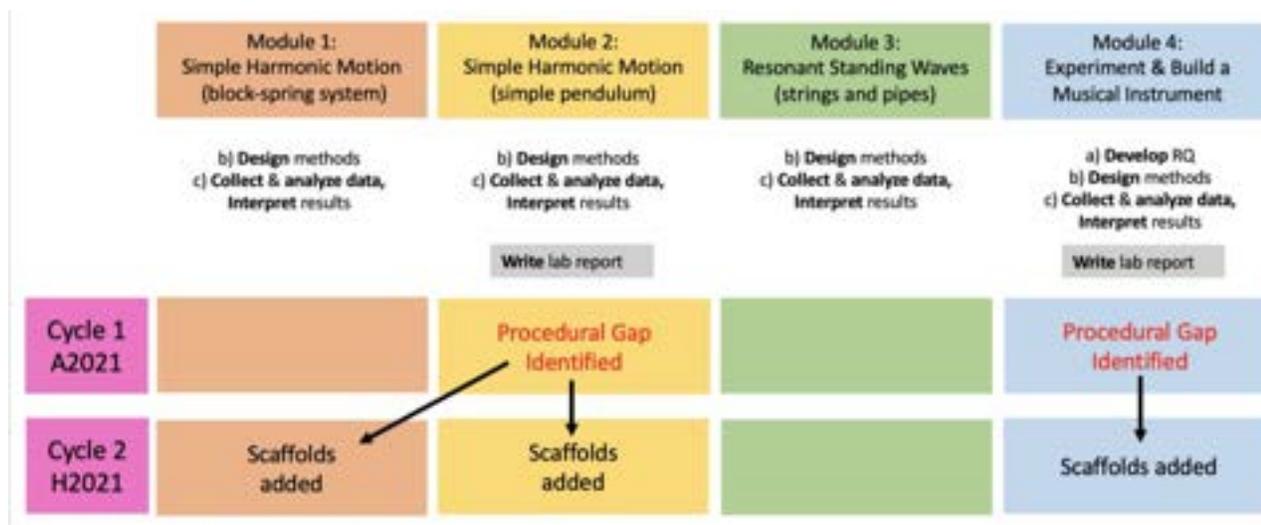
En discutant de ces observations avec l'enseignant, celui-ci et l'équipe de recherche ont convenu que son ensemble de données « fictives » serait ajouté aux itérations suivantes en tant qu'étayage permanent. Le cadre théorique qui sous-tend cette décision est celui de la « modélisation », qui est un aspect de l'apprentissage cognitif.

#### 4.4.6 Préparation du cycle 2 : les changements apportés au programme

Trois changements ont été suggérés pour la prochaine itération du programme d'études du laboratoire par enquête, sur la base des problèmes décrits ci-dessus (voir la figure 4.8). Comme nous l'avons mentionné, nous nous sommes concentrés sur les faiblesses de la représentation graphique, qui ont été identifiées dans des sections des rapports de laboratoire produits en M2 et M4. Nous avons interprété ces erreurs comme un manque de compréhension de la part des étudiant·e·s : (1) de la démarche scientifique, en particulier du concept de fiabilité ; et (2) des concepts théoriques testés - c'est-à-dire la physique de la MHS et de la OSR. Pour aider à combler cette lacune dans les connaissances et les compétences, ce qui, nous l'espérons, permettrait de résoudre les erreurs graphiques courantes produites dans l'artefact M2, nous avons apporté des changements à l'activité qui préparait les étudiant·e·s au laboratoire - c'est-à-dire qu'un étayage a été ajouté au module un (M1). De plus, afin de soutenir les étudiant·e·s pendant qu'ils produisent leur rapport de laboratoire, un étayage supplémentaire a été ajouté au module M2. Pour remédier aux erreurs produites dans l'artefact M4, nous proposons une amélioration de l'étayage des activités associées à l'expérience de laboratoire dans le module M4. Dans cette section, nous développons les preuves que nous avons utilisées pour identifier ces erreurs et les idées théoriques qui nous ont aidés à développer le programme d'études modifié du cycle 2.

**Figure 4.8**

Aperçu des changements apportés à la conception du laboratoire par enquête de physique, cycle 2 (hiver 2022), sur la base des lacunes du cycle précédent (cycle 1).



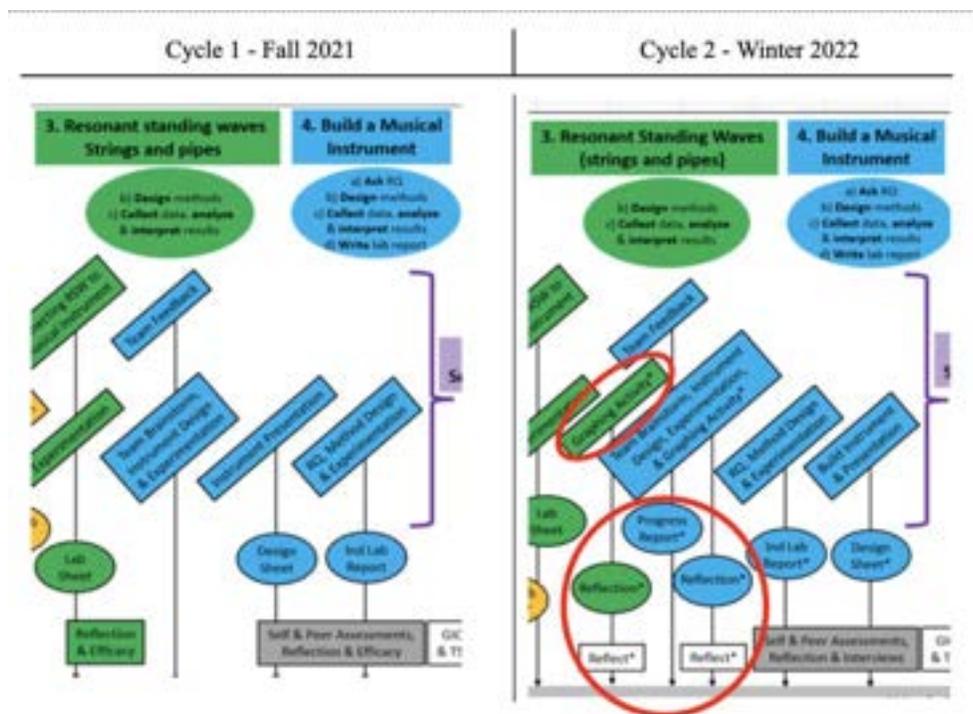
#### 4.5 Hiver 2022 (cycle 2)

Dans la section précédente, nous avons décrit les implications de la conception du cycle 1 sur la capacité des étudiant·e·s à s'engager de manière significative dans les laboratoire par enquête de physique - recherche guidée (M1, M2 et M3) et recherche ouverte (M4). En utilisant les artefacts qu'ils ont produits comme indicateurs, nous avons déterminé que le programme d'études ne leur fournissait pas un soutien suffisant pour développer certaines des connaissances et des compétences qui sont essentielles pour mener à bien certains aspects des tâches dans les modules. Plus précisément, nous avons identifié la nécessité de promouvoir la capacité des étudiant·e·s à s'engager

dans les processus d'analyse des données, y compris la représentation graphique de ces données et l'interprétation des résultats qui s'ensuit. Au total, trois changements majeurs ont été apportés à la conception du laboratoire par enquête pour la mise en œuvre du cycle 2. Ils concernaient les deux premiers modules (M1 et M2) et certains des ajouts les plus importants ont été apportés au dernier module (M4), avec un ajout plus modeste au module M3 (voir figure 4.9). Ces éléments sont abordés ci-après.

**Figure 4.9**

Modifications apportées au script de mise en œuvre. Notez le changement pour les produits livrables du projet (séquence d'événements), cycle 1 à gauche, cycle 2 à droite).



En M1 et M2, nous avons ajouté un moyen pour les étudiant·e·s de s'investir davantage dans la conception de l'expérience en leur demandant de formuler une hypothèse liée à la question de recherche fournie par l'enseignant, avant d'entamer la préparation de la méthode pour le laboratoire d'enquête guidée. La formulation d'une hypothèse nécessite de prendre conscience des variables en jeu, d'identifier leur relation et d'établir la direction de cette relation (dépendante ou indépendante). Donner aux étudiant·e·s la responsabilité de formuler une hypothèse leur donne l'occasion de s'engager dans une telle réflexion et crée des conditions susceptibles d'accroître leur intérêt pour l'activité, c'est-à-dire leur motivation à apprendre. Ce changement a été intégré à la collection de questions myDALITE dans les modules M1 et M2. Cet étayage a été progressivement estompé dans le module M3.

Nous avons également amélioré la première activité de recherche en M1 [et en M2 ?] en modifiant la formulation de la question de recherche générée par l'enseignant. La formulation originale était trop ouverte et laissait aux étudiant·e·s la possibilité de ne pas comprendre comment ils devaient traiter les résultats et expliquer la relation qu'ils avaient examinée. La reformulation a consisté à formuler la question de recherche en termes mathématiques, ce qui a facilité l'identification de la relation entre les variables. Le concept de « fonction » a été utilisé dans cette formulation. Cela a amélioré la compréhension des étudiant·e·s et les a incités explicitement à appliquer des techniques d'analyse de données connues, facilitant leur capacité à identifier la signification des lignes de tendance dans leurs graphiques et à approfondir leur compréhension des activités de représentation graphique. Nous avons émis l'hypothèse que l'amélioration de la définition des variables encourageait les étudiant·e·s à prêter plus d'attention à ces aspects, favorisant ainsi une prise de conscience accrue de ces éléments critiques de l'analyse des données, de la représentation graphique et de la modélisation. Il est important de noter que dans le module 3

(M3), nous avons volontairement réduit ce mécanisme de soutien. En outre, cette modification a été conçue pour aider les étudiant·e·s à relier logiquement les variables aux équations physiques sous-jacentes relatives à l'expérience.

Avant le module final (M4), nous avons ajouté une activité de représentation graphique et de réflexion. Puis, dans le module M4, nous avons ajouté un rapport d'avancement. L'objectif de ce rapport était d'inciter les étudiant·e·s à se mettre rapidement sur la bonne voie, à partager leurs idées avec l'enseignant et à recevoir une rétroaction immédiate. En outre, les échéances du rapport de laboratoire et de la feuille de laboratoire ont été interverties dans le scénario ; plus précisément, la date d'échéance du rapport d'étape a été déplacée après la « séance de rétroaction de Rhys » (voir la figure 4.9). L'examen des capacités graphiques des étudiant·e·s est demeuré un problème, mais nous n'avons apporté que des changements mineurs pour l'itération du cycle 2. Nous reviendrons sur ce point lorsque nous décrirons ce qui a été identifié comme devant être modifié pour l'itération du cycle 3 de ce programme d'études du laboratoire par enquête.

#### 4.5.1 Résultats de la mise en œuvre de l'hiver 2022 (cycle 2)

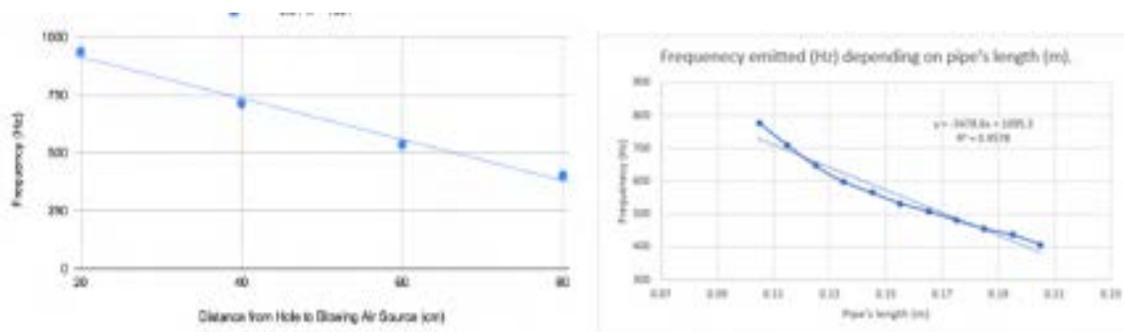
D'une manière générale, la mise en œuvre du cycle 2 (hiver 2022) a été plus difficile que prévu. Le résultat le plus significatif est qu'il nous a permis de mieux comprendre les problèmes que les étudiant·e·s rencontrent encore pour donner du sens aux données pendant les activités d'analyse et de représentation graphique, qui ont été révélés le plus clairement dans le module final (M4). Bien que ce rapport de laboratoire et les graphiques associés aient été de moins bonne qualité que ceux du cycle 1 (automne 2021), ils nous ont permis d'examiner quels types d'étayages pourraient aider l'étudiant moyen à surmonter cette lacune dans ses connaissances.

##### *Analyse des rapports de laboratoire et des graphiques*

L'examen des graphiques produits pour M4 a révélé une erreur fréquemment répétée avec des courbes de tendance incorrectes. Par exemple, un certain nombre d'étudiant·e·s ont continué à rapporter les relations de manière incorrecte, certains écrivant même des déclarations telles que : « Lorsque X augmente, Y augmente aussi ». Un certain nombre d'étudiant·e·s ont accepté aveuglément le facteur  $R^2$  dans leur affichage Excel et n'ont pas montré qu'ils comprenaient les notions de précision et d'exactitude. La plupart des étudiant·e·s semblaient ignorer l'importance de l'analyse des erreurs et des incertitudes. L'examen des rapports de laboratoire finaux a montré que les étudiant·e·s n'avaient pas utilisé le rapport de laboratoire MHS de leur équipe comme modèle, et nous avons donc reconnu la nécessité d'être plus explicites. Voir la figure 4.10 pour des exemples d'erreurs et le tableau 3 pour les résultats des évaluations.

**Figure 4.10**

Exemples typiques de graphiques produits par les étudiant·e·s de la cohorte de l'automne 2021 : (4.10a) graphique incorrect en raison du nombre insuffisant de points de données ; (4.10b) graphique incorrect en raison de la relation entre les axes.



### Tableau 4.3

Les résultats de l'activité graphique, hiver 2022.

Niveau d'évaluation	Hiver 2022
A	33%
B	7%
C	7%
D	20%
E	17%
F	13%
N/A	3%
Total	100.0%

#### 4.5.2 Réflexions des enseignants

Le semestre a été difficile pour l'enseignant. Il a indiqué que les étudiant·e·s travaillaient plus lentement que d'habitude et nous, en tant qu'équipe de recherche, avons discuté de la possibilité d'allouer plus de temps à la réalisation d'expériences dans les laboratoires. Cela dit, il a continué à être encouragé par les changements que nous avons apportés aux étayages. Voici un extrait de sa réflexion sur l'activité de laboratoire M3, qui préparait les étudiant·e·s au module de construction d'instruments de musique.

*J'ai montré à la classe que nous avions des cordes + des oscillateurs, des tuyaux + des haut-parleurs, des générateurs de signaux et d'autres équipements de laboratoire simples. Tous les groupes ont pris le matériel et ont commencé à jouer avec. Au début, certains n'ont pas compris, ils n'ont pas réglé la tension, ont utilisé des fréquences trop élevées pour les cordes ou trop basses pour les tuyaux, etc. Mais avec un peu de discussion, ils ont commencé à utiliser l'équipement de manière prévisible et les autres groupes alentour ont jeté un coup d'œil et modifié le leur. Collectivement, ils sont arrivés à un point où ils pouvaient voir/entendre la résonance et avaient des procédures pour les questions 1 et 2. Le bricolage d'aujourd'hui a été UTILE ; le fait de savoir ce qu'est et ce que fait l'équipement semble beaucoup aider. Davantage d'étudiant·e·s s'amuse avec le matériel avant d'écrire. Commentaires de certains étudiant·e·s - il est plus facile de comprendre la résonance lorsqu'il s'agit de cordes ; le voir, c'est le croire. Ils ont trouvé cette journée utile pour apprendre le contenu avant le test en classe. Tous les groupes sont restés jusqu'à la fin de la séance de laboratoire, mais le groupe de midi semblait mieux organisé. (Labo, 28 février)*

Cet extrait, en particulier, montre l'importance du rôle de modèle joué par les pairs, ce qui est souvent découragé dans les classes de laboratoire traditionnelles. Toutefois, dans ces classes/laboratoires socioconstructivistes, la conception ciblée du travail de groupe et l'encouragement au partage offrent la possibilité d'*observer* occasionnellement ce qui se passe entre les groupes. Ces exemples montrent comment les interactions sociales deviennent un étayage pour l'apprentissage dans la zone de développement proximal (Vygotsky, 1978), ce qui, selon nous, est un élément essentiel de la conception de l'enseignement du laboratoire par enquête en tant qu'apprentissage par enquête guidée.

#### 4.5.3 Autres observations de l'enseignant

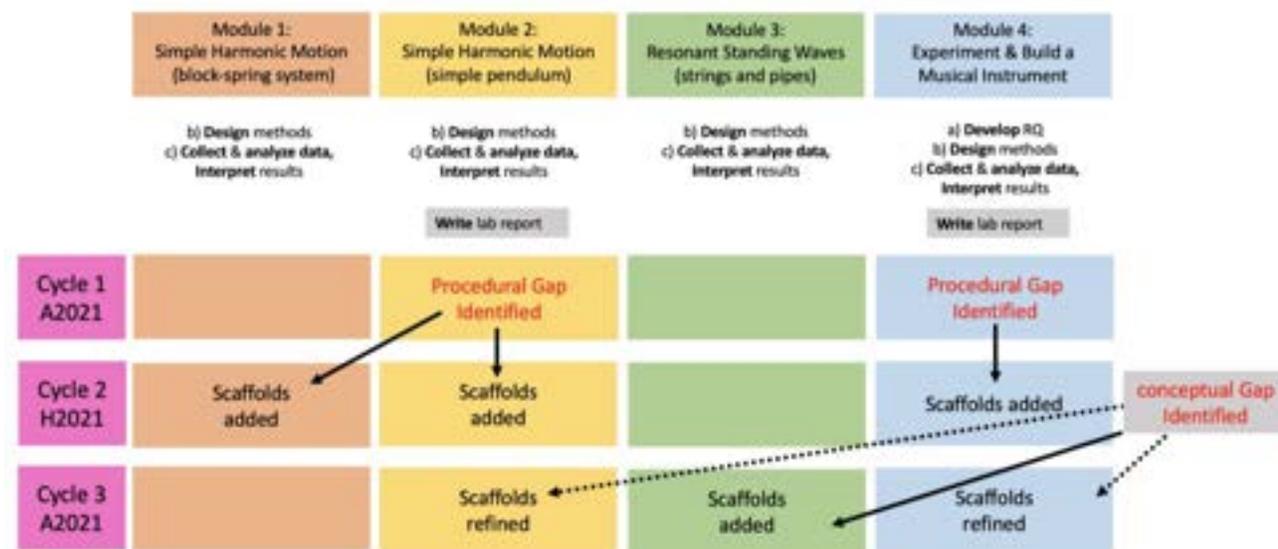
L'aspect le plus troublant de la cohorte de l'hiver 2022 a été les cas atypiques de fraude de données (étudiant·e·s inventant les données) et de plagiat. Ce dernier point nous a amenés à suggérer de demander aux étudiant·e·s de fournir des photos et des vidéos d'eux-mêmes en train de réaliser l'expérience de laboratoire dans le rapport final. Et de surveiller de plus près la manière dont leurs expériences sont directement liées à l'instrument en cours de construction.

## 4.6 Préparation du cycle 3 : les changements apportés au programme

Bien que tous les changements apportés au cycle 2 semblent positifs, il reste nécessaire d'améliorer le programme d'études du laboratoire par enquête. L'analyse des graphiques produits dans le dernier module (M4) a montré qu'en moyenne, les étudiant·e·s ne parvenaient toujours pas à donner un sens aux données dans le cadre de cette approche de recherche guidée. Ils ont continué à avoir des difficultés avec le concept de fiabilité lorsqu'il s'agit de la collecte de données et à relier les données à la théorie. Les modifications apportées à notre troisième et dernière itération visaient à ajuster la conception (voir figure 4.11).

**Figure 4.11**

Vue d'ensemble des changements apportés à la conception du laboratoire par enquête lors du passage du cycle 2 au cycle 3.



## 4.7 Automne 2022 (cycle 3)

Lors de la conception du cycle 3 (automne 2022), des changements ont été apportés à trois des quatre modules (M2, M3 et M4). Certains de ces changements étaient importants, d'autres plus modestes. Cependant, le changement le plus important concerne l'analyse des données et l'activité graphique. Si l'on ajoute à cela les changements moins importants, nous pensons que cette version finale du programme d'études du laboratoire par enquête a permis aux étudiant·e·s d'obtenir des résultats positifs en matière d'apprentissage. Nous décrivons ces changements ci-après.

Dans l'itération finale du laboratoire par enquête, nous avons conçu chaque module pour aider les étudiant·e·s à mieux comprendre ce concept. Nos résultats suggèrent que l'étaillage a permis d'améliorer les performances des activités graphiques et de la conception finale. Notre étude confirme également l'importance de la co-conception. Le professeur de physique et les praticiens des sciences ont joué un rôle essentiel dans l'identification des lacunes en matière de connaissances et les apprentis scientifiques ont utilisé des principes pour concevoir des étaillages efficaces. En outre, l'équipe a examiné l'ensemble du programme d'études et identifié d'autres problèmes de conception des pivots : les données des cours de physique de première année sont généralement modélisées par des relations proportionnelles et/ou linéaires dans lesquelles les paramètres (pente et ordonnée) ont une signification physique ; dans les cours suivants, ces relations sont parfois non linéaires par

nature. La transition entre l'analyse linéaire et l'analyse non linéaire partage certaines des difficultés caractéristiques, qui relèvent du changement conceptuel. Cela ouvre donc de nouvelles perspectives de recherche dans la conception d'étayages laboratoire par enquête.

En M2, nous avons remanié l'activité pour le rapport de laboratoire sur la pendule simple et y avons ajouté trois parties. Tout d'abord, les étudiant·e·s ont été invités à préparer un rapport de laboratoire individuel, en utilisant leurs propres données. Cette tâche a été encadrée par des directives et une grille d'évaluation fournies par l'enseignant. Deuxièmement, dans leurs équipes de 3 à 4 personnes, ils ont été invités à procéder à une évaluation de chaque rapport par leurs pairs, ce qui a permis d'étayer les compétences en matière de communication et de concept. En outre, les étudiant·e·s ont été invités à remplir individuellement un « questionnaire/réflexion » avant la réunion d'équipe et à utiliser ces réponses pour faciliter leur conversation au cours de cet exercice. La raison de ce changement était d'accroître le sentiment d'autonomie de l'étudiant dans le processus de collecte des données. En même temps, il les préparait à l'activité suivante, l'évaluation par les pairs, qui les obligerait à développer un sens de la *responsabilité mutuelle*. Troisième et dernière partie de l'activité, les étudiant·e·s ont été invités à collaborer au sein de leurs équipes à la rédaction d'un rapport de laboratoire collectif. En tant qu'équipe, ils ont été invités à procéder à une évaluation par les pairs de chaque rapport de laboratoire individuel (qui figurait dans le script original). Ils devaient ensuite comparer les rapports individuels. Une fois cette étape terminée, les étudiant·e·s ont été invités à rédiger un rapport de laboratoire collectif, en mettant l'accent sur l'amélioration de l'analyse et de l'interprétation des données sur la base des examens par les pairs, des discussions de groupe et de la rétroaction de l'enseignant. Les données de ce rapport de groupe pouvaient provenir de l'un de leurs ensembles de données individuels ou du tableau de données de l'enseignant, fourni dans le cadre de l'exercice myDALITE. Enfin, l'enseignant a fourni des lignes directrices et une grille d'évaluation modifiée, y compris une « liste de contrôle », afin d'encadrer davantage le processus d'évaluation du groupe par les pairs. Enfin, les étudiant·e·s ont été invités à réfléchir individuellement et à comparer leur propre rapport de laboratoire à celui produit par leur équipe. Tout au long du processus, l'enseignant a insisté, plus clairement qu'auparavant, sur le fait que les étudiant·e·s devaient utiliser ce rapport de laboratoire collectif, y compris sa rétroaction, comme « modèle » ou « gabarit » pour leurs rapports de laboratoire individuels finaux, qui complétaient le module 4.

La raison d'être de ce nouveau texte était d'étayer le processus impliqué dans l'interprétation des données. Plus précisément, il s'agissait de mettre en lumière les éléments suivants : ce que les étudiant·e·s devraient rechercher lorsqu'ils analysent et interprètent leurs données ; la façon dont les procédures utilisées pour recueillir leurs données affectent la capacité de tirer des conclusions, y compris la fiabilité des résultats et les niveaux de confiance et d'incertitude. Nous pensons que l'ajout de cette tâche au scénario était un étayage important car le rapport final du projet (M4) exigeait des étudiant·e·s qu'ils développent et mènent leur propre enquête indépendante (non guidée). Par conséquent, s'ils continuaient à ignorer les relations cruciales entre les trois éléments de la démarche scientifique (collecte des données, analyse des données et interprétation des résultats), leur laboratoire d'enquête final serait un devoir d'échec *improductif*.

Dans le module M3, nous avons remanié la séance de rétroaction de l'équipe, en supprimant certains aspects et en ajoutant une activité affinée. Après avoir terminé l'activité OSR, nous avons ajouté une activité de réflexion / un questionnaire en réponse à la confusion de certains étudiant·e·s avec les graphiques. Il y a une première partie individuelle, suivie d'une deuxième partie en équipe. On y trouve des exemples d'essais multiples et leurs raisons, des discussions sur les contraintes et les limites de l'équipement, des graphiques, des comparaisons, etc.

Dans le module 4, nous avons conçu les laboratoires comme deux sessions consécutives, réalisées sur deux semaines, ce qui leur a permis de réaliser des expériences dans les laboratoires traditionnels, plutôt que l'expérience prévue à la maison ; ce faisant, nous avons fourni aux étudiant·e·s une rétroaction plus immédiate et davantage de discussions entre pairs. Au cours de la première semaine, l'enseignant a fourni une rétroaction sur les rapports de laboratoire des groupes, leur rapport d'avancement et a répondu aux questions concernant les deux « réflexions/activités » précédentes. Au cours de la deuxième semaine, le professeur a ajouté l'activité et la réflexion « Feuille de travail sur la résonance des cordes et des tuyaux ». L'instruction était la suivante :

*« Dans cette activité, on vous fournit des données du "monde réel" (c'est-à-dire des données désordonnées qui peuvent être de même nature que celles que vous recueillerez chez vous). L'objectif de cette activité est de vous aider à développer et/ou améliorer vos compétences et connaissances procédurales et conceptuelles, dont vous aurez besoin pour réaliser 1) l'expérience liée à l'instrument de musique que vous mènerez chez vous, et 2) la construction de votre instrument de musique." Voir les commentaires que j'ai fournis dans mon "horaire de cours".*

Les dernières instructions données aux étudiant·e·s concernant l'activité de « construction d'un instrument de musique » leur demandaient de fournir des vidéos et/ou des photos afin de mieux comprendre leurs montages expérimentaux. Cette modification a été apportée afin de réduire les possibilités de tricherie et d'accroître le sentiment de fierté des étudiant·e·s à l'égard de la construction de l'instrument.

#### 4.7.1 Réflexions des enseignants itération finale

Le journal de l'enseignant rapporte que les instruments de musique produits lors de ce dernier cycle (cycle 3) étaient plutôt bons. Tous les étudiant·e·s ont produit un instrument qui répondait aux exigences, les notes étaient toutes audibles et la plupart avaient des liens clairs avec leurs expériences (rapport de laboratoire). Plus d'étudiant·e·s ont choisi de construire des instruments de musique avec le tuyau comme matériau que la corde. Le tuyau est un matériau plus facile car les variables sont plus faciles à identifier, ce qui permet d'expliquer plus facilement ce qui peut expliquer la variation de leurs résultats à la suite de ces variations - c'est-à-dire la fiabilité des conditions expérimentales. Cela pourrait également expliquer la qualité de leurs rapports de laboratoire, en général.

#### 4.7.2 Activité de collaboration et de création de sens

À l'automne 2022, en utilisant des méthodes ethnographiques avec un mélange de notes de terrain par les chercheur·e·s (groupes 2, 3 et 4) et d'enregistrements audio (groupes 1 et 5), nous avons documenté les étudiant·e·s alors qu'ils s'engageaient dans les activités graphiques qui ont été ajoutées au programme d'études du laboratoire par enquête. Ces documents permettent d'expliquer comment les étudiant·e·s ont compris la connexion des données et le rôle de l'activité dans l'étalement de la prise de conscience au cycle 3.

La nature de l'activité consistait à travailler avec des équations mathématiques, des graphiques et des techniques d'analyse de données pour explorer les relations et répondre aux questions posées. Les étudiant·e·s rassemblent de nombreux éléments. L'activité a été soigneusement conçue, mais l'intervention in situ de l'enseignant était manifestement nécessaire. Les groupes ont utilisé des ressources telles qu'internet, des outils en ligne (Desmos, une plateforme graphique en ligne, et Excel), et des ressources web comme WebWork pour les aider dans leur analyse. Chaque groupe a rencontré des difficultés ou des confusions au cours de son analyse et a demandé l'aide de l'enseignant pour clarifier les concepts ou résoudre les problèmes. Les groupes reconnaissent l'importance des connaissances antérieures et des expériences passées dans la résolution du problème actuel. Bien que les instructions aient été les mêmes, chaque groupe a commencé sa discussion différemment, en abordant un problème spécifique ou une question liée à l'instrument de musique qu'il avait choisi. L'examen de ces données révèle quelques tendances intéressantes. Les groupes se répartissent en deux catégories : ceux qui ont commencé par les contraintes et ceux qui ont commencé par le graphique. En bref, ceux qui ont commencé par le graphique et les spécificités du matériel ont essayé de traiter l'information en se concentrant sur le matériel et ses implications pour la tâche. Ils se sont concentrés sur des questions nettement différentes, ont donc rencontré des défis différents et ont utilisé des outils et des techniques différents dans leurs analyses respectives. Dans tous les cas, ils ont fait appel à l'enseignant pour les guider, ce qui leur a finalement permis d'obtenir des indications suffisantes pour générer leurs graphiques. Ceux qui ont commencé par des contraintes ont semblé avoir des conversations plus théoriques. Les groupes 1 et 2 sont représentatifs de la catégorie de conversations qui ont commencé par des contraintes, à la fois dans la mesure des données et dans le modèle théorique (par exemple, la vitesse des vagues est un paramètre du système et non l'inverse), ce qui est devenu la façon dont ils ont identifié les lacunes qui

devaient être résolues. Nous illustrons le type de réflexion collaborative qui s'est développée lorsque le groupe 2 s'est engagé dans cette activité.

### *Étude de cas sur l'élaboration de sens au sein d'un groupe*

La conversation du groupe 2 a commencé par des questions : « Comment déterminer la tension d'une corde ? Existe-t-il une équation que nous pouvons utiliser ? Si nous ne connaissons pas la masse, nous pourrions envisager d'acheter une corde de guitare. » Ils ont parlé des contraintes de la vie réelle liées à la réalisation de leur projet, par exemple comment mesurer la fréquence ? Ils se sont demandé si une application sur leur téléphone pouvait être utilisée à la maison à cette fin, c'est-à-dire une application de mesure de la fréquence. Ils ont poursuivi l'activité en discutant de la représentation graphique et de la détermination de la fréquence de résonance. Ils se sont demandé si «  $n$  » était seulement égal à 1 et ont décidé de chercher des informations sur Internet. À ce stade, l'enseignant est intervenu pour répondre à leurs questions sur l'identification de «  $n$  » pour un tuyau ouvert-ouvert, non sans transformer ses réponses en une conversation dialogique sur la façon dont les variables interagissent avec le nombre harmonique «  $n$  ». Le groupe a commencé à se souvenir de ses expériences précédentes en laboratoire et des relations qu'il avait observées entre «  $n$  », la fréquence ( $f$ ), la longueur ( $L$ ) et la vitesse de l'onde ( $v$ ). Pour tenter de confirmer que le graphique d'une activité précédente pouvait aider à répondre à leur question, un membre du groupe a récupéré une photographie du graphique réalisé lors d'une activité précédente, qui était stockée dans les albums de son téléphone. Cet artefact a convaincu le groupe qu'il était sur la bonne voie et il a poursuivi l'activité en se tournant vers l'application graphique Desmos pour explorer davantage les relations. Il est intéressant de noter que, lorsque le chercheur leur a posé la question, ils ont indiqué qu'ils trouvaient l'application plus facile à utiliser pour introduire des valeurs et examiner les fonctions, par rapport à l'utilisation d'Excel. Ils ont également mentionné qu'ils avaient utilisé Desmos dans leur cours de calcul. Alors que leur activité collaborative se poursuivait, les étudiant·e·s sont revenus sur l'utilisation d'Internet pour explorer les caractéristiques qui influencent la forme d'un graphique. Leur recherche les a amenés à conclure que le graphique de la fréquence ( $f$ ) en fonction de la longueur ( $L$ ) n'est pas linéaire, mais que le graphique de la fréquence ( $f$ ) en fonction de  $1/\text{longueur}$  ( $1/L$ ) l'est. Ils se sont alors rendu compte qu'ils n'avaient pas formulé correctement leurs questions de recherche et ont pris conscience du fait que certaines relations ne peuvent pas être représentées directement sur un graphique. Un étudiant·e·s a proposé une nouvelle idée : *linéariser* ses données. Cela a ouvert un débat avec un autre étudiant·e qui s'est interrogé : « Pourquoi ' $L$ ' n'est pas linéaire et ' $1/L$ ' est linéaire ? » Le groupe a fait appel à l'enseignant pour discuter de ces idées plus en détail.

Cette conversation animée est un excellent exemple des différentes façons dont les concepts peuvent être explorés lorsque les groupes collaborent pour résoudre des problèmes et répondre aux questions qu'ils se posent. Cet exemple illustre la façon dont les concepts peuvent être construits à partir des étayages fournis par les connaissances antérieures et les artefacts réutilisables, ainsi que le rôle joué par les pairs dans l'identification des contradictions dans la logique du raisonnement du groupe - en agissant dans la zone de développement proximal. Il montre comment de nouveaux concepts (par exemple, la linéarisation) entrent dans une conversation et comment l'enseignant doit parfois démêler pourquoi les idées sont appropriées ou non - c'est-à-dire un étayage d'apprentissage juste à temps.

## 4.8 Résultats

« Les artefacts matériels portent des traces d'engagements épistémiques qui ne sont pas nécessairement visibles dans l'interaction. La réflexion peut éclairer les objectifs qui motivent les formes de participation et la manière dont les individus s'approprient les pratiques communautaires. En outre, la recherche devrait s'attacher à établir des liens entre ces trois sites. Par exemple, les travaux sur l'argumentation dans l'enseignement des sciences s'intéressent généralement soit aux arguments produits par les étudiant·e·s (artefacts), soit aux épisodes d'interaction argumentative (pratique), mais ils incluent rarement les réflexions des apprenants sur ces interactions ou artefacts pour comprendre comment ils perçoivent les objectifs de cette pratique ou les critères permettant

d'atteindre ces objectifs. Par conséquent, nous disposons de peu de données directes sur ce que Chinn et ses collègues (2011) appellent les objectifs et valeurs épistémiques que les étudiant·e·s poursuivent et sur la manière dont ces objectifs et valeurs influencent leur activité. »(Sandoval, 2014, p. 386).

Dans la dernière section, nous avons décrit les nombreux étayages conçus pour impliquer les étudiant·e·s dans le programme d'études du laboratoire par enquête et leur évolution au cours des trois cycles de l'étude ROC. Dans certains cas, les étayages étaient des artefacts qui soutenaient les étudiant·e·s dans leur réflexion et leur compréhension, dans d'autres cas, l'étayage produisait des artefacts générés par les étudiant·e·s qui permettaient de « retracer leurs engagements épistémiques ». Cela nous permet d'évaluer l'efficacité de l'intervention laboratoire par enquête et des étayages associés. Dans cette section des résultats, nous montrerons les analyses de ces artefacts, la progression des changements et la qualité des changements par rapport au cycle de mise en œuvre du laboratoire par enquête.

#### 4.8.1 Rapports de laboratoire (artefact) et la démarche scientifique (pratique)

Les rapports de laboratoire sont un moyen typique de communiquer les résultats de la démarche scientifique. Ces artefacts intègrent les pratiques culturelles de la science dans un cadre normatif qui représente les principes fondamentaux de la science, notamment la fiabilité et la validité des méthodes utilisées pour collecter et analyser les données, ainsi que la justification des affirmations faites. En bref, ils décrivent comment l'affirmation est légitime et comment les modèles et les théories sont confirmés ou réfutés. En examinant les rapports de laboratoire des étudiant·e·s, nous déduisons leur capacité à s'engager dans la réflexion associée à cette pratique scientifique ; ils constituent donc une approximation pour évaluer les niveaux de compréhension et déterminer s'ils ont changé ou non au cours des mises en œuvre.

Les rapports de laboratoire produits par les étudiant·e·s à l'automne 2022, la dernière itération, étaient meilleurs que ceux des semestres précédents, comme le montrent les notes obtenues (voir la figure 4.12). En résumé, leurs questions de recherche étaient généralement bien rédigées, les méthodes proposées pour y répondre étaient claires, leurs données étaient rapportées et analysées de manière appropriée, ils expliquaient comment leurs expériences étaient liées aux décisions prises lors de la conception de leurs instruments de musique et, surtout, leurs graphiques présentaient des lignes de tendance/courbes correctes. Les diagrammes en boîte montrent les différences entre les cohortes, en particulier celles du cycle 3. Les étudiant·e·s de cette cohorte étaient plus cohérents et plus nombreux à effectuer les tâches associées au module final (M4) à un niveau étudiant·e. Un test t de variance inégale à deux échantillons réalisé sur les notes des rapports de laboratoire finaux de F21 et F22 montre une petite différence statistiquement significative  $p=0,081$ ,  $p<0,1$ .

**Figure 4.12**

Comparaison des rapports de laboratoire finaux pour les cohortes d'étudiant·e·s dans les trois cycles de mise en œuvre du laboratoire par enquête F21, W22 et F22 ; les rapports sont notés sur une échelle de 60.



#### 4.8.2 Attribution d'un instrument de musique (artefact et pratique)

Il est intéressant de noter que davantage d'étudiant·e·s de la cohorte de l'automne 2022 ont choisi de fabriquer leurs instruments avec des matériaux à base de tuyaux par rapport aux cycles précédents (voir tableau 4.4). Nous pensons que cela a pu être l'un des facteurs facilitant les améliorations que nous avons observées.

Tableau 4.4

Choix du matériel pour l'instrument de musique au cours des trois cycles.

Matériau utilisé pour les instruments de musique	Automne 2021	Hiver 2022	<b>Automne 2022</b>
Sur la base d'un tuyau	13	11	21
Basé sur des chaînes de caractères	20	19	14
Pas de rapport	6	9	4

Nous avons comparé l'impact de l'amélioration de l'exactitude des graphiques sur la section de discussion du rapport de laboratoire final. En d'autres termes, les changements apportés entre l'automne 2021 et l'automne 2022 ont-ils non seulement aidé les étudiant·e·s à produire de meilleurs graphiques, mais aussi à mieux comprendre les concepts qu'ils apprennent dans le cadre du cours du CNJ. Plus précisément, nous avons demandé si le laboratoire par enquête aidait les étudiant·e·s à comprendre l'épistémologie de la science et ses principes clés de fiabilité et de validité. La première est démontrée dans la façon dont ils conçoivent les procédures dans les méthodes et dont ils interprètent leurs résultats, associés à la notion d'« erreur ». Rappelons que dans les démarches scientifiques, trois sources d'erreur sont généralement identifiées : Les maladresses sont typiquement des exemples d'inattention ; Les aléas sont causés par des fluctuations incontrôlables qui sont environnementales ou observationnelles ; et Les erreurs systématiques sont celles qui peuvent être environnementales, observationnelles, instrumentales ou théoriques (voir la figure 4.13, tirée de la page web de Caroline Monahan, téléchargée en août 2023. <https://www.exprii.com/t/types-of-error-overview-comparison-8112>).

Figure 4.13

Les trois sources d'erreur généralement identifiées dans les démarches scientifiques.



#### 4.8.3 Graphiques (artefact) et activités graphiques (pratique)

Lorsque nous comparons les capacités graphiques de cette cohorte à celles des cohortes précédentes (automne 2021 et hiver 2022), nous constatons une nette amélioration chez les étudiant·e·s de l'automne 2022 (voir tableau 4.5). Le pourcentage de ceux qui ont produit des graphiques de haute qualité est passé à 86 % (niveau A), contre 42 % à l'automne 2021 et 33 % à l'hiver 2022. Cette augmentation de plus de 40 % constitue une amélioration

significative. Un test t à échantillons indépendants bilatéraux a été réalisé pour comparer les deux cohortes, automne 2021 et automne 2022, et les résultats de l'analyse montrent une différence statistiquement significative entre ces deux cohortes : L'automne 2022 (M = 6,1, SD = 1,9) a obtenu de meilleurs résultats que l'automne 2021 (M = 4,9, SD = 2,2) ;  $t(37) = -1,83, p = 0,021$ . L'ampleur de l'effet (d de Cohen) était de -0,58, ce qui indique un effet moyen.

**Tableau 4.5**

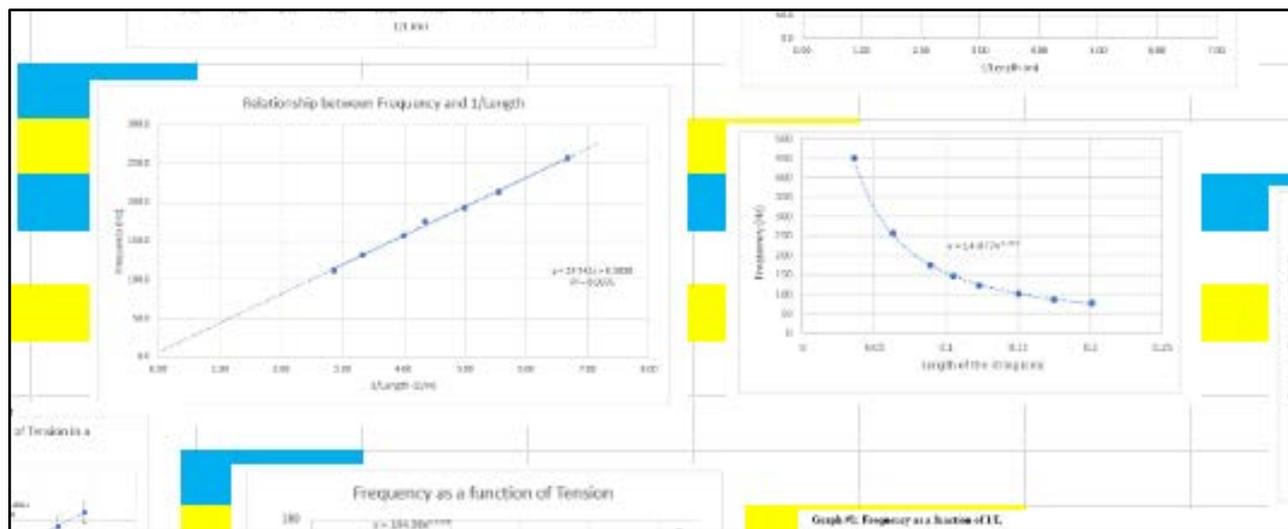
Les résultats de l'activité graphique, y compris les trois cycles.

Niveau d'évaluation	Automne 2021	Hiver 2022	Automne 2022
A	42%	33%	86%
B	9%	7%	9%
C	18%	7%	3%
D	6%	20%	0%
E	12%	17%	0%
F	3%	13%	3%
N/A	9%	3%	0%
Total	100%	100%	100%

Les résultats des cycles 1 et 2 des interventions laboratoire par enquête ont montré que les étudiant·e·s moyens avaient des difficultés à générer des graphiques avec des lignes de tendance correctes pour les données collectées (« relier les points »). Cette situation était préoccupante car elle signifiait qu'ils ne comprenaient pas comment valider le modèle ou qu'ils le faisaient de manière incorrecte. Toutefois, à l'automne 2022, la situation a changé. Les graphiques produits pour le module final (M4) montrent maintenant que les étudiant·e·s sont capables de fournir une quantité appropriée de données et de tracer les lignes de tendance correctes qui correspondent au modèle du OSR (voir la figure 4.14). Les deux graphiques sont corrects et renvoient tous deux à la même équation, le choix de la représentation dépendant du choix de l'axe des abscisses : « L » ou « 1/L », la fonction inverse. Ce faisant, ils ont démontré qu'ils comprenaient que l'inverse d'un graphique linéaire à pente positive n'est PAS un graphique linéaire à pente négative.

**Figure 4.14**

Exemple de graphiques typiques produits par des étudiant·e·s à l'automne 2022. Les deux sont corrects.



Il est intéressant de noter que beaucoup ont choisi des graphiques linéaires (par exemple,  $F$  vs  $1/L$ ) comme dans les exercices graphiques - ce qui les a amenés à utiliser la pente pour certaines analyses. La principale faiblesse identifiée lors de cette dernière itération reste la difficulté à rendre compte de « l'erreur » ou de « l'incertitude », qui est un concept clé. Nous développerons ce point dans la section discussion. Lorsque nous avons posé la question Pourquoi les étudiant·e·s auraient-ils choisi de représenter graphiquement l'un de ces graphiques plutôt que l'autre ? L'enseignant a expliqué que, d'après les conversations qu'il a eues avec ses étudiant·e·s, certains préfèrent représenter «  $f$  vs  $L$  » parce qu'ils ont en fait modifié «  $L$  » (la variable indépendante) et mesuré «  $f$  » (la variable dépendante). Cependant, la représentation graphique d'un graphique linéaire permet de tracer plus facilement des lignes de tendance max/min lorsque l'on souhaite incorporer des incertitudes ou une analyse d'erreur. Et le fait d'avoir une ordonnée à l'origine visible (en la voulant proche de zéro) peut également être souhaitable lorsque l'on souhaite incorporer des incertitudes / une analyse d'erreur. Il est intéressant de noter que les données suggèrent que certains étudiant·e·s ont continué à éprouver des difficultés à évaluer l'incertitude (et/ou l'analyse d'erreur) de telle sorte qu'ils n'étaient pas sûrs de pouvoir affirmer que les données correspondaient au modèle dans le cadre de l'incertitude, ou non.

#### 4.8.4 Études de cas individuelles des rapports de laboratoire

En identifiant des exemples de rapports de laboratoire pour démontrer ces idées, nous avons sélectionné quelques rapports exceptionnels et quelques rapports qui ont été notés dans la moyenne. Exemple de cas d'un étudiant·e exceptionnel, commençant par son graphique et l'analyse de ses données (voir la figure 4.15). Nous constatons qu'ils sont capables de concevoir une expérience afin de collecter des quantités suffisantes de données pour satisfaire aux critères de fiabilité (Fig. 4.15a). Leur graphique montre qu'ils ont compris comment représenter correctement les données, et qu'ils sont capables d'identifier clairement que la tendance est une fonction de puissance, ce qui décrit ces données et leur relation avec le modèle théorique testé (voir la figure 4.15b). Enfin, la section « Discussion » contient des déclarations claires sur les sources d'erreur dans leur expérience et les implications de l'incertitude (Fig. 4.15c).

#### Figure 4.15

Extrait d'un rapport de laboratoire produit par un étudiant lors de la mise en œuvre de l'automne 2022. Notez que le travail de cet étudiant·e·s est un exemple de rapport bien noté.

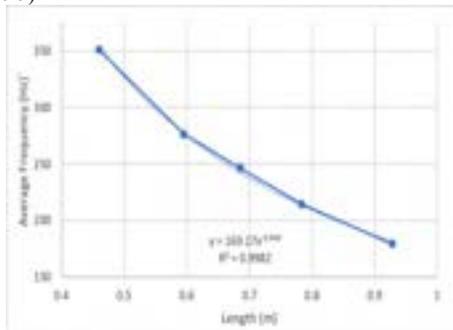
(Fig. 4.15a)

Table 2: Measuring frequency emitted by a pipe with different lengths while keeping the diameter constant (before end corrections)

Length (m)	Trial 1: Frequency Emitted (Hz)	Trial 2: Frequency Emitted (Hz)	Trial 3: Frequency Emitted (Hz)	Trial 4: Frequency Emitted (Hz)	Trial 5: Frequency Emitted (Hz)	Average Frequency Emitted (Hz)	Frequency Emitted Mean Deviation (sec)
0.928	180	179	176	181	180	179.2	1.36
0.793	216	212	214	216	215	214.6	1.28
0.685	248	242	248	246	249	246.6	2.08
0.595	275	276	277	273	280	276.2	1.84
0.460	352	355	346	353	349	351.0	2.80

-Diameter (constant): 0.0508 m  
 -Temperature (constant): 25°C  
 -Air pressure: 101.2 kPa

(Fig. 4.15b)



The research question was to determine the relationship governing the length of the pipe and the frequency emitted. From the data collected in *Table 2 and Table 3*, it is clear that the length of the pipe affects the frequency emitted. According to the data and the best fit curve, the relationship between the two appears to be that of an inversely proportional function ( $\frac{1}{x}$ ). Therefore, the best fit graph for the data is a power function. The power of the function in *Graph 2* is -0.996 ( $\sim -1$ ), which represents a inversely proportional function. This deduction is consistent with  $f = \frac{v\lambda}{2L}$  because by isolating for  $v/2$  (the slope of graph) you get  $\frac{fL}{n} = \frac{v}{2}$ .

(Fig. 4.15c)

I would say that the main objective of this experiment was met and that this experiment was a success and went smoothly. I say this because the results obtained appear to be very accurate and because a clear relationship between the length of the pipe can be determined from the data. Although the uncertainties are very small, I believe the sources of error can be attributed to factors outside of my control such as the humidity of the room I was in. It is said that the speed of sound increases proportionally with humidity (i.e. humidity increases so the speed of sound increases. [This is due to the fact that humid air is less dense than dry air and so makes it easier for medium to transport sound waves]. Of course, there is also instrument uncertainty, although those uncertainties are factored into the mean deviation of the frequency and thus do not count. Another potential source of error could be other noises near me that may have been detected and tampered with my measured frequencies.

#### 4.8.5 Développent l'autonomie et les compétences d'autorégulation

Au cours de la section des résultats de ce chapitre, nous avons établi les preuves matérielles des changements que nous avons observés dans les artefacts produits par les étudiant·e·s à la fois en termes de cycles de conception (automne 2021, hiver 2022, automne 2022) ainsi que du début du semestre à la fin du semestre. Dans cette dernière section des résultats, nous présentons des preuves des réflexions des étudiant·e·s sur leur expérience de l'approche laboratoire par enquête ainsi que sur le contenu qu'ils ont appris. Ce faisant, nous visons à révéler les objectifs qu'ils perçoivent et ce qui les a motivés à participer (Chinn et al., 2011 ; Sandoval, 2014).

Au cours de la mise en œuvre de l'automne 2022, nous avons interrogé les étudiant·e·s à plusieurs reprises. La première enquête visait à évaluer dans quelle mesure les étayages de l'exercice myDALITE (réalisé entre les expériences sur le bloc-ressort et le pendule) et le premier rapport de laboratoire avaient réussi à donner aux étudiant·e·s un sentiment de confiance. Vingt-cinq étudiant·e·s ont répondu à cette enquête. Voici les résultats.

Les étudiant·e·s ont réagi très positivement aux étayages que nous avons préparés sous la forme de questions myDALITE et du premier rapport de laboratoire. Pour la moitié des 14 questions, ils ont répondu avec un niveau de confiance élevé. Plus de 50 % d'entre eux ont déclaré avoir acquis un niveau de confiance élevé dans les tâches suivantes : préparer leurs procédures, savoir comment évaluer la qualité de leurs données, identifier les erreurs dans la collecte des données. Interrogés sur leur niveau de confiance dans la rédaction de leurs rapports de laboratoire, la majorité d'entre eux ont à nouveau déclaré avoir acquis un niveau de confiance élevé pour accomplir les tâches suivantes : mise en forme des tableaux et des graphiques, utilisation des supports du rapport de laboratoire (lignes directrices, liste de contrôle, grille d'évaluation), et qualité des données collectées. Exceptionnellement, le plus grand nombre d'étudiant·e·s (76 %) ont ressenti un niveau de confiance élevé dans la description de leur

procédure/méthode. En revanche, la tâche pour laquelle un tiers des étudiant·e·s (36 %) ont fait état d'un faible niveau de confiance est l'évaluation et le calcul des incertitudes (dans la section sur l'analyse des données). Cela confirme les résultats que nous avons observés en ce qui concerne leurs capacités.

Quatre-vingt pour cent ont estimé avoir collecté suffisamment de données pour répondre à leur question de recherche, 20 % n'ont pas eu cette impression. Bien que la grande majorité (80 %) estime avoir collecté suffisamment de données, les personnes interrogées ont indiqué des moyens d'améliorer leur collecte de données.

*Si je devais refaire l'expérience, j'aurais collecté les données de manière plus organisée. J'aurais également réfléchi aux sources d'erreur qui auraient pu interférer avec les données obtenues. Je pense que si j'avais prêté plus d'attention à ces facteurs, les données auraient été mieux organisées. Par conséquent, elles auraient été plus attrayantes.*

Une autre observation qui démontre un niveau de sophistication est un commentaire sur le déplacement angulaire. Ce commentaire montre que les étudiant·e·s commencent également à interpréter leurs données et à les relier au modèle. Dans ces exemples, les étudiant·e·s montrent qu'ils reconnaissent que les données ne correspondent pas au modèle, mais qu'ils pourraient s'adapter s'ils changeaient d'angle.

*Si je pouvais refaire l'expérience, j'aurais choisi des angles inférieurs à 15 degrés de sorte que le pendule soit considéré comme étant en mouvement harmonique simple. Cela aurait simplifié les calculs et l'analyse des données. Cela m'aurait également permis d'être plus confiant dans mon hypothèse et dans les conclusions que j'ai tirées.*

*Je réaliserais l'expérience avec davantage de déplacements angulaires et de longueurs, car plus de points de données signifient des résultats plus précis.  
- J'aurais utilisé une règle plus précise pour mesurer la longueur du pendule afin que mon incertitude soit plus faible.*

Lorsqu'on leur a demandé de réfléchir de cette manière, leurs commentaires montrent un niveau élevé d'autoréflexion, ce qui correspond à ce que nous espérons développer. Ce type de commentaires montre que le programme d'études du laboratoire par enquête favorise le développement de la capacité d'auto-réflexion des étudiant·e·s. Il s'agit d'une caractéristique importante de l'enseignement basé sur la recherche, qui repose sur le développement de l'autorégulation et de l'autonomie.

*Je pense que les données collectées pour la première partie de l'expérience étaient suffisantes pour répondre à la question de savoir si la période était indépendante du déplacement angulaire ou non, puisque nous avons fait un graphique avec les données et que la pente était proche de 0. Cela signifie qu'il n'y a pas de lien entre la période et le déplacement angulaire. Pour la deuxième partie, j'aurais collecté plus de points de données pour conclure la relation entre la période et la longueur de la corde.*

#### 4.8.6 Résultats des itérations ROC et des études de cas

L'examen global des changements apportés à la LBI est présenté dans la figure 4.16. Le cycle 1 a révélé des difficultés dans la compréhension par les étudiant·e·s d'aspects spécifiques de la création de sens associés à la conception et à l'analyse des données dans le cadre d'une enquête scientifique. Ces difficultés ont été identifiées dans les graphiques produits par les étudiant·e·s pour les fiches de laboratoire et les rapports de laboratoire dans les modules du programme d'études du laboratoire par enquête. En collaboration avec l'enseignant, l'équipe de conception a remédié à ces lacunes en ajoutant, au cycle 2, des étayages destinés à accroître les capacités des étudiant·e·s sur ces sujets. Les modifications apportées aux étayages n'ont pas été suffisantes pour combler cette lacune et d'autres étayages ont été ajoutés au cycle 3. Cette version finale du programme d'études du laboratoire par enquête a fait une différence qui s'est traduite par une différence statistique avec une augmentation de la capacité des étudiant·e·s à produire des graphiques corrects des données. Quatre étayages supplémentaires ont été

ajoutés à la conception de l'intervention laboratoire par enquête qui a été mise en œuvre en F2022. Deux étayages ont été ajoutés au module 3, un étayage a été ajouté aux modules 2 et 4, et aucun au module 1. Chacun des étayages impliquait l'engagement métacognitif des étudiant·e·s dans des réflexions sur certains aspects de la prise de décision laboratoire par enquête.

#### 4.8.7 Résultats des questionnaire : La crème glacée de George

Il est intéressant de noter que dans ce laboratoire par enquête, la comparaison des réponses des étudiant·e·s au questionnaire GIC a montré qu'ils/elles ont acquis une meilleure compréhension de la démarche scientifique au fur et à mesure que le semestre avançait. Cependant, par rapport aux étudiant·e·s suivant un enseignement traditionnel en laboratoire, il n'y a pas de différence statistiquement significative (voir chapitre 3). Cela dit, la LDA laisse entrevoir une compréhension plus profonde qui s'apparente davantage à celle des expert·e·s.

### 4.9 Discussion

Avec l'intérêt croissant pour l'adoption du laboratoire par enquête dans l'enseignement supérieur, il est urgent de mieux comprendre l'élément clé des approches d'enquête guidée, c'est-à-dire la manière d'échafauder et ce qui a besoin d'être échafaudé. Il est intéressant de noter que les approches d'enquête révèlent des lacunes dans les connaissances et les compétences des apprenants qui ne sont parfois pas identifiées ou considérées comme allant de soi dans l'enseignement traditionnel. En bref, en concevant un enseignement qui exige des étudiant·e·s qu'ils prennent des décisions, nous sommes en mesure de voir plus clairement ce qui est nécessaire pour s'engager avec succès dans une activité et quelles sont les lacunes dans les connaissances et/ou les compétences qui entravent la capacité à s'engager pleinement.

Notre intervention ROC de deux ans impliquant des praticiens de l'enseignement secondaire et des démarches scientifiques de l'apprentissage a utilisé une approche de co-conception pour explorer un programme des laboratoires par enquête qui est informé par deux approches pédagogiques, l'apprentissage par problèmes (APP) et l'apprentissage par la conception (APC). Ces deux approches sont des exemples de pédagogies qui fondent leur conception sur des théories socio-constructivistes qui privilégient les éléments suivants : l'apprentissage en situation, le travail en petits groupes et la collaboration, la théorie de l'apprentissage cognitif qui implique la modélisation, l'accompagnement et l'étayage de l'apprentissage. Dans l'ensemble, ces pédagogies s'appuient sur une philosophie de conception d'activités qui placent les étudiant·e·s dans une zone de développement proximal, qui s'appuient sur des étayages, y compris des pairs, pour faciliter l'accomplissement de tâches qui sont temporairement en dehors des capacités des apprenants. Ainsi, pour comprendre comment concevoir un enseignement qui utilise une approche laboratoire par enquête, il faut comprendre ce qu'il faut échafauder, comment échafauder et pendant combien de temps. Afin d'explorer ces questions, nous avons utilisé une approche de recherche orientée par la conception (ROC) qui nous a permis d'examiner trois mises en œuvre de cette version spécifique du laboratoire par enquête. En tant que méthode, la ROC a permis d'évaluer l'apprentissage des étudiant·e·s à chaque cycle et de procéder à des ajustements en fonction des faiblesses identifiées de l'enseignement afin de favoriser le développement des compétences et des connaissances requises. Notre étude de deux ans nous a permis de mieux comprendre comment concevoir un programme d'études laboratoire par enquête pour le cours de physique des ondes et de la physique moderne, enseigné au niveau collégial au Québec. Ces résultats spécifiques suggèrent certains principes de conception qui, selon nous, peuvent s'appliquer à la conception d'autres composantes de cours du laboratoire par enquête. Nous résumons ensuite nos résultats spécifiques et suggérons des lignes directrices générales en matière de conception.

**Figure 4.16**

Vue d'ensemble de l'étude de recherche orientée par la conception du programme d'études du laboratoire par enquête sur trois ans, par semaine, activité et étayages.

	Timeline	Semester	F21	W22	F22	Scaffolds			Instruments
	(Roughly)	IBL with Musical Instrument, Trial #	1	2	3	Activity	Artefact	Process scaffolded	
	Week 1	Day 1 - GIC & TESB	Y	Y	Y				TESB & GIC
MODULE 1	Week 1	SHM 1 - Hypothesis	N	Y	Y		Hypothesis		
	Week 2	SHM 2 - Methods	Y	Y	Y	produce Methods	Methods	decision making	
	Week 3	SHM 3 - Do lab, collect/analyze data, answer RQs	Y	Y	Y	data collection	Lab Sheet	decision making	
	Week 3	myDALITE reflection - SHM research questions data and analysis for block spring (& pendulum RQ and methods)	Y	Y	Y	myD Reflect	myD Reflect	sense making	
MODULE 2	Week 4	SHM 4 - Pendulum (Do lab, collect/analyze data, answer RQs)	Y	Y	Y	data collection	Lab Sheet	decision making	
	Week 4	myDALITE based Georges Ice-Cream assignment/reflection	Y	Y	Y	data collection	myD Reflect	sense making data analysis	
	Week 5	GIC immediate post-test (Steve's Strings, and later, Karl's Peaches)	Y	Y	Y	data collection			GIC
	Week 5	Pendulum Lab Report, v1 IND (presented on wk 5, due wk 7)	Y	Y	Y+		Lab Report (individual)	sense making data analysis	
	Week 7	Pendulum Lab Report, v1 IND - SURVEY / REFLECTION	N	N	Y	data analysis	Lab report		
	Week 7	Pendulum Lab Report, peer review	Y	Y	Y	Peer Review			
	Week 7	Pendulum Lab Report, v2 TEAM (presented on wk 7, due wk 9)	Y	Y	Y		Lab Report		
	Week 8	Pendulum Lab Report, v3 IND / Reflection (presented on wk 9, due wk 10)	N	N	Y		Lab Report		
	Week 8	Test 1 question (about lab/graphing)	Y	N	N				Test Q
MODULE 3	Week 7	RSW (strings and pipes) 1 - Methods	Y	Y	Y		Methods		
	Week 9	RSW (strings and pipes) 2 - Do lab, collect/analyze data, answer RQs	Y	Y	Y		Lab Sheet		
	Week 9	RSW - lab activities student feedback questionnaire	Y	Y	N		Reflect		
	Week 9	RSW - student feedback questionnaire, IND SURVEY / REFLECTION followed by TEAM Graphing Activity	N	N	Y		Reflect		
	Week 9	RSW - previous lab example to show	N	N	Y		Reflect		
MODULE 4	Week 8	"Musical Instrument" activity - Present project and provide all logistics	Y	Y	Y		-		
	Week 11	"Musical Instrument" activity - Progress Report	N	Y	Y		Prog Rep		
	Week 11	"Musical Instrument" activity - Team feedback AND free time for brainstorming, experimentation, etc.	Y	Y	Y		-		
	Week 12	"Strings and Pipes Resonance Worksheet" Activity	N	N	Y		Reflect		
	Week 14	"Musical Instrument" activity - Individual Lab Report (includes videos and/or photos)	Y	Y	Y		Lab Report		
	Week 15	"Musical Instrument" activity - Present musical instrument to class (either live or present a video)	Y	Y	Y		Instrument		
	Week 15	"Musical Instrument" activity - Instrument Specification Sheet	Y	Y	Y		Spec Sheet		
	Week 15	"Musical Instrument" activity - Peer and Self Assessments and Learning Reflection	Y	Y	Y				Assessment & Reflect
	Week 16	Week 15 - GIC followup / delayed post-test & TESB	Y	Y	Y				TESB & GIC
	Week 16	Liz and Chao conduct student interviews	Y	Y	Y				

Notre ROC a utilisé des méthodes mixtes pour collecter les données qui nous ont permis d'examiner et d'évaluer l'efficacité de la conception du laboratoire par enquête, en déterminant spécifiquement le niveau d'étayage nécessaire. La collecte des données comprenait : les artefacts générés par les quatre modules, en particulier les rapports de laboratoire produits pour M2 et M4 qui comprenaient des activités graphiques ; les questionnaires qui demandaient aux étudiant·e·s de réfléchir à ce qu'ils apprenaient et leur demandaient de réfléchir à ce qu'ils amélioreraient (planification) ; les réflexions des enseignants ; les observations en classe ; et les évaluations des connaissances (pré-test, post-test immédiat, post-test différé), sur lesquelles nous nous étendons dans un autre chapitre. Nous utilisons l'activité graphique comme un indicateur qui nous permet d'évaluer si les étudiant·e·s comprennent comment effectuer l'analyse des données qu'ils recueillent lors de la démarche scientifique et s'ils comprennent la relation entre les variables qu'ils ont utilisées dans l'expérience et les modèles théoriques testés. Nous avons également utilisé le rapport de laboratoire lui-même comme preuve de la compréhension par les étudiant·e·s de l'épistémologie de la science et du principe clé de la fiabilité, ainsi que de son lien avec l'identification des sources d'erreur.

Conformément à la méthodologie de la ROC, nous avons considéré chaque cycle comme une étude de cas et nous avons expliqué comment l'analyse et les résultats de chaque cycle ont été utilisés pour améliorer la conception du programme d'études laboratoire par enquête suivant. À l'issue du troisième cycle, nous avons effectué une comparaison transversale qui nous a permis d'examiner l'impact des changements apportés au programme d'études sur l'apprentissage des étudiant·e·s. Ce faisant, nous avons été en mesure de rendre compte systématiquement des changements intervenus dans la capacité des étudiant·e·s à prendre des décisions et à utiliser les processus de la démarche scientifique (conceptuels et procéduraux).

La science fondée sur l'enquête a établi la valeur de l'encouragement des étudiant·e·s à s'engager dans les pratiques de la démarche scientifique - c'est-à-dire la mise en place d'une expérience, le contrôle des variables, l'établissement de la fiabilité et de la validité, et l'analyse des données (Hmelo-Silver et al., 2007). Les enquêtes et les entretiens menés dans le cadre de ce ROC de deux ans montrent que les étudiant·e·s sont clairement enthousiastes à l'égard de l'approche laboratoire par enquête, qu'ils préfèrent aux laboratoires traditionnels. Cependant, dans l'enseignement supérieur, nos laboratoires doivent faire plus que susciter l'intérêt des étudiant·e·s, ils doivent soutenir l'apprentissage des concepts et des processus scientifiques. Dans les deux premiers cycles (F2021, W2022), tous les étudiant·e·s (100 %) ont déclaré dans une enquête post-instruction que cette forme d'enseignement les avait aidés à apprendre la physique ; cependant, l'approche n'a pas modifié de manière significative les notes des rapports de laboratoire des cohortes par rapport aux cohortes de laboratoires traditionnels.

Plus précisément, notre analyse a identifié un concept pivot qui sous-tend l'apprentissage dans ce programme et révèle les connaissances et les compétences des étudiant·e·s en matière de la démarche scientifique (fiabilité et validité, et test de modèles abstraits par rapport à des données réelles) et de compréhension de la physique du cours (MHS et OSR). En outre, notre analyse a identifié les graphiques et les activités graphiques des étudiant·e·s comme l'indicateur qui nous a permis d'évaluer le développement de ce concept pivot. Il est largement reconnu que la représentation graphique est un outil puissant dans l'apprentissage des sciences, et de la physique en particulier (par exemple, Holmes, date), car elle permet à l'étudiant de comparer visuellement le modèle et les données et de révéler les « progrès » à la fois avec le modèle et avec les mesures des données. Le graphique sert donc d'artefact médiateur entre la théorie et les modèles de données. En outre, il est essentiel de choisir une représentation graphique significative qui éclaire efficacement la relation sous-jacente étudiée, par exemple une relation inverse est difficile à interpréter sur un graphique linéaire. Si les étudiant·e·s ne parviennent pas à « relier ces points », ils risquent d'avoir du mal à créer un graphique de leurs données qui permette l'analyse. Bien que Holmes aborde quelque peu cette question, il reste l'hypothèse sous-jacente que les étudiant·e·s de première année d'université possèdent une compréhension suffisamment complète des modèles pour pouvoir interpréter et analyser efficacement les données dans un cadre théorique cohérent. Ce qui reste inconnu, c'est la façon dont les étudiant·e·s à un stade de développement plus précoce répondent à de telles tâches, c'est-à-dire les étudiant·e·s de niveau collégial (12e année et première année d'université).

En ce qui concerne les connaissances et les compétences qui doivent être renforcées, il est important de noter que l'utilisation de représentations graphiques pour donner un sens aux données est une compétence essentielle que l'étudiant en physique de premier cycle doit acquérir dans le cadre de son travail en laboratoire. Au début, les données sont généralement modélisées par des relations proportionnelles et/ou linéaires dans lesquelles les paramètres (pente et ordonnée) ont une signification physique. Dans les cours ultérieurs, les relations étudiées sont souvent de nature non linéaire. Le fait qu'il s'agisse d'un défi pour de nombreux étudiant·e·s peut être compris à travers le prisme de la théorie de la classe de coordination (diSessa & Sherin, 1998) : pour donner un sens aux données non linéaires, les étudiant·e·s doivent adapter leurs *stratégies de lecture* afin de concentrer leur attention sur la présence et la nature (loi de puissance, exponentielle) de la non-linéarité, et étendre leurs réseaux de causalité afin d'intégrer les compétences analytiques appropriées au cas en question. Ainsi, la transition entre l'analyse linéaire et l'analyse non linéaire partage certaines des difficultés liées à l'élaboration de nouveaux concepts, ce qui relève souvent du changement conceptuel. Cela ouvre la voie à de nouvelles exigences pour la conception d'étayages laboratoire par enquête et a contribué à orienter l'objectif de cette étude.

Pour soutenir la réflexion et l'engagement des étudiant·e·s dans ces éléments de laboratoire, nous avons développé des outils et des ressources, y compris des étayages et une culture de la réflexion sur la réutilisation des artefacts. Grâce à la conception itérative et à la réflexion, nous avons identifié une lacune dans la capacité des étudiant·e·s à construire des graphiques significatifs à partir de leurs données, puis à relier leurs données à la théorie pertinente. Pour remédier à ce problème, nous avons introduit deux nouvelles activités dans la cohorte 2, ce qui a permis de comparer les graphiques de leurs rapports de laboratoire finaux avec ceux de la cohorte 1, tout en développant simultanément une série d'étayages pour soutenir la construction de sens et l'argumentation des étudiant·e·s, en particulier dans le contexte de la création de graphiques. Ces étayages se sont avérés particulièrement efficaces pour aider les étudiant·e·s peu préparés à tracer correctement des graphiques dans le cadre de leur projet de cours, la *construction d'un instrument de musique*.

Les laboratoires basés sur des enquêtes, en particulier, s'appuient fortement sur les graphiques pour faciliter la création de sens en raison de leur nature ouverte. Il s'agit d'identifier les variables indépendantes et dépendantes, de sélectionner les données appropriées à tracer avec des incertitudes et de choisir le meilleur ajustement. Grâce à ce processus, les étudiant·e·s combinent des connaissances théoriques avec des données empiriques pour créer un artefact médiateur, le graphique, qui éclaire à la fois les phénomènes étudiés et les conditions expérimentales qui ont produit les données.

## 4.10 Conclusion

En conclusion, notre étude a confirmé que si les connaissances pédagogiques sont nécessaires aux équipes de conception, elles ne sont pas suffisantes. Notre équipe laboratoire par enquête avait également besoin d'une compréhension approfondie du contenu, c'est-à-dire d'une connaissance du contenu et d'une compréhension de l'interprétation des concepts clés du sujet sur lequel vous travaillez. Cela est d'autant plus important dans le cadre d'un enseignement basé sur l'enquête, car une grande partie du travail demandé aux étudiant·e·s dépend des tâches qu'on leur demande d'accomplir.

L'utilisation d'un personnage nommé « George », dans le questionnaire la crème glacée de George, comme moyen d'aider les étudiant·e·s à comprendre la conception expérimentale a fait l'objet d'une discussion. Bien qu'aucune recherche formelle n'ait été menée, nous avons remarqué que lorsque les étudiant·e·s avaient du mal à gérer plusieurs variables dans leurs expériences, ils étaient encouragés à se demander « ce qui n'allait pas avec George ». Cette phrase est devenue une plaisanterie courante dans la classe et a aidé les étudiant·e·s à reconnaître les pièges courants dans leur conception expérimentale. Il a été suggéré que l'utilisation d'un personnage comme élément cognitif est un moyen efficace de transmettre des idées complexes, en permettant de les nommer et d'en discuter facilement. Le fait de nommer une idée de cette manière permet de créer une compréhension partagée et un sentiment de communauté au sein de la classe.

La compréhension de la conception expérimentale dans les laboratoires de physique n'implique pas seulement la mise en place des expériences, mais aussi la compréhension de la signification des données collectées. Cette compréhension est considérée comme la pierre angulaire des expériences menées. La capacité à relier les points au-delà du simple tracé des données, mais à reconnaître les implications, comme mentionné précédemment, est cruciale. Bien que les étudiant·e·s soient capables de réaliser les expériences, la représentation graphique des données reste un problème. La capacité à raisonner avec la démarche scientifiquement pourrait être améliorée, mais dans l'ensemble, la compréhension par les étudiant·e·s de la conception expérimentale, via la crème glacée de George, a été jugée suffisante. Cependant, les difficultés rencontrées par les étudiant·e·s pour représenter les données sous forme de graphiques démontrent l'importance de cette compétence dans les laboratoires de physique actuels.

Le succès d'un professeur de physique n'implique pas seulement la mise en place de plans d'expérience et la conduite de laboratoires, mais aussi la capacité à transmettre la signification des données collectées. Selon l'auteur, il s'agit là de la pierre angulaire du programme d'enseignement de la physique. En plus des graphiques, une activité spécifique a été introduite dans la cohorte 3, visant à aider les étudiant·e·s à s'entraîner à l'analyse et à l'interprétation des données. Cette activité n'était pas présente dans les cohortes précédentes, mais elle s'est avérée efficace pour améliorer les performances des étudiant·e·s. Les données suggèrent que même les étudiant·e·s les plus faibles ont été en mesure de terminer avec succès l'activité de représentation graphique à la fin du cours. L'auteur attribue ce succès à une approche pédagogique unique qui encourage les étudiant·e·s à considérer leurs artefacts comme utiles et dignes d'être analysés. Cette approche peut être considérée comme une sauce spéciale qui distingue ce programme de physique des autres.

Dans cette étude, les chercheur·e·s ont identifié plusieurs sous-pratiques que les enseignants mettaient en œuvre à la fois au sein du laboratoire et dans le cadre des cours magistraux associés. L'une de ces sous-pratiques consistait à encourager les étudiant·e·s à documenter leur travail et à en prendre note, ce qui permettait la réflexion et la réutilisation. Les chercheur·e·s affirment que cette pratique de valorisation des artefacts des étudiant·e·s a permis d'établir un ensemble de pratiques incluant la réutilisation des artefacts à différentes fins. La culture de réflexion et de réutilisation de l'enseignant est considérée comme « la sauce secrète » qui permet aux étudiant·e·s de reconnaître les artefacts comme des ressources et de les utiliser dans des activités ultérieures. Les chercheur·e·s ont noté que pour amener les étudiant·e·s à s'engager dans une activité de représentation graphique, les enseignants devaient non seulement concevoir l'activité en tenant compte du défi à relever, mais aussi prendre en considération les ressources créées par chacune de leurs activités. De cette manière, les artefacts créés ont servi d'étayage pour les activités suivantes, et la culture de réflexion et de réutilisation de l'enseignant a été la clé de cette réussite.

## 4.11 Références (chapitre quatre)

- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research?. *Educational researcher*, 41(1), 16-25.
- Aulls, M. W., & Shore, B. M. (2008). *Inquiry in Education: Overcoming barriers to successful implementation* (Vol. 2). Routledge.
- Ausubel, D.P. (1978). In defense of advance organizer, a reply to critics, Retrieved from ERIC.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science education*, 94(4), 577-616. DOI 10.1002/sc.20390
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational psychologist*, 26(3-4), 369-398.

- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1995). Situated cognition and the culture of learning. Subject learning in the primary curriculum: Issues in English, science and mathematics. 301-319.
- Caroline Monahan (August, 2023). Types of error – Overview & comparison. <https://www.expii.com/t/types-of-error-overview-comparison-8112>).
- Cassidy, R., Charles, E. S., & Slotta, J. D. (2019). Active learning: Theoretical perspectives, empirical studies, and design profiles. *Frontiers in ICT*, 6, 3.
- Charles, E. S., Lasry, N., Whittaker, C., Dugdale, M., Lenton, K., Bhatnagar, S., & Guillemette, J. (2015). Beyond and Within Classroom Walls: Designing Principled Pedagogical Tools for Student and Faculty Uptake. International Society of the Learning Sciences, Inc.[ISLS].
- Charles, E. S., Lasry, N., Bhatnagar, S., Adams, R., Lenton, K., Brouillette, Y., ... & Jackson, P. (2019, May). Harnessing peer instruction in-and out-of class with myDALITE. In *Education and Training in Optics and Photonics* (p. 11143\_89). Optica Publishing Group.
- this one?Chinn, C. A., Buckland, L. A., & Samarapungavan, A. L. A. (2011). Expanding the dimensions of epistemic cognition: Arguments from philosophy and psychology. *Educational psychologist*, 46(3), 141-167.
- DiSessa, A. A., & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change?. *International journal of science education*, 20(10), 1155-1191.
- Doucette, D., Clark, R., & Singh, C. (2019). What's happening in traditional and inquiry-based introductory labs? An integrative analysis at a large research university. arXiv preprint arXiv:1911.01362.
- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of research in education*, 32(1), 268-291.
- Edelson, D. C., Gordin, D. N., & Pea, R. D. (1999). Addressing the challenges of inquiry-based learning through technology and curriculum design. *Journal of the learning sciences*, 8(3-4), 391-450.
- Espinosa, T., Miller, K., Araujo, I., & Mazur, E. (2019). Reducing the gender gap in students' physics self-efficacy in a team-and project-based introductory physics class. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010132.
- Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. E. (2010). Design and reflection help students develop scientific abilities: Learning in introductory physics laboratories. *The Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 54-98.
- Greeno, J. G. (1998). The situativity of knowing, learning, and research. *American psychologist*, 53(1), 5.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a response to Kirschner, Sweller, and. *Educational psychologist*, 42(2), 99–107.
- Holmes, N. (2015). Developing quantitative critical thinking in the introductory physics lab. In *Physics Education Research Conference*.
- Holmes, N. G., Olsen, J., Thomas, J. L., & Wieman, C. E. (2017). Value added or misattributed? A multi-institution study on the educational benefit of labs for reinforcing physics content. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 010129.
- Hutchins, E. (2000). Distributed cognition. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*. Elsevier Science, 138, 1-10.
- Kapur, M. (2016). Examining productive failure, productive success, unproductive failure, and unproductive success in learning. *Educational Psychologist*, 51(2), 289-299.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive science*, 12(1), 1-48.
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., Puntambekar, S., & Ryan, M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by design into practice. *The journal of the learning sciences*, 12(4), 495–547.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge university press.
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Review of educational research*, 86(3), 681-718.
- Lee, Y. (2008). Design participation tactics: the challenges and new roles for designers in the co-design process. *Co-design*, 4(1), 31-50.

- McDermott, L. C. (1995). *Physics by Inquiry: An Introduction to Physics and the Physical Sciences, Volume 2*. John Wiley & Sons.
- Metz, A. M. (2008). Teaching statistics in biology: using inquiry-based learning to strengthen understanding of statistical analysis in biology laboratory courses. *CBE—Life Sciences Education*, 7(3), 317-326.
- Nixon, R. S., Godfrey, T. J., Mayhew, N. T., & Wiegert, C. C. (2016). Undergraduate student construction and interpretation of graphs in physics lab activities. *Physical review physics education research*, 12(1), 010104.
- Odden, T. O. B., & Russ, R. S. (2018). Sensemaking epistemic game: A model of student sensemaking processes in introductory physics. *Physical Review Physics Education Research*, 14(2), 020122.
- Phage, I. B., Lemmer, M., & Hitge, M. (2017). Probing factors influencing students' graph comprehension regarding four operations in kinematics graphs. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 21(2), 200-210.
- Redish, E. F. (2004). A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking. *arXiv preprint physics/0411149*.
- Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in thinking: Cognitive development in social context*. Oxford university press.
- Roschelle, J., & Clancey, W. J. (1992). Learning as social and neural. *Educational Psychologist*, 27(4), 435-453.
- Salomon, G., & Perkins, D. N. (1998). Chapter 1: Individual and social aspects of learning. *Review of research in education*, 23(1), 1-24.
- Sandoval, W. (2014). Science education's need for a theory of epistemological development. *Science Education*, 98(3), 383-387.
- Stahl, G. (2006). *Group cognition computer support for building collaborative knowledge*.
- Puntambekar, S., & Hubscher, R. (2005). Tools for scaffolding students in a complex learning environment: What have we gained and what have we missed?. *Educational psychologist*, 40(1), 1-12.
- Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., et al. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, 13, 337–386.
- Vygotsky, L. S., & Cole, M. (1978). *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Harvard university press.
- Wood, D., Bruner, J.S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 17(2), 89–100. Medline doi:10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x

## CHAPITRE CINQ : Objectif 3

---

Ce chapitre présente le processus et les résultats d'une étude de cas qui a exploré l'impact d'une approche de laboratoire par enquête, assistée par des étayages spécifiques, mise en œuvre dans un cours d'introduction à la biologie, enseigné au niveau collégial. La conception du laboratoire par enquête s'éloignait de la conception traditionnelle d'un laboratoire d'investigation unique (Blanchard et al, 2010), et consistait plutôt en un programme semestriel de cinq modules de laboratoire, chacun développant des aspects spécifiques des connaissances et des compétences conceptuelles et procédurales, impliquées dans la démarche scientifique, et des concepts du cours biologie (NYA). Nous appelons cette approche le laboratoire par enquête un modèle de « *progression conceptuelle basée sur les ressources* ». Dans ce chapitre, nous décrivons le cadre théorique qui a guidé la conception de ce modèle, les méthodes et procédures de l'étude de cas et les résultats de la mise en œuvre sur l'apprentissage des étudiant·e·s (conceptuel et épistémique).

Ce chapitre poursuit la présentation des résultats de l'objectif 3, même que le chapitre 4 : mener une recherche orientée par la conception (ROC) pour explorer l'impact des étayages et leur rôle dans les laboratoires par enquête. Il répond aux questions de recherche (voir ci-dessous).

- Q3.a : Est-ce que l'apprentissage de la démarche scientifique peut être assuré lors de la mise en pratique d'une pédagogie utilisant les laboratoire par enquête ?
- Q3.b : Parmi les instances de la démarche scientifique sur lesquelles l'étayage peut porter dans un laboratoire par enquête (par exemple, sur la question de recherche à poser, sur la méthode à développer ou sur la façon d'analyser les résultats), sur laquelle ou lesquelles l'étayage constitue le meilleur support pour le développement de la démarche scientifique chez les étudiant·e·s (dans les sphères conceptuelle, procédurale et épistémologique) ?
- Q3.c : Comment le contexte (par exemple, en salle de classe ou au laboratoire) et le choix du moment dans la session pour la mise en œuvre de l'intervention d'étayage ont-ils un impact sur le développement de la démarche scientifique ?

### 5.1 Introduction

Le laboratoire par enquête a été associé à une plus grande autonomie dans la prise de décision (c'est-à-dire à un plus grand degré d'autonomie des étudiant·e·s) à des étapes spécifiques du processus de recherche scientifique (Blanchard et al., 2010 ; Buck et al., 2008). Plus précisément, le modèle typique se caractérise par une forte orientation de l'enseignant dans les premières étapes de la démarche scientifique, et permet à l'étudiant·e de prendre des décisions, d'être autonome ou d'agir, dans les étapes ultérieures du processus. Par exemple, les étudiant·e·s reçoivent généralement la question de recherche, l'hypothèse à tester, les méthodes de recherche et la manière d'analyser les données. Une fois le travail terminé, ils sont autorisés à prendre des décisions concernant l'interprétation des résultats et la discussion. À ce jour, la plupart des recherches théoriques et empiriques sur le laboratoire par enquête se sont basées sur des types d'implémentations de laboratoires uniques (par exemple, Blanchard et al. 2010), avec peu de recherches sur l'impact des approches curriculaires globales, en ligne avec celles utilisées dans l'apprentissage par problème (Hmelo-Silver, 2004). Les études qui examinent l'impact du laboratoire par enquête en tant que séquence de laboratoires, suivent généralement un modèle dans lequel les conseils de l'enseignant sont donnés progressivement, d'un laboratoire à l'autre - c'est-à-dire dans l'ordre inverse de la démarche scientifique. Par exemple, si le premier laboratoire donne aux étudiant·e·s le pouvoir de prendre des décisions au stade de la discussion, le suivant donnera aux étudiant·e·s le pouvoir de prendre des décisions pour l'interprétation, ainsi que pour la discussion ; les laboratoires suivants donneront des conseils pour l'analyse des données, et ainsi de suite, jusqu'au dernier laboratoire, qui donnera aux étudiant·e·s l'entière responsabilité des cinq étapes du processus d'enquête scientifique.

Bien qu'un tel séquençage soit typique des modèles laboratoire par enquête, on peut dire qu'il simplifie à l'excès les processus de prise de décision impliqués dans la réalisation d'une enquête scientifique. Nous soutenons au contraire que la prise de décision à n'importe quelle étape du processus de recherche scientifique dépend des autres étapes, et qu'il ne s'agit donc pas d'une progression unidirectionnelle. En tant que telle, cette étude a pour but d'examiner comment nous pourrions concevoir un modèle laboratoire par enquête avec un modèle de progression qui permettrait aux étudiant·e·s de faire l'expérience de telles dépendances et de démontrer la nature dialogique de la progression de la création de sens.

En outre, la littérature ce modèle parle de la nécessité des étayages, mais elle n'examine pas de près les types d'étayages qui pourraient être nécessaires pour les différents types de prise de décision requis à ces différents stades de la méthode scientifique. Notre étude a relevé ce défi et se concentre sur la conception d'étayages explicites qui ont été intégrés dans l'intervention à plusieurs niveaux. Nous les décrivons ainsi que le processus de développement dans les sections suivantes.

### 5.1.1 Cadres conceptuels utilisés dans cette étude de cas

En plus d'explorer la littérature sur le laboratoire par enquête, cette étude de cas a utilisé trois principaux corpus de littérature comme base conceptuelle pour concevoir et mettre en œuvre notre modèle d'intervention. Dans la section ci-dessous, nous décrivons le modèle basé sur les ressources qui a servi de base à l'enchaînement des modules laboratoire par enquête, l'approche d'intégration des connaissances qui a servi de base aux étayages et aux scripts utilisés dans les modules et, enfin, les principes de la zone de développement proximal qui ont servi de base à la structure d'une activité principale, à savoir la réflexion sur les relations entre la partie et l'ensemble.

#### *Modèle basé sur les ressources*

Reddish et Hammer (2009) décrivent le modèle de construction des connaissances des étudiant·e·s basé sur les ressources comme une extension d'une citation du célèbre scientifique Einstein : « *L'ensemble de la science n'est rien d'autre qu'un raffinement de la pensée quotidienne* » (Reddish & Hammer, 2009, p. 2). Issu de la recherche sur l'enseignement de la physique, le modèle propose des moyens de comprendre comment les étudiant·e·s développent leur compréhension des concepts scientifiques connus pour être difficiles pour les apprenants novices - c'est-à-dire l'étude du *changement conceptuel* (citation). Le modèle considère la pensée conceptuelle comme un processus dynamique consistant à rassembler des éléments de connaissance qui n'ont pas de cadre cohérent clair, c'est-à-dire une théorie naïve ou une idée fautive (citation). S'appuyant sur les travaux d'Andy diSessa (citation) et son point de vue sur la « connaissance en morceaux », Hammer (2000) a introduit le modèle *basé sur les ressources* pour décrire le processus d'affinement de la pensée de bon sens en rassemblant des ressources épistémologiques lorsqu'il s'engage, ou se prépare à s'engager, dans un raisonnement cognitif et/ou métacognitif. En outre, ce modèle prend en compte les types de « cadrage » et d'instructions explicites qui peuvent être nécessaires pour aider les étudiant·e·s à utiliser leurs connaissances de manière appropriée afin de donner un sens aux phénomènes en question. Ils déclarent : « L'un des principaux objectifs de nos cours est de les aider [les étudiant·e·s] à encadrer l'apprentissage d'une autre manière, en exploitant des ressources épistémologiques productives pour réfléchir à la création de sens et à l'argumentation, pour comprendre la connaissance de la physique comme un système cohérent d'idées plutôt que comme une collection d'éléments d'information indépendants ». (Reddish & Hammer, 2009, p.3). Afin d'atteindre cet objectif, ces auteurs ont exploité plusieurs approches pédagogiques centrées sur l'étudiant, telles que l'enseignement par les pairs et les conférences/démos interactives ; et, surtout, ils suggèrent que le programme d'études inclue à la fois la création de sens et la réflexion comme cadres intentionnels de l'enseignement.

À ce jour, à l'exception de Brewe (2011) et de Samuelsson (2023), le modèle des ressources n'a pas été appliqué au laboratoire par enquête. Cette approche permet d'examiner les changements dans l'utilisation par les étudiant·e·s de ce qui est disponible et présenté dans un environnement d'apprentissage conçu. Nous postulons que certains types d'étayages, utilisés dans un environnement laboratoire par enquête, peuvent devenir le cadre permettant de répondre au besoin des étudiant·e·s d'appliquer leurs ressources conceptuelles à la prise de décision,

à la création de sens et à l'argumentation, et donc d'intégrer leurs connaissances dans un système épistémologique cohérent de la démarche scientifique. Nous apportons ce cadre à la littérature sur le laboratoire par enquête dans l'espoir de révéler les types de séquences possibles pour ces types d'enquête. La présente étude de cas propose donc ce cadre comme moyen de faire progresser notre compréhension de la conception et du soutien de l'enseignement du laboratoire par enquête.

### *Intégration des connaissances*

Des études dans le domaine de l'enseignement des sciences suggèrent que l'apprentissage de la démarche scientifique de nature conceptuelle nécessite l'examen de sa compréhension conceptuelle et de ses processus cognitifs - c'est-à-dire que la métacognition est un élément essentiel du raisonnement scientifique (par exemple, Kuhn, Amsel & O'Loughlin, 1988 ; Hennessey & Beeth, 1993). D'une manière générale, l'intégration des connaissances fait référence aux processus cognitifs et métacognitifs permettant d'affiner les structures conceptuelles d'une personne par le biais d'une activité délibérée et guidée (voir Ausubel, 1978 ; Novak, 2003 ; Novak & Gowin, 1984). Novak (2003) qualifie ce processus de *réconciliation intégrative*, qui implique des formes d'apprentissage significatives conduisant à la capacité de transférer les connaissances d'un contexte à l'autre. Des efforts ont été faits pour concevoir des environnements d'apprentissage qui favorisent l'intégration des connaissances. Le projet Web-based Inquiry Science Environment (WISE ; Linn, Clark & Slotta, 2003) est le plus remarquable. Les activités d'apprentissage de WISE proposent un modèle d'enseignement qui encourage les étudiant·e·s à affiner continuellement leur compréhension par le biais d'une séquence délibérée d'activités comprenant le tri, la mise en relation, le réexamen ainsi que d'autres processus cognitifs de haut niveau associés à la prise de décision et à l'amélioration des idées. La présente étude de cas a conçu la deuxième partie de son intervention sur la base de ce cadre, et s'est donc concentrée sur l'amélioration de la compréhension des concepts spécifiques de la démarche scientifique par les étudiant·e·s, ainsi que sur la mise en relation de leur travail avec le contexte plus large de l'ensemble du processus, c'est-à-dire la relation entre la partie et le tout. Ce dernier point est ancré dans la littérature plus large sur la cognition située (Brown, Collins & Duguid, 1989). Pour faciliter ce processus, nous avons intégré l'activité dans l'environnement OCLaRE, que nous décrivons ci-dessous.

### *Les étayages cognitifs en tant que zone de développement proximal*

La recherche nous informe que la métacognition est facilitée dans les environnements d'apprentissage (interventions pédagogiques) qui fournissent des étayages cognitifs. L'utilisation de questions structurées, de formes de dialogue et d'autres stratégies de méta-niveau favorise le développement de l'apprentissage autonome et d'autres compétences cognitives/métacognitives de haut niveau. Ce type de soutien relève de l'enseignement par étayage (Wood, Bruner & Ross, 1976) et est censé être renforcé lorsque l'on travaille dans une zone de développement proximal (Vygotsky, 1962). En bref, en s'engageant avec les autres dans le cadre de la co-construction des connaissances. Lorsqu'il n'est pas possible pour les autres de fournir l'étayage associé à la zone de développement proximal, on suppose que des modèles « idéalisés » pourraient servir de substituts pour soutenir le développement des capacités dont les apprenants ont besoin pour intégrer leur compréhension et progresser vers des explications normatives des phénomènes scientifiques. Selon, il peut être possible de concevoir des systèmes d'apprentissage qui sont « propices à l'observation des comportements et, par des processus conscients, à la fourniture de modèles positifs à imiter » (Hoover & Giambatista, 2009, p. 36 ; traduction libre). En outre, ils ont déclaré ce qui suit à propos de l'apprentissage vicariant :

« La pédagogie de l'apprentissage expérientiel vicariant peut être considérée comme une méthodologie d'éducation dans laquelle la structure et les expériences individuelles ou de groupe sont conçues pour développer les capacités d'apprentissage et de perception, pour développer et renforcer les cognitions [...] et, surtout, pour développer les capacités à se comporter de manière cohérente avec les connaissances de ces processus et expériences en concevant des systèmes d'apprentissage propices à l'observation des comportements et par des processus conscients de fourniture de modèles positifs pour l'imitation. » (Hoover & Giambatista, 2009 ; traduction libre)

OCLaRE (*Online, Collaborative Laboratory-Reporting Environment*) est une plateforme d'étayage, au niveau du cégep, pour l'analyse des données et la production de rapports de laboratoire cohérents. Les étudiant·e·s qui utilisent OCLaRE interagissent avec des modèles partiellement écrits pour compléter des rapports de laboratoire correctement formatés, en déplaçant l'objectif de la production du rapport de la gestion des données et du formatage vers le développement de la pensée critique, du jugement et des compétences de réflexion. Pour ce faire, OCLaRE s'inspire des traditions de l'apprentissage situé (Brown et. al., 1989) et de l'étayage (Hmelo-Silver et al., 2007) pour réorganiser l'activité de laboratoire de manière à ce que les étudiant·e·s soient placés dans le rôle de co-auteur d'un document de recherche, simulant ainsi leur participation périphérique légitime (Lave & Wenger, 1993). Prendre conscience de la cohérence entre la conception d'expériences et la réalisation de travaux scientifiques et la rédaction de rapports sur les expériences scientifiques. En lisant le texte OCLaRE, les étudiant·e·s prennent conscience des contextes qui indiquent ce qu'il faut ou ne faut pas considérer comme faisant partie de l'histoire complète de cette recherche. La cohérence des choix effectués à chacune des étapes de la démarche scientifique. L'étudiant apprend à identifier les caractéristiques qui sont essentielles à cette décision de cohérence.

### 5.1.2 Objectifs et questions de recherche

Notre étude de cas a pour but d'explorer et de combler cette lacune dans la littérature en posant deux questions de recherche : (1) un modèle laboratoire par enquête qui fournit des conseils progressivement mais à différents stades de la démarche scientifique peut-il produire un apprentissage productif ? (2) Quels types d'étayages pourraient être nécessaires pour répondre aux besoins des tâches impliquées dans les différentes étapes de la méthode scientifique ? En bref, les tâches liées à la prise de décision sont-elles les mêmes à chaque étape de la méthode scientifique ? Si ce n'est pas le cas, les types d'étayages utilisés doivent-ils être différents lorsque des orientations sont publiées pour cette étape ? Un étayage qui situe l'étape spécifique dans l'ensemble de la démarche scientifique pourrait-il servir de support adaptatif pour les tâches à accomplir ?

Pour répondre à ces questions, nous avons conçu une intervention laboratoire par enquête d'une durée d'un semestre qui séquençait les modules de laboratoire en fonction des connaissances et des compétences spécifiques à acquérir. Travaillant dans le cadre d'un partenariat recherche-pratique (RPP ; Penuel, date.) et d'une approche de co-conception (citation), l'équipe, y compris le professeur de biologie, a conçu les cinq modules en se basant sur le cadre des ressources (Hammer & Reddish, date). Nous appelons cette approche laboratoire par enquête un modèle de *progression conceptuelle basé sur les ressources*, conçu à dessein pour contraster avec une progression à rebours, typique d'autres études. En outre, nous avons développé cinq modules, chaque module étant composé de deux parties. La première partie demandait aux étudiant·e·s de prendre un ensemble particulier de décisions associées à une partie spécifique du cycle scientifique ; après quoi, dans la deuxième partie, il leur était demandé d'intégrer cette partie spécifique dans un rapport de laboratoire décrivant l'ensemble du processus. Par exemple, le laboratoire par enquête pourrait se concentrer sur la conception et la réalisation d'un plan expérimental pour une question de recherche donnée. Une fois le travail terminé et rédigé, les étudiant·e·s recevraient un rapport de laboratoire complet présentant un scénario expérimental plausible comprenant l'introduction (justification, appui et question de recherche), les résultats, l'analyse et la discussion, mais sans la section sur les méthodes, qui aurait pu être générée pour la question de recherche donnée. De cette manière, les étudiant·e·s ont examiné chaque composante de la démarche scientifique séparément dans un contexte bien encadré et ont eu l'occasion de s'engager dans les différentes parties de la prise de décision scientifique, sur la base de la logique des ressources nécessaires pour le laboratoire lui-même, et non d'une progression à rebours prescrite. Dans la deuxième partie, la phase de réflexion du module, ils ont été invités à réintégrer leur composante de recherche dans le contexte d'un rapport de laboratoire complet et à examiner si cela avait du sens ou si leur composante devait être affinée.

## 5.2 Méthodes

### 5.2.1 Conception de la recherche de cette étude

Cette étude a utilisé un modèle qualitatif d'étude de cas. La recherche par étude de cas est particulariste, descriptive et heuristique (Merriam, 1998) : Particulariste, parce que les études de cas se concentrent sur une instance, un événement, un programme ou un phénomène spécifique ; descriptive, parce qu'elle aboutit à des descriptions « épaisses » et riches du phénomène ; et heuristique, parce qu'elle éclaire un phénomène particulier, ce qui permet d'en dégager de nouvelles significations et relations. La nature inductive de la conception s'est orientée vers des explications théoriques, sans se limiter à une simple description. Des cas multiples ont été utilisés pour renforcer, valider et stabiliser les résultats (Miles et Huberman, 1984). Les sources de données qualitatives comprennent les documents écrits, les artefacts, les entretiens, etc. (Patton, 1990). Cette recherche a recueilli des données écrites sur l'intervention ainsi que des évaluations avant et après l'intervention.

L'une des principales limites de la conception des études de cas est la sensibilité et l'intégrité de l'enquêteur (Merriam, 1998). Elle nous rappelle que le chercheur est à la fois le principal instrument de collecte des données et le principal analyste des données, d'où l'importance d'être attentif aux biais et d'en tenir compte. Enfin, et ce n'est pas le moins important, tous ces modèles de recherche doivent tenir compte de considérations éthiques. Guba et Lincoln (1981, cité dans Merriam, 1998) nous disent que les auteurs de cas peuvent faire dire aux données tout ce qu'ils veulent. Par conséquent, le lecteur et les auteurs doivent se méfier de ces biais et rechercher d'autres explications et d'éventuels agendas imposés de l'extérieur, en particulier dans les études de cas axées sur l'élaboration de politiques et sur des considérations sociales et politiques.

#### *Contexte et participants*

L'étude de cas du laboratoire par enquête a été réalisée dans le cadre d'un cours de biologie générale I dans un collège anglophone (cégep) de la région métropolitaine de Montréal, avec un corps professoral d'environ 100 personnes et une population étudiant·e de 500 nouveaux étudiant·e·s en sciences. Ce cours est le premier cours de biologie que les étudiant·e·s suivent dans le cadre du programme de sciences, mais les étudiant·e·s peuvent s'y inscrire au deuxième, troisième ou même quatrième semestre d'un programme de sciences de deux ans, selon la filière choisie. L'intervention a été mise en œuvre au cours de deux semestres d'automne consécutifs, et la plupart des étudiant·e·s en biologie à l'automne en sont à leur troisième semestre de progression. L'enseignant recruté pour cette intervention était un membre de l'équipe de recherche, participant en tant que co-concepteur de l'intervention et n'étant pas impliqué dans la collecte des données. Il a plus de 16 ans d'expérience dans l'enseignement de la biologie, ainsi qu'un diplôme d'études supérieures dans le domaine de l'enseignement ; il a également de l'expérience dans la mise en œuvre d'approches d'apprentissage actif dans sa classe.

Les étudiant·e·s participants faisaient partie des cours assignés à cet enseignant, et il s'agissait donc d'un échantillon de commodité. L'intervention laboratoire par enquête a été intégrée dans deux cycles de ses plans de cours de biologie I (semestres de contrôle automne 2021 et automne 2022), chaque cohorte ayant un total de 40 étudiant·e·s. Il est important de noter que seuls les étudiant·e·s ayant donné leur consentement écrit sont représentés ici en tant que participants à la recherche dans ce corpus de données. Les étudiant·e·s de ces cohortes sont représentatifs de la diversité de la population de ce collège, la distribution des variables démographiques était typique pour les étudiant·e·s de première année de ce collège - par exemple, le sexe et l'âge. L'automne 2021 a été mis en œuvre sous la forme d'un cours en ligne. L'automne 2022 a été mis en œuvre sous la forme d'un cours en personne.

Le cours de biologie I est le seul cours de biologie obligatoire dans le programme de sciences du collège, enseigné dans tous les collèges avec 45 heures de cours magistral et 30 heures de laboratoire. Le cadre général du cours, en termes de thèmes principaux et de critères de performance, est défini par le ministère de l'Éducation du Québec, mais il est élaboré au niveau local par les professeurs des départements de biologie. Les sujets et les procédures des laboratoires sont également déterminés au niveau local et peuvent varier considérablement d'un

collège à l'autre. La *pondération* du cours se prête naturellement à des laboratoires de 2 heures par semaine sur un semestre de 15 semaines, et la plupart des collèges suivent ce format, souvent basé sur une pédagogie qui implique de fournir aux étudiant·e·s tout le matériel et les instructions pour le laboratoire. Dans l'établissement en question, les laboratoires sont plutôt proposés sous forme de blocs de 3 heures, pendant seulement 10 semaines du semestre (c'est-à-dire qu'il y a des semaines « libres »). Malgré cette distinction, de nombreux laboratoires sont néanmoins enseignés selon un format traditionnel de « livre de cuisine ». En revanche, cette intervention semestrielle du laboratoire par enquête consistait en 5 modules de laboratoire, remplaçant 8 des laboratoires traditionnels (2 laboratoires traditionnels axés sur l'exploration comparative, basée sur l'évolution, de la physiologie des plantes et des animaux ont été maintenus). Chaque laboratoire a été conçu pour que les étudiant·e·s examinent l'un des éléments de la démarche scientifique dans une séquence prédéterminée qui n'était pas la progression à rebours habituelle. Nous aborderons les détails de ces modules dans la suite de ce document.

### *Conception de l'intervention laboratoire par enquête*

L'intervention était composée de trois éléments principaux : (1) les interventions laboratoire par enquête en cinq modules ; (2) le séquençage des tâches d'intervention (c'est-à-dire, *les scripts*), au sein de cette série de laboratoires ; et (3) les étayages qui ont soutenu le processus d'enquête, en particulier la plate-forme basée sur le web. Nous décrivons le processus de conception et de sélection du contenu et des séquences des modules.

Rappelez-vous que le modèle de progression conceptuelle basé sur les ressources présentait un séquençage qui s'écartait considérablement de ce qui avait été fait précédemment dans la littérature. En outre, l'enchaînement de la tâche de recherche était l'une de nos questions de recherche. L'objectif de chaque module laboratoire par enquête et l'ordre dans lequel ils seraient présentés ont été planifiés sur une période de trois mois au cours de l'été 2021, et revus au cours de l'été 2022. La planification a commencé par une analyse des tâches cognitives ( Clark et al., 2008) pour chacun des modules. L'analyse des tâches cognitives consiste à identifier les connaissances et les compétences nécessaires à l'exécution de tâches complexes, qui se déroulent généralement sous la forme d'une séquence impliquant des prérequis. L'analyse des tâches nous a permis de déterminer les ressources (conceptuelles, procédurales et épistémiques) que les étudiant·e·s devraient intégrer dans chaque module. Cela nous a permis de proposer une séquence et des étayages associés pour chaque module. Par conséquent, chaque module a été conçu pour offrir aux étudiant·e·s la possibilité de développer ces ressources de connaissances requises, et a été encadré pour qu'ils réfléchissent intentionnellement à la manière de les rassembler pour construire une compréhension conceptuelle cohérente, c'est-à-dire pour intégrer les connaissances. Par exemple, dans le module laboratoire par enquête axé sur l'analyse des données (par exemple, un test statistique), l'analyse de la tâche a révélé que la condition préalable était la connaissance de la conception de la recherche, y compris les éléments suivants : attribution de rôles aux variables (dépendantes, indépendantes, confusionnelles), élaboration d'une hypothèse et création d'une méthode pour tester cette relation. Dans le même temps, les connaissances procédurales requises consistaient à configurer les données de manière à effectuer les analyses, ainsi qu'à savoir comment utiliser les outils statistiques sélectionnés et tout logiciel associé. En tant que telle, la conception du laboratoire par enquête devrait aider les étudiant·e·s à développer ces connaissances, avec des étayages qui soutiennent l'intégration des ressources. En résumé, si la capacité à s'engager dans des processus de recherche est déterminée par la capacité des étudiant·e·s à accéder à des ressources conceptuelles, ces ressources doivent être développées avant d'être utilisées dans le cadre de la prise de décision. Ce processus s'est poursuivi pour chaque concept et pour chaque module.

Cette intervention laboratoire par enquête s'est appuyée sur un processus de co-conception impliquant l'enseignant et l'équipe de recherche. Hammer et Schifter (2001) proposent que les enseignants développent une plus grande sensibilité et une plus grande conscience des contributions et des capacités de raisonnement des étudiant·e·s. En tant que tel, le séquençage des laboratoires par enquête a également pris en compte les pratiques de laboratoire de l'enseignant et les contraintes du contexte d'enseignement local. De cette manière, les modules représentent à la fois un modèle de progression conceptuelle basé sur les ressources et les sensibilités authentiques de l'enseignant. Nous décrivons ensuite le contenu des modules laboratoire par enquête.

## 5.3 L'intervention laboratoire par enquête en cinq modules

Ce modèle de progression conceptuelle laboratoire par enquête basé sur les ressources comportait cinq modules (voir tableau 5.1). Le module 1 demandait aux étudiant·e·s de prendre un grand nombre de décisions. Les modules 2 à 4 ont suivi un scénario de nombre de décisions encadrées, ce qui ajoute de la cohérence à la progression conceptuelle. Le nombre réduit de décisions associées aux modules 2 à 4 dément la complexité du raisonnement et des connaissances nécessaires pour compléter ces modules. Pour le module 2, les étudiant·e·s devaient prendre en compte et décrire les contraintes procédurales associées à la prise de mesures de la taille des cellules, ainsi que les hypothèses sur la forme des cellules qui seraient nécessaires pour manipuler les données à des fins de comparaison. Ces contraintes/hypothèses n'étaient pas explicitement fournies et n'étaient pas nécessairement intuitives pour des étudiant·e·s de niveau universitaire, mais elles étaient essentielles pour évaluer la confiance dans les résultats et les conclusions. Pour les modules 3 et 4, les connaissances de base requises pour formuler une hypothèse ou interpréter des résultats et tirer des conclusions étaient également complexes pour les étudiant·e·s de ce niveau. La recherche scientifique s'appuie sur une compréhension approfondie du sujet, et les tâches finales associées à ces deux modules de laboratoire ont exigé des étudiant·e·s qu'ils fassent largement appel aux connaissances conceptuelles fondamentales acquises dans le cadre du cours. Enfin, le module 5 était le plus difficile et le plus complexe de l'intervention laboratoire par enquête, de par sa conception, car il exigeait des étudiant·e·s qu'ils prennent des décisions tout au long du processus scientifique. Nous présentons ensuite une vue d'ensemble du contenu et des supports utilisés dans les modules.

### 5.3.1 Contenu spécifique des modules

La tâche de recherche présentée dans le module 1 impliquait que les étudiant·e·s fassent des choix associés à la conception d'une expérience et à l'analyse statistique des données fournies (voir tableau 5.1). Plus précisément, il a été demandé aux étudiant·e·s de concevoir une expérience et d'analyser des données pour tester une hypothèse sur l'influence de la température de croissance sur la teneur en sucre des pêches. Afin de soutenir les étudiant·e·s dans ce premier module, la tâche impliquant la conception d'une expérience consistait en plusieurs tâches de prise de décision semi-étayées (voir la désignation E/A dans le tableau 5.2). Nous parlons de semi-scaffolding parce que la prise de décision était présentée comme une série de petites décisions à prendre, de manière *progressive*. Plus précisément, ces semi-étayage progressifs comprenaient une simulation (module SimBio), une série de questions conçues (myDALITE rétroaction) et un questionnaire (la question isomorphe, les pêches de Karl), chacun leur demandant de faire des choix liés à la conception d'une expérience. Il n'y a pas eu de conséquences pour les mauvaises décisions dans cette partie semi-encadrée, parce que la décision laboratoire par enquête centrale pour l'analyse des données a été fournie – sur la base d'une expérience conçue de manière normative et d'un aperçu de base de la conception utilisée pour collecter ces données. Ainsi, même si les étudiant·e·s se sont trompés dans les tâches associées à la phase de conception expérimentale, ils disposaient toujours de données viables à examiner. En raison de son importance globale, ce premier module laboratoire par enquête était nettement plus élaboré que les trois suivants.

La tâche d'investigation du module 2 consistait à concevoir une étude visant à déterminer si des cellules végétales et animales particulières étaient de taille différente. La tâche d'investigation du module 3 demandait aux étudiant·e·s de formuler une hypothèse sur le modèle de transmission d'un gène particulier de la mouche des fruits, à l'aide des informations générales fournies, et de produire une introduction appropriée pour cette expérience (c'est-à-dire, le rapport de laboratoire). La tâche d'investigation du module 4 demandait aux étudiant·e·s d'analyser les résultats d'une expérience et de tirer des conclusions sur les mécanismes évolutifs qui ont conduit à des changements dans la fréquence des allèles d'un gène dans des populations contrôlées de mouches des fruits. Dans le dernier module de la série, le module 5, la tâche d'investigation demandait aux étudiant·e·s de prendre des décisions tout au long de la démarche scientifique, rassemblant et affichant essentiellement tout ce qu'ils avaient appris sur chaque section séparée tout au long du semestre. Il s'agissait donc d'une tâche complète et difficile.

**Tableau 5.1**

*Le programme d'études en cinq modules (Mod.) décrivant le modèle conceptuel-ressources de la prise de décision des étudiant-e-s*

Choix de l'étudiant-e		Mod.1	Mod. 2	Mod. 3	Mod. 4	Mod. 5
( ? )	Affiner la question de recherche					o
	Rédiger une question de recherche					x
Introduction	Formulez une hypothèse à partir des informations de base.			x		x
	Rédigez une introduction			x		x
Méthodes / Conception	Concevoir une expérience à partir d'une QR et d'une hypothèse	o	x			x
	Intégrer la réplication dans la conception	o	x			x
	Faire varier systématiquement la variable indépendante	o	x			x
	Méthodes d'écriture		x			x
Analyse	Choisir l'approche analytique appropriée	x				x
	Écrire les résultats	x				x
Discussion et conclusions	Interpréter les données et tirer des conclusions				x	x
	Rédiger une discussion et une conclusion				x	x

Remarque : dans le module 1, les activités sont étroitement encadrées (o), alors qu'elles sont peu encadrées (x).

**Tableau 5.2**

*Le curriculum à cinq modules (Mod.) les étayages des tâches OCLaRE*

Choix de l'étudiant-e		Mod.1	Mod. 2	Mod. 3	Mod. 4	Mod. 5
( ? )	Affiner la question de recherche	V	V	V	V	A
	Question de recherche écrite	P	P	P	P	S
Introduction	Formulez une hypothèse à partir des informations de base.	V	V	A	V	A
	Introduction écrite	P	P	S	P	S
Méthodes / Conception	Concevoir une expérience à partir d'une QR et d'une hypothèse	E/A	A	V	V	A
	Intégrer la réplication dans la conception	E/A	A	V	V	A

	Faire varier systématiquement la variable indépendante	E/A	A	V	V	A
	Méthodes écrites	P	S	P	P	S
Analyse	Choisir l'approche analytique appropriée	A	V	V	V	A
	Résultats écrits	S	P	P	P	S
Discussion et conclusions	Interpréter les données et tirer des conclusions	V	V	V	A	A
	Discussion écrite et conclusion	P	P	P	S	S

Note : Décrit les niveaux d'étayage fournis par le rapport OCLaRE. Apprentissage vicariant.

(P) Fourni par le modèle OCLaRE

(V) Apprentissage vicariant par simulation de LPP

(E) Réflexion explicite

(S) Rédigé par l'étudiant

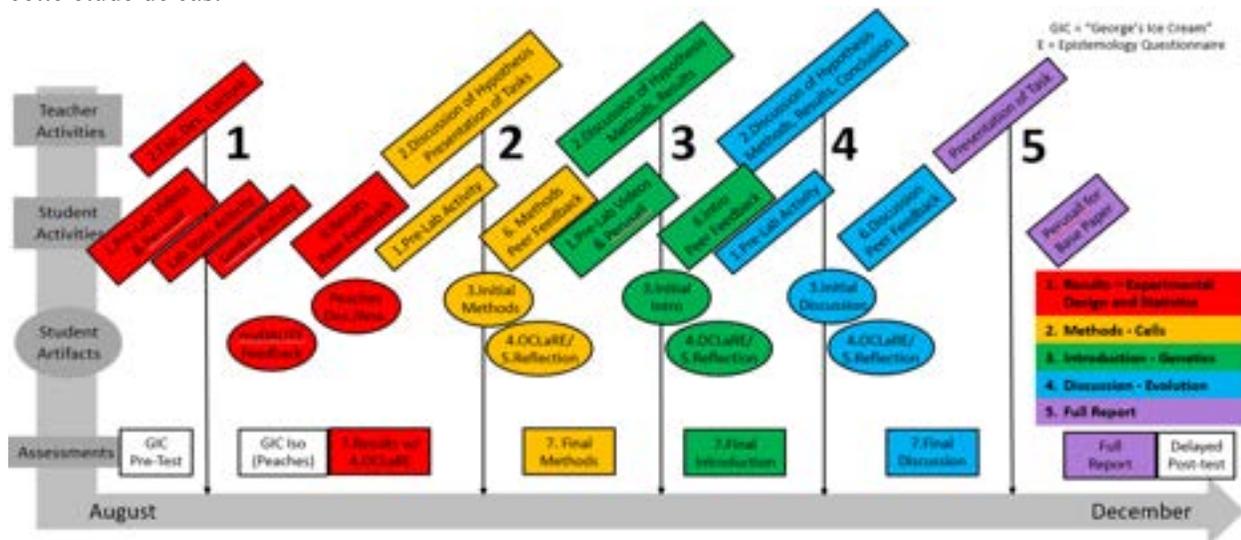
(A) Objectif principal de l'évaluation

### Séquence des tâches d'intervention (scripts utilisés par chaque module)

La figure 5.1 présente une vue d'ensemble des cinq modules. [ajoutez une description supplémentaire]. Nous allons développer chacun des modules, la séquence de tâches (c'est-à-dire le script) qui a été conçue pour unir le contenu et les étayages dans un programme cohérent qui a soutenu la trajectoire des étudiant-e-s vers l'augmentation des ressources et des capacités, qui a été conçu pour l'objectif ultime de l'autonomie pour effectuer les tâches de prise de décision laboratoire par enquête en toute confiance.

Figure 5.1

Vue d'ensemble du modèle de progression laboratoire par enquête basé sur les ressources conceptuelles conçu pour cette étude de cas.



L'intervention laboratoire par enquête a été structurée en cinq modules (voir les tableaux 5.1 et 5.2 pour le contenu). Chaque module se composait d'une série de tâches qui s'enchaînaient dans une séquence répétitive, que l'on pourrait qualifier de *script* (Dillenbourg & Jermann, 2007). Les scripts sont des tâches qui suivent une séquence

prescrite . Le script type, utilisé pour les modules 1 à 4, suivait un modèle de sept tâches (voir tableaux 5.3), qui sont décrites ci-dessous. Le module 1 a toutefois ajouté quelques tâches supplémentaires et le module 5 était également unique, nous les décrirons par la suite.

### Tableaux 5.3

Le script en sept parties est utilisé.

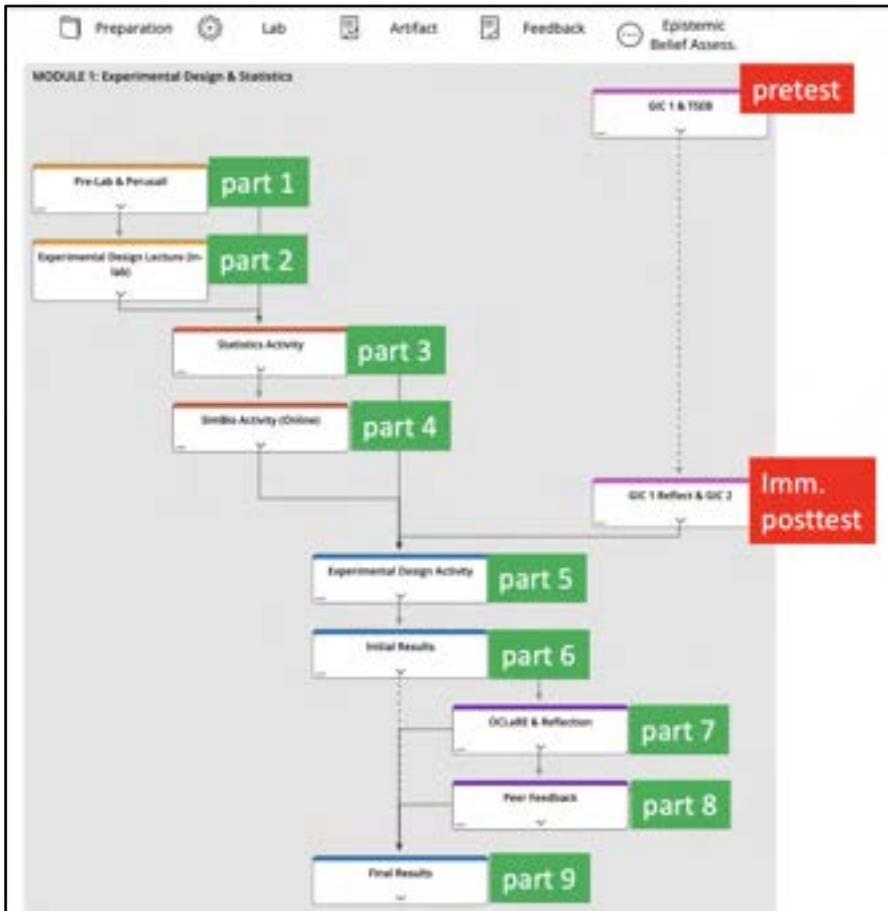
Première partie	Une activité préalable au laboratoire a été réalisée par chaque étudiant·e. L'objectif de cette tâche était de préparer les étudiant·e·s au laboratoire à venir, en leur fournissant la terminologie, les concepts et/ou le contexte qu'ils allaient rencontrer. Plus précisément, ces activités consistaient en une courte présentation vidéo de la théorie produite par l'enseignant, avec une activité de suivi qui demandait aux étudiant·e·s de réfléchir à la matière. Parfois, la tâche consistait à répondre à des questions basées sur la vidéo. La durée prévue de l'activité ne devait pas dépasser 30 minutes pour l'étudiant·e type.
Partie 2	Une activité de laboratoire a été réalisée par les étudiant·e·s, parfois en paires et parfois en petits groupes (généralement 2-4). L'objectif de cette tâche était de fournir aux étudiant·e·s une expérience pratique et concrète de l'exécution des étapes de l'expérience, développant ainsi les connaissances et les compétences de ces pratiques scientifiques - suivre une procédure, observer et collecter des données, etc. En général, le laboratoire consistait à présenter aux étudiant·e·s la question de recherche, puis à travailler ensemble pour réaliser le laboratoire, le déroulement de ce travail dépendant de l'objectif de la tâche laboratoire par enquête en question, c'est-à-dire de l'endroit où les étudiant·e·s étaient amenés à prendre des décisions. Le fait de travailler en groupe sur les composantes de la méthode scientifique a servi d'étayage pour l'élément particulier que les étudiant·e·s devaient explorer eux-mêmes. La durée de cette activité était généralement de 20 minutes.
Troisième partie	Une ébauche de la section de l'article ciblée par ce module. Pour les aider à accomplir cette tâche, ils ont reçu de nombreux supports : des examens qu'ils ont réalisés dans le laboratoire synchrone, des vidéos de méthodes particulières le cas échéant, des descriptions des objectifs de cette section écrite (généraux et spécifiques au contenu) et la manière dont ils sont liés à la méthode scientifique, une grille d'évaluation détaillée qui serait utilisée pour évaluer leur travail, et une soumission d'étudiant de haute qualité provenant d'un travail similaire effectué au cours des semestres précédents, qui a été annotée pour identifier les forces et les faiblesses.
Partie 4	La soumission à OCLaRE. était essentielle au processus d'intégration des connaissances et permettait aux étudiant·e·s de considérer ce qu'ils avaient appris de leur contribution spécifique au rapport plus large qui représentait un rapport de laboratoire complet et un contenu associé détaillé de toutes les autres étapes de la démarche scientifique . Au cours de cette phase, les étudiant·e·s ont soumis leur projet de section à l'aide d'OCLaRE. Comme décrit précédemment, l'objectif de cette phase était d'amener les étudiant·e·s à envisager un rapport scientifique cohérent de l'ensemble du processus qui relie l'intrigue des sections pré-rédigées à la section rédigée par l'étudiant·e. OCLaRE a inséré leur projet de section dans un rapport complet de haute qualité rédigé par les étudiant·e·s au cours d'un semestre précédent, et a permis aux étudiant·e·s de visualiser l'ensemble du document dans un format de publication approprié.
Partie 5	Une réflexion sur leur propre soumission, ainsi que des exemples de sections pertinentes de l'article de qualité variable, toutes relatives à la publication complète décrivant l'ensemble de la démarche scientifique obtenu à partir d'OCLaRE et les critères particuliers requis pour compléter correctement la section spécifique. Dans le travail de réflexion, il a été explicitement demandé aux étudiant·e·s de considérer leur soumission dans le contexte de l'ensemble de l'article, de décrire s'ils pensaient que les critères étaient bien alignés, et d'identifier comment leur soumission pourrait être améliorée.
Partie 6	Une session de rétroaction des pairs synchronisés.
Partie 7	Les étudiant·e·s ont terminé la version finale de la section du document et l'ont soumise.

### Examiner les étayages spécifiques qui ont soutenu le processus d'enquête

Comme les cinq modules, le module 1 a utilisé une approche de classe inversée (Bishop & Verleger, 2013) pour commencer. En d'autres termes, l'enseignant a demandé aux étudiant·e·s de suivre un certain type d'enseignement avant le laboratoire pour les aider à se préparer à l'activité. Il a ensuite suivi le scénario de base décrit ci-dessus, tout en développant certains éléments. L'activité pré-laboratoire comprenait une lecture, intégrée dans la plateforme d'annotation sociale Perusall, et une vidéo (voir la figure 5.2, parties 1 et 2). Après la période de laboratoire synchrone, les étudiant·e·s ont complété un module informatique au sein de la plateforme SimBio qui fournissait des informations sur la conception expérimentale, ainsi qu'un devoir de suivi (parties 3 et 4). Ensuite, après avoir appris ce qu'est la conception, les étudiant·e·s ont reçu le premier grand étayage intégré à myDALITE et le post-test immédiat (voir la figure 5.3). Après avoir été invités à identifier les plans expérimentaux défectueux, dans l'étayage, et à développer un plan approprié pour tester l'hypothèse des pêches, dans le post-test immédiat, l'analyse statistique (partie 5) a fourni aux étudiant·e·s un échantillon de données, en utilisant le même contexte que les étapes précédentes, et il leur a été demandé d'effectuer une analyse statistique appropriée. Les autres sections (voir les parties 6 à 9) se sont déroulées selon un script d'activité qui allait devenir la norme pour le reste des modules, décrits ci-après.

**Figure 5.2**

Scénario d'activités du module 1.



### L'étayage myDALITE et le post-test immédiat

Avant d'aller plus loin, nous attirons l'attention sur l'étayage critique qui a été conçu dans le cadre du module 1, et sur les deux évaluations, le pré-test et le post-test immédiat. Les questions myDALITE ont été le premier étayage directement axé sur la compréhension de la démarche scientifique par les étudiant·e·s. Il précédait le post-test immédiat et était intégré en tant que question dans la plateforme myDALITE, qui présentait aux étudiant·e·s des choix liés aux réponses produites pour répondre à la question de la crème glacée de George. Le format était basé sur une question de « rétroaction par les pairs » (voir la figure 5.3), dont il a été démontré qu'elle produisait des gains en termes d'apprentissage (Adams et al., 2019). Nous reviendrons plus loin sur l'importance de cet étayage, dans la section du chapitre consacrée aux résultats.

#### Figure 5.3

Module 1 : étayage de retour d'information par les pairs myDALITE.

Your friend Pat submitted the following response to the George's Ice Cream problem:

*"Yes, because I think some wrapper colours will absorb light (which is related to heat) better than others."*

You are being asked to provide feedback to your friend on this response. From the answer options below, choose the one which you feel provides the best feedback. Following that, provide a rationale for why you believe this is the best of the feedback options provided.

- A. Hi Pat, I think your answer is pretty much spot on. Darker colours definitely absorb more light, and thus more heat, than lighter colours, so I'm pretty sure the ice creams with darker wrappers will melt more quickly. Great job!
- B. Hi Pat, your response doesn't consider the data at all. You've touched on the theory behind why George might have expected the darker wrappers to melt more quickly, but he did collect data to try and answer this question and you need to analyze these to draw any kind of conclusion.
- C. Hi Pat, your answer is incomplete. You've only considered theory, but you must examine the data from George's experiment to try and draw a conclusion, and you also need to consider his experimental design to assess your level of confidence in the data. Try to determine what the independent and dependent variables would be, whether there is systematic variation of the independent variable, and whether there is sufficient replication to draw conclusions with any confidence. (correct)
- D. Hi Pat, I think you've got the right idea here, as dark colour wrappers will absorb more heat than light colour wrappers. However, the problem does provide data which should help you draw a more firm conclusion, so you should mention these in your response to provide support for your answer.
- E. Hi Pat, your answer is incorrect. An examination of the data clearly indicates that wrapper colour has no effect on ice cream melting time. If you consider melt rate (time to melt / mass), all the ice creams are around the same rate, regardless of wrapper colour, and the dark wrappers certainly aren't faster than the light ones. Thus, you need to re-work your answer to address this, and indicate that the test concludes that wrapper has no effect on melting time.

Le post-test immédiat a été conçu pour être isomorphe à la crème glacée de George, l'évaluation utilisée comme pré-test et décrite dans la section Méthodes de ce rapport. Ce post-test immédiat a encadré le contexte de cette mesure d'évaluation dans le cadre de la biologie, créant ainsi une tâche de quasi *transfert* pour ces étudiant·e·s en biologie. La question demandait aux étudiant·e·s d'examiner le tableau de données et de déterminer si ces résultats pouvaient confirmer une hypothèse concernant l'influence de la température moyenne de croissance sur la teneur en sucre des pêches (voir la figure 5.4).

**Figure 5.4**

Post-test immédiat avec une question isomorphe à la crème glacée de George.

An amateur biochemist wanted to determine whether average annual temperature in a particular location affects the sugar content found in peaches grown in this location: With a little help from the internet, he was able to order different types of peaches grown in several parts of the world, receiving peaches with various combinations of either white and yellow flesh and with flesh that either sticks to ("clings" to) or is free from the pit. He was also able to find the average annual temperature in these locations as it is shown in the table below, and finally used a refined version of Benedict's test to quantify the amount of reducing sugars in each peach he received.

	Type of Peach	Location Grown	Temp (C)	Sugar (mg)
1	Freestone White	China	17	196
2	Clingstone Yellow	USA	18	261
3	Semifree Yellow	Italy	16	220
4	Clingstone Yellow	Canada	13	170
5	Freestone White	Korea	16	180
6	Semifree White	Japan	15	166

**Answer the following question in the text-box below:**

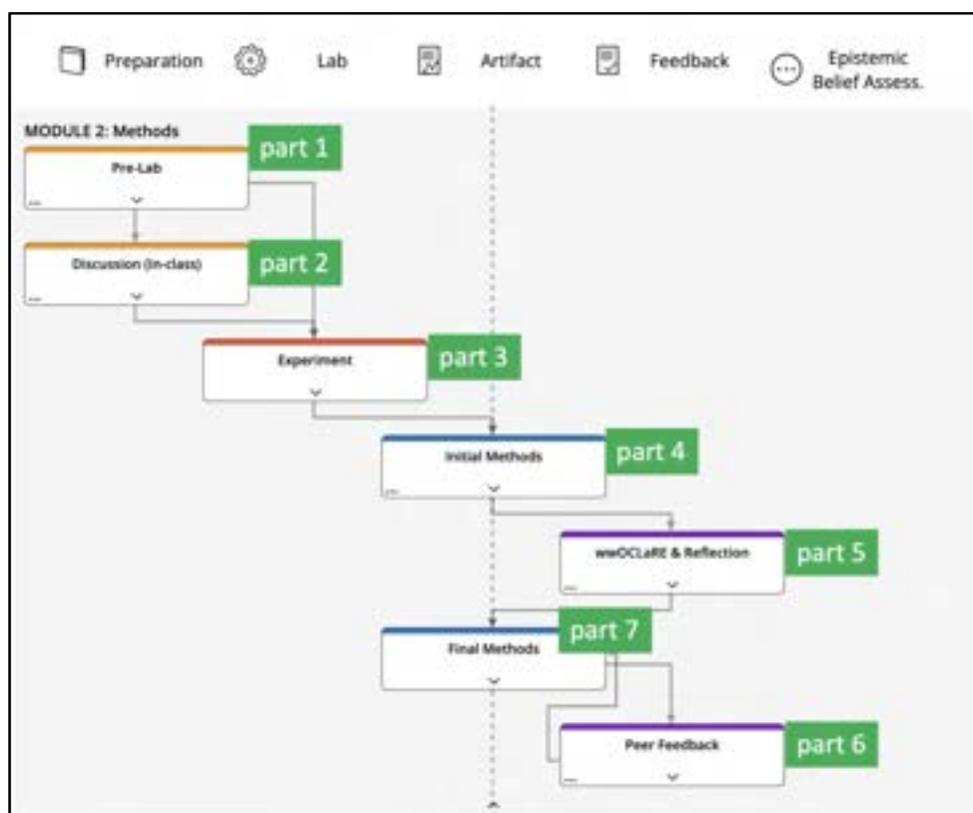
1. According to the test and measurements, can you say whether the average annual temperature in a particular location affects the reducing sugar content found in the peaches? Explain your reasoning, mentioning which of the above variables you used to reach your conclusion.

### 5.3.2 Module 2, exemple d'interaction entre le scénario et les étayages

Pour illustrer le scénario type et montrer comment les étayages ont été utilisés plus largement dans le cadre de ce modèle laboratoire par enquête, nous décrivons le module 2. Il s'agissait du deuxième laboratoire du modèle laboratoire par enquête de progression basée sur les ressources conceptuelles, qui demandait aux étudiant·e·s de concevoir des méthodes pour la question de recherche qui leur avait été fournie. Figure 5.5 illustre le déroulement des tâches encadrées qui ont commencé par une période de discussion pré-laboratoire et en classe pour préparer le laboratoire par enquête. Ensuite, l'expérience de laboratoire a été réalisée, suivie de la rédaction des méthodes du rapport de laboratoire (*initial*) qui a été soumis à la plateforme OCLaRE. Cette étape a déclenché les outils d'intégration des connaissances qui ont incité les étudiant·e·s à réfléchir à leur rapport initial grâce à des conseils soigneusement conçus. Cela a conduit à une éventuelle révision et à une nouvelle soumission de la section sur les méthodes.

**Figure 5.5**

Flux de travail du module 2 détaillant les tâches et les étayages utilisés sur l'ensemble du cycle de cet laboratoire par enquête.



### *Cartographier les activités et les étayages utilisés dans le module 2*

L'activité pré-laboratoire a préparé les étudiant·e·s au laboratoire en leur demandant de réfléchir à la question de recherche proposée (QR : *les cellules végétales et les cellules animales ont-elles une taille différente ?*), de rédiger une hypothèse et d'élaborer une procédure expérimentale. L'activité comprenait des vidéos sur la procédure de base pour produire des montages humides pour les différents types de cellules. La deuxième partie s'est déroulée au laboratoire, où les étudiant·e·s ont d'abord appris à utiliser un microscope pour prendre des mesures de cellules, puis ont discuté de leurs hypothèses et des procédures expérimentales proposées en groupes afin de parvenir à une approche consensuelle. La troisième partie était une simulation de l'expérience elle-même, au cours de laquelle les étudiant·e·s ont recueilli des données sur la taille des cellules de l'oignon et de la joue. Toutefois, les étudiant·e·s n'étaient pas tenus de mener l'étude complète qu'ils avaient conçue ou de collecter un ensemble de données solides, car l'analyse statistique des données ne faisait pas partie de cet exercice. Ils devaient simplement utiliser les microscopes pour prendre des mesures sur un petit échantillon de cellules d'oignon et de joue<sup>4</sup>. L'objectif était

<sup>4</sup> Les étudiant·e·s doivent déterminer si les cellules végétales et les cellules animales sont de taille différente. Pour ce faire, ils doivent comparer la taille des cellules épidermiques de l'oignon et des cellules de la joue humaine (les leurs). Cependant, ces cellules ont des formes très différentes, même au sein d'une même espèce, et il serait très difficile de mesurer leur taille avec précision. Nous faisons donc des hypothèses sur la forme des cellules pour pouvoir recueillir des mesures approximatives de leur taille : nous supposons que les cellules d'oignon ont la forme d'une brique (longueur, largeur, profondeur) et que les cellules de la joue sont cylindriques (diamètre, profondeur). La plupart des cellules n'ont pas ces formes, mais elles s'en approchent grossièrement, ce qui nous suffit dans ce contexte.

Ces mesures n'étant pas directement comparables, les données doivent être transformées en calculant les surfaces et les volumes des deux types de cellules pour permettre une comparaison directe. Les résultats finissent par être des approximations très grossières (notamment parce que la profondeur des deux cellules est recueillie sur la base de mesures subjectives), mais les cellules sont en fait de taille

qu'ils se fassent une idée précise de l'aspect réel des cellules, des hypothèses nécessaires à la collecte de données exploitables et de l'importante subjectivité inhérente à certaines mesures (la profondeur des cellules en particulier).

La quatrième partie du scénario était très encadrée. Les étudiant·e·s ont reçu un document (voir le document complet à l'[annexe A](#)) qui comprenait les éléments suivants : (1) un paragraphe d'ouverture comprenant des instructions pour regarder une vidéo décrivant les cellules épidermiques d'oignon (également fournie dans le pré-laboratoire) ; (2) un exemple d'introduction de rapport de laboratoire, tiré d'un travail d'étudiant précédent (*Exemple d'introduction d'un travail d'étudiant précédent*) ; (3) des instructions pour rédiger les méthodes (*Premièrement : concevoir une expérience*) ; et (4) un modèle de section de méthodes de rapport de laboratoire bien rédigée et une grille d'évaluation de la qualité de cette section de rapport de laboratoire (*Exemple de section de méthodes et de grille d'évaluation*).

La dernière section du document d'accompagnement fournissait des instructions pour travailler sur la plateforme OCLaRE et soumettre les rapports associés. La section 3, qui fournit les principales instructions pour la rédaction des méthodes, comprend les mêmes vidéos sur les montages humides que celles du pré-laboratoire, ainsi que des questions/prompts qui rappellent les connaissances acquises dans le module 1 sur la conception expérimentale (voir la figure 5.6). Il est important de noter que les étudiant·e·s n'étaient pas tenus de rédiger leur section sur les méthodes en suivant strictement leur plan d'étude pré-laboratoire ou celui qu'ils avaient accepté en classe, puisqu'ils n'ont pas réellement mené l'étude ou collecté des données. Par conséquent, ces messages-guides ont été fournis pour aider les étudiant·e·s à réfléchir à leur conception préalable et aux discussions avec leurs camarades de classe dans le laboratoire, ce qui leur a permis d'apporter toutes les modifications qu'ils jugeaient nécessaires à leur conception initiale de l'étude. Les messages-guides ont également fourni aux étudiant·e·s le vocabulaire qu'ils pouvaient utiliser comme ressource pour les autres parties des scripts, ainsi que pour les autres activités de la progression du laboratoire par enquête. Nous y reviendrons plus loin dans l'analyse.

### Figure 5.6

Questions/prompts qui ont aidé les étudiant·e·s à se préparer à l'expérience en laboratoire.

1. Existe-t-il une variable indépendante que vous devez faire varier/manipuler d'une manière ou d'une autre pour voir si elle "a un effet" ? Dans l'affirmative, s'agira-t-il d'une variable nominale ou d'une variable de rapport ?
2. Quelle variable allez-vous mesurer pour voir si elle dépend de la variable indépendante ? S'agira-t-il d'une variable nominale ou d'une variable de rapport ?
3. Quelles sont les autres variables susceptibles de créer une confusion et qu'il convient de prendre en compte ?
4. Comment allez-vous collecter suffisamment de données pour être en mesure de détecter un effet statistiquement et biologiquement significatif, s'il existe ?
5. À quoi ressembleront les données que vous recueillerez ? Comment allez-vous les analyser statistiquement ? Les données devront-elles être manipulées/transférées afin de tester correctement votre hypothèse ? Quelle hypothèse nulle testeriez-vous explicitement et quels résultats attendez-vous ?

---

très différente - les cellules d'oignon sont en fait beaucoup plus grandes - ce qui signifie que les résultats sont assez clairs et que nous pouvons être assez confiants dans notre conclusion que les cellules végétales sont plus grandes, même si nous ne sommes pas du tout confiants dans l'exactitude de nos mesures.

L'expérience visant à tester notre hypothèse (le type de cellule a un effet sur la taille des cellules) est très simple à concevoir, et presque tous les étudiant·e·s sont capables de mettre au point un plan expérimental raisonnable à ce stade. Cependant, la plupart d'entre eux ne réalisent pas qu'en rédigeant les méthodes, ils doivent se concentrer sur la description des détails spécifiques de la manière dont les mesures ont été prises et, surtout, sur les hypothèses nécessaires pour collecter des données raisonnables et générer des résultats utilisables. Laissés à eux-mêmes, la plupart des étudiant·e·s rédigeraient une section "Méthodes" qui serait essentiellement une recette pour produire des montages humides (les lames de microscope) et utiliser un microscope. L'un des principaux objectifs de ce laboratoire est de leur faire prendre conscience de l'importance des hypothèses formulées.

La partie 5 du scénario était le rapport de laboratoire global formaté qui a été élaboré dans OCLaRE. L'imitation de la mise en page d'une communication authentique d'un article scientifique était intentionnelle. Le document de trois pages décrivait toutes les sections de la démarche scientifique, mais laissait ouverte la section qui était au centre de l'enquête, en l'occurrence : la section Matériel et méthodes (voir la figure 5.7 ; et le document complet à l'annexe E).

**Figure 5.7**

Le première page de la simulation OCLaRE d'une communication scientifique authentique, pour le module 2.



Il est important de noter que des étayages ont été intégrés au script de la partie 5 pour aider les étudiant·e·s à réaliser les tâches de recherche. Ces étayages ont permis aux étudiant·e·s d'apprendre à s'engager dans les tâches de recherche par le biais d'une série d'exercices de prise de décision, chacun exigeant une réflexion de haut niveau telle que des évaluations de comparaison et de contraste, en plus de promouvoir l'intégration des connaissances. La figure 5.8 présente une vue rapprochée des types de tâches effectuées par les étudiant·e·s dans le cadre de cette série d'étayages, et nous développons ensuite chaque section de ces étayages.

L'étayage 1 visait à préparer les étudiant·e·s à la rédaction de leurs propres méthodes en leur donnant l'occasion de développer leur propre compréhension des critères, des normes et des standards, c'est-à-dire de comprendre ce qu'est une grille d'évaluation. L'exercice présentait trois échantillons de sections de méthodes

authentiquement produites par des cohortes précédentes d'étudiants (généralement plus de deux ans auparavant), qui devaient être classées en fonction de la qualité de leur contenu - le meilleur par rapport au pire. En effectuant la comparaison, les étudiant·e·s ont pu développer une compréhension des critères et des normes impliqués dans le rapport sur les méthodes utilisées dans une expérience, les normes utilisées pour juger de la qualité de la documentation. En outre, l'étayage 1 a permis d'identifier indirectement des éléments clés nécessaires à cette section sur les méthodes que les étudiant·e·s n'avaient peut-être pas envisagés auparavant, tels que la nécessité de calculer les surfaces et les volumes pour une comparaison directe, ou la nécessité de décrire la subjectivité des mesures de la profondeur. Cependant, ces éléments sont présentés dans des sections de méthodes de qualité variable, ce qui oblige les étudiant·e·s à identifier leur importance dans le contexte de l'évaluation par rubriques de chaque section.

Les étayages 2 et 3 impliquaient une réflexion sur la comparaison entre la partie et le tout, c'est-à-dire sur le degré d'adéquation entre l'objectif de l'enquête laboratoire par enquête et le rapport de laboratoire complet préparé dans OCLaRE (rappel, la figure 5.7 ci-dessus). Ce faisant, les étudiant·e·s doivent réfléchir aux décisions prises lors de la conception de leurs méthodes pour l'expérience en question. La section 2 posait une série de quatre questions spécifiques à prendre en considération et liées aux critères identifiés comme des éléments importants d'une communication scientifique complète. La section 3 demandait une réflexion sur ce qui avait été soumis initialement et sur ce qui avait été appris en complétant les étayages précédents. Sur la base de cette comparaison et de l'intégration des connaissances, les étudiant·e·s ont eu la possibilité de soumettre à nouveau une section de méthodes affinée qui pourrait être de meilleure qualité en raison des changements apportés à leur compréhension des normes attendues et/ou des changements apportés à leur compréhension après avoir lu le contexte de l'ensemble du laboratoire. Dans la section suivante, nous présentons des exemples du travail des étudiant·e·s.

**Figure 5.8**

Étayages du module 2 pour les tâches de réflexion OCLaRE (partie 5 du script laboratoire par enquête).

**SCAFFOLD 1**

Lisez les trois sections Méthodes suivantes, chacune rédigée par des étudiant·e·s des semestres précédents dans le cadre du même rapport pour lequel vous venez de soumettre votre propre section Méthodes. Considérez chacune de ces sections Méthodes dans le cadre de l'article complet que vous avez pu consulter sur OCLaRE. Assurez-vous d'avoir lu l'ensemble du document, en particulier les sections Résultats et Discussion, avant d'examiner les trois sections Méthodes ci-dessous.

cell cells and ten onion (plant) cells were individually measured and 100s respectively. The experiment was conducted at about 4 in the General Biology 1 (01-9914-01) A/30 Sec. 3 & 4 (Week 4) camera connected to a lighting, the measurements were taken at the microscope camera greater in pixels, a small ruler in the microscope at 100x and 400x to establish a conversion with the conversion factor, the cell measurements were used and used to calculate the surface area and volume of each cell as volume ratio. In order to calculate the surface area and volume of a cheek cell was considered to have a cylindrical shape. Volume was considered to be a rectangular prism.

radius =  $\frac{1}{2}d$   
 $V = \pi r^2 h$ , where  $h$  is the depth  
 angular pixels =  $2\pi \times 250 + 2 \text{ rad}$   
 solar pixels =  $\frac{1}{2}d^2$

This experiment is the size of the cell. Whereas, the independent variables are the sample size and the team of the laboratory.

If to analyze the data using as the dimensions were taken from order to verify the possibility of the null hypothesis, the effect of the dependent variables, being correct, the test for the test, the  $t$ -value is 0.05.

**Methods 2**

The focus of this experiment was how to handle compound microscope properly and then use it to study cells that are mounted on a slide. The cell measurements were done by using compound light microscope. The content of experiment were treatment to other cell cells and their organelles by using Microscope that slide.

The practicing on microscope focus was achieved by first focusing to focus with coarse "or" fine which was provided in the laboratory of Foster College laboratories in order to study microscope images by microscope. Later field diameter was observed with a ruler under microscope and perception of depth was studied by the slide of three cell (bread) that was provided to us by Foster College laboratories. After on how to focus cells on compound microscope was just to look to preparing animal cells in this case my cheek cells which were mounted on a slide and stained with methylene blue (Microscope Education Center, 2016), and then processing the plant cells in the same manner. In this case onion epidermis was used. Later data was collected by measuring cell area. To start with then the average of cells was taken to calculate surface area for 10 cheek cells and 10 onion cells. The data listed for onion cells where:  $h$  is the length,  $l$  is the depth and  $w$  is the width. The volume calculated by width, where  $h$  is the height or depth for cheek cells and by  $1000$  for onion cells, and then the surface area to volume ratio were calculated using above information.

A representative of a eukaryotic cells is a cheek cell where cell membrane, nucleus shown by methylene blue and cytoplasm can be seen by staining with methylene blue to brown colored as shown below (Fig. 2). Comparing both cheek and onion cells that some of the major organelles such as nucleus were visible through the microscope at 400x total magnification and the individual cells were round and small for cheek cells (Fig. 3) and a thick cell structure (cell wall) was visible for onion cells were observed meaning that onion cells are larger than cheek cells.

**Methods 3**

Ten different animal and plant cells were used as the samples for this experiment. Two different kind of cells were examined such as plant, onion cell and animal cells, human cheek cells. In order to give an adequate response to the hypothesis, the group intended collected the data necessary and proceeded through the experiment. The procedure was based by Tami Guy Post at <https://www.youtube.com/watch?v=15J012> (October 15, 2012).

As for the onion cells, the students firstly began at first to determine the diameter of the whole slide. They were then able to estimate the placement of each individual cells. As a result, it was determined that the entire diameter of the slide had a value of 4 millimeters. The student then approximated the width and length assuming it resembled a rectangle. It was therefore a judgement call. In order to get the exact measure of animal cells, a camera connecting both microscope and computer was able to take a picture of the cell. An arrow was dragged through the cell to determine the length in pixels. It was with certainty that conversion factor was needed since the diameter was in millimeters and length in pixels. The subject concluded that at 40x 375 pixels was equal to 100 micrometers. In order to get the value of the depth, the student needed to unfocused the cell to then refocus to focus and then come back to unfocused. The difference in both was the measure for the depth. Through the use of these conversion factors, we were then able to plot a graph such as volume, surface area, and ratio between surface to volume.

En tenant compte du contexte de l'ensemble du document, y compris les résultats présentés et ce qui est discuté, laquelle des trois sections Méthodes présentées est la MEILLEURE et laquelle est la PIRE en ce qui concerne les points suivants de la grille d'évaluation fournie, qui sont nécessaires à une bonne section Méthodes :

124

1. Describes the procedures in a way that makes it possible to reproduce the study, without including recipe procedural lists or too many minor procedural details. **Best:** Answer:  **Worst:** Answer:
2. Specifically describes how measurements were taken and data were collected to identify potential sources of uncertainty that could affect confidence in results and conclusions (and that must be discussed). **Best:** Answer:  **Worst:** Answer:
3. Describes the study sample, including pertinent characteristics and sample size. **Best:** Answer:  **Worst:** Answer:
4. Specifically identifies the variables being considered (and controls, if pertinent). **Best:** Answer:  **Worst:** Answer:
5. Describes how data were manipulated for the purposes of the analysis and any assumptions required to do so, in order to identify potential sources of uncertainty that could affect confidence in results and conclusions (and that must be discussed). **Best:** Answer:  **Worst:** Answer:
6. Describes the statistical approach used to analyze the data. **Best:** Answer:  **Worst:** Answer:

## SCAFFOLD 2

Les sections Méthodes fournies ont toutes été rédigées par des étudiant·e·s qui ont réalisé ce test en laboratoire en utilisant une méthodologie définie. Cependant, bien qu'on vous ait fourni les éléments de procédure de base (production de montages humides de cellules de joue et d'oignon, utilisation du microscope pour prendre des mesures), on vous a demandé de concevoir votre propre étude afin de rédiger la section "Méthodes". Dans le contexte des sections Résultats et Discussion de l'article complet, dans quelle mesure pensez-vous que l'étude que vous avez conçue et que vous avez décrite dans votre section Méthodes initiale atteint chacun des objectifs suivants ?

1. Directly tests the hypothesis stated in the Introduction provided. Answer:
2. Systematically varies the appropriate independent variable which the hypothesis expects to have an effect on a dependent variable. Answer:
3. Controls for any potentially confounding variables. Answer:
4. Includes sufficient replication to detect a statistically and biologically significant effect. Answer:

## SCAFFOLD 3

Comparez les trois sections Méthodes fournies, y compris leurs forces et leurs faiblesses, à la section Méthodes initiale que vous avez soumise. Considérez également vos réponses aux questions ci-dessus dans le contexte fourni par les sections Intro, Résultats et Discussion de l'article scientifique complet de haute qualité fourni. Ce que vous avez écrit dans la section "Méthodes" correspond-il bien à l'article complet ? La section Méthodes initiale que vous avez soumise peut-elle être améliorée ? Si oui, quels changements allez-vous apporter à votre section Méthodes pour l'améliorer avant la soumission finale ?

### 5.3.3 Module 5 : Scénario et étayages

Le module 5 a été conçu comme le dernier laboratoire par enquête qui offrait aux étudiant·e·s de nombreuses possibilités de prise de décision et peu d'outils d'aide. Le travail était basé sur un simulateur SimBio intitulé « How the Guppy Got Its Spots » (« Comment le guppy a obtenu ses points », traduction libre), qui est lui-même directement inspiré d'un article classique de la recherche évolutionniste (Endler, 1980). Le simulateur reproduit grosso modo l'environnement dans lequel la recherche originale a eu lieu, y compris les outils de base qu'Endler a utilisés pour réaliser les expériences. À partir de la question de recherche d'Endler (1980), les étudiant·e·s ont dû formuler une hypothèse, concevoir une expérience à l'aide du simulateur pour la tester, analyser les données brutes et en tirer des conclusions. Ils ont également reçu la publication d'Endler (1980) sur laquelle le simulateur est basé et ont dû effectuer un travail d'annotation sociale sur cette publication, ainsi que sur la documentation d'appui qui accompagne la simulation. Cette fois-ci, le seul support était la grille d'évaluation qui contenait les critères et les normes à prendre en compte lors de la préparation du rapport final. Elle comprenait les cinq sections scientifiques ainsi que des critères et des normes pour les références, les annexes et la mise en forme générale (voir la figure 5.9 pour l'extrait de la section sur le titre et le résumé ; une copie de la rubrique complète se trouve à l'annexe E).

L'objectif premier de ce travail était d'ancrer les étudiant·e·s dans le cadre théorique du sujet. Une compréhension claire des concepts biologiques est cruciale, car toute confusion à ce niveau aurait pu empêcher les étudiant·e·s d'appréhender les aspects scientifiques du travail. Nous pensons que la simple lecture de la publication n'aurait pas permis d'enseigner directement les méthodes, l'analyse ou les conclusions, étant donné que ces éléments sont considérablement plus complexes et détaillés que ce que les étudiant·e·s étaient censé·e·s aborder dans le cadre de ce travail particulier.

Le simulateur SimBio lui-même réduit considérablement la complexité de l'expérience en limitant le nombre de variables potentielles, les plans d'étude possibles et le coût des erreurs par rapport à l'exploration écologique in situ. En tant que tel, on peut dire qu'il réduit la charge cognitive imposée aux étudiant·e·s. Cela dit, nous ne le considérons pas comme l'un des étayages de ce modèle laboratoire par enquête, car les étudiant·e·s ont dû faire des choix tout au long du processus la démarche scientifique (rappel, le tableau 5.1 et 5.2).

**Figure 5.9**

Extrait de l'étayage du rapport final, présentant la rubrique pour le titre et le résumé du rapport final.

1. Title and Abstract:					
Component	Criteria	Very Good (~80%+)	Needs Some Improvement (~60% - 80%)	Needs Much Improvement (~40% - 60%)	Omitted or Unacceptable (~<40%)
Cover Page and Title Points: 0	Provides a complete cover page with an interesting title.	Clearly identifies group members.	Author identified, but not group members.		Unable to identify any authors.
		Displays a catchy and interesting title.	Title is bland and boring.		No title is present.
Abstract Points: 5	Clearly and succinctly summarizes the paper in ~200 words.	Briefly summarizes the entire paper, including presenting the hypotheses, methods, results, and brief conclusions about the significance and implications of the findings.	Summarizes most of the paper, but omits an important detail (e.g., doesn't properly summarize results or doesn't include a sentence about significance and implications).	Summarizes some of the paper, but omits numerous details (e.g. doesn't summarize results or significance).	Fails to appropriately summarize any of the paper.
		Length is 200 words or slightly less.	Length is just slightly above 200 words.	Length is well above 200 words or well below 200 words (~100).	Is of completely inappropriate length, or not present.
Total		Range: 4+	Range: 3-4	Range: 2-3	Range: <1
		/5			

## 5.4 Analyse des données quantitatives

Trente-six étudiant·e·s étaient inscrits à ce cours, l'échantillon dont nous rendons compte (n=21) est composé d'étudiants qui ont accepté et signé le consentement, après que notre protocole d'éthique leur ait été expliqué. Pour garantir la représentativité des résultats de cette mise en œuvre du laboratoire par enquête, nous avons comparé cet échantillon aux moyennes totales de la classe. Avertissement : sur cette base, nous concluons que l'échantillon n'est pas statistiquement différent de la cohorte, mais qu'il est plus représentatif du quartile supérieur de la classe. Notes finales de la classe : échantillon, m=81,6, SD=7,6 ; classe totale, m=76,3, SD=16,4. Note finale de laboratoire : échantillon, 31,5/35, écart-type 1,9 ; classe totale, m=29,7, écart-type 5,3.

Cette étude de cas a utilisé une approche mixte, incorporant à la fois des méthodes quantitatives et qualitatives pour collecter les données. Les instruments de collecte des données comprenaient des questionnaires avant et après les tests, une enquête standardisée et les divers objets générés par les étudiant·e·s. Ces objets comprenaient les travaux de chaque module de laboratoire et le rapport de laboratoire complet du module 5. Ces artefacts comprenaient les travaux de chaque module de laboratoire et le rapport de laboratoire complet du module

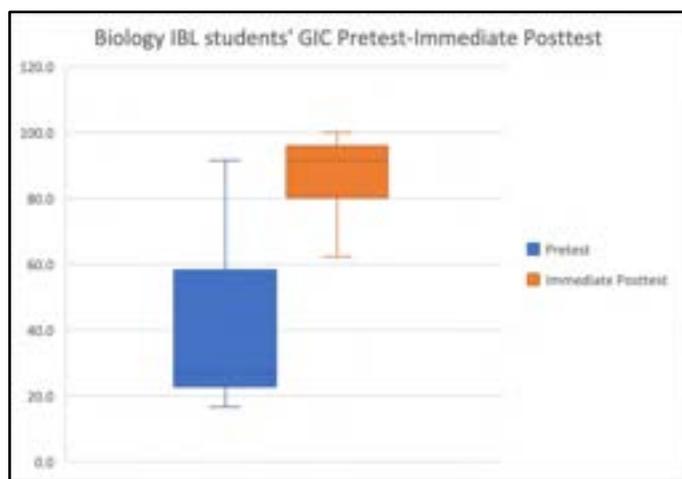
5. L'analyse des données a été réalisée à l'aide de techniques qualitatives et quantitatives afin de garantir un examen approfondi de la compréhension de l'étudiant·e. Dans les sections suivantes, nous détaillerons les résultats des mesures d'évaluation sélectionnées.

#### 5.4.1. Comparaison entre le pré-test et le post-test immédiat

La compréhension de la démarche scientifique a été évaluée à l'aide d'une série d'instruments de pré-test et de post-test, dont le questionnaire sur la crème glacée de George et son équivalent isomorphe, décrits précédemment dans la section des méthodes de ce chapitre et du chapitre 3. Un test t apparié à deux extrémités a été réalisé sur les données collectées à partir du pré-test de la conception expérimentale la crème glacée de George et du post-test immédiat isomorphe (questionnaire sur *Les pêches de Karl*). Les résultats montrent une différence statistiquement significative entre les gains du prétest (M=38,10, SD=22,27) et du post-test immédiat (M=86,7, SD=12,71),  $t(20) = -11,04$ ,  $p < 0,0005$  (bilatéral). Les données du pré-test montrent que MIN = 16,7, MAX = 91,7, Q1 = 22,9, Q3 = 58,3, médiane = 27,1. Les données du post-test immédiat montrent que MIN = 62,5, MAX = 100, Q1 = 80,2, Q3 = 95,8, médiane = 91,7, le graphique en boîte décrivant ces résultats (figure 5.10).

**Figure 5.10**

Le graphique en boîte décrivant une comparaison des résultats du pré-test et du post-test immédiat.

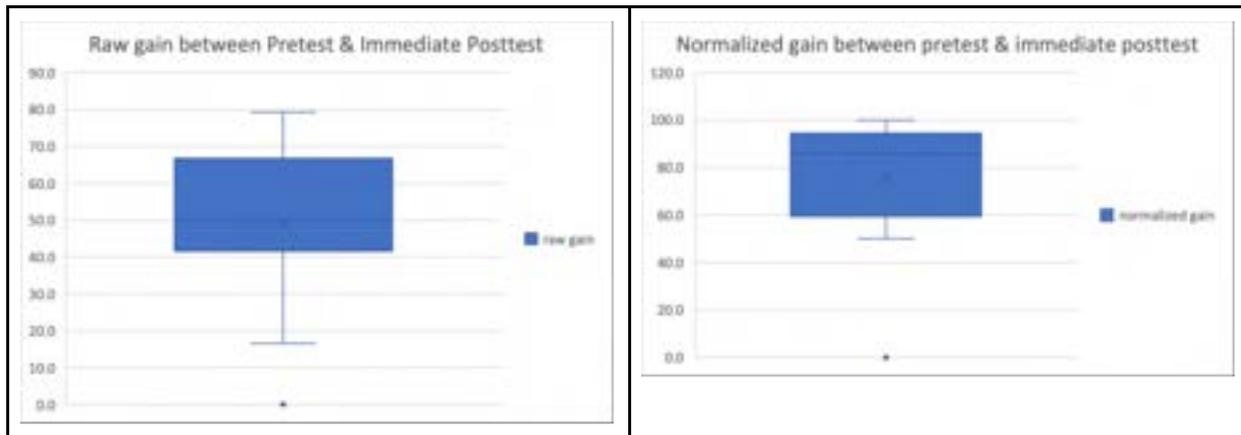


#### 5.4.2 Résultat de la Pré-test / Post-test intermédiaire analyse des gains individuelles

Tout aussi intéressant dans ce gain entre le pré-test et le post-test était le type de changements qualitatifs dans les capacités des étudiant·e·s à expliquer leur analyse du problème posé dans le crème glacée de George et sa question équivalente isomorphe. Pour démontrer ces gains, M=49.2, SD = 23.1, pour n=21, et nous présentons ces données sous la forme d'un graphique Box & Whiskers (voir la figure 5.11).

**Figure 5.11**

Les graphiques en boîte décrivent une comparaison des résultats brut et normalisée .

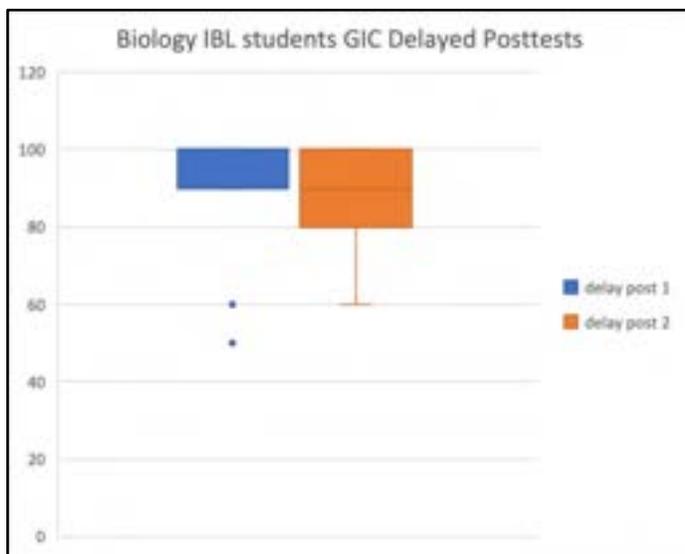


### 5.4.3 Résultat de la Post-test différé

Le post-test différé a été administré à la fin du semestre. L'enseignant a codé ces questions à l'aide d'une grille moins sensible aux différences, c'est-à-dire sur une échelle de 5 points. Ainsi, ces statistiques descriptives sont présentées pour montrer la trajectoire générale de l'état des connaissances des étudiant·e·s. Le post-test différé 1 montre :  $M=93.2$ ,  $SD=16.3$ , médiane = 100, avec  $n=18$ , et trois points de données manquants ; et, le post-test différé 2  $M=90$ ,  $SD =6.7$ , médiane = 90, avec  $n=16$ , cinq points de données manquants. Cette analyse montre que la majorité des étudiant·e·s ont obtenu de bons résultats, mais la grille de notation nous empêche d'identifier les différences entre les étudiant·e·s (voir la figure 5.12). **Note** : voir le chapitre 7 où nous explorerons plus en détail les différences d'apprentissage entre ces évaluations en utilisant des méthodes plus sophistiquées.

**Figure 5.12**

Le graphique en boîte décrivant une comparaison des résultats pour le deux post-tests différé.



#### 5.4.4 Résultats des questionnaire : La crème glacée de George

Noter que dans ce laboratoire par enquête, la comparaison des réponses des étudiant·e·s au questionnaire de George a montré qu'ils/elles ont acquis une meilleure compréhension de la démarche scientifique au fur et à mesure que le semestre avançait. Cependant, par rapport aux étudiant·e·s suivant un enseignement traditionnel en laboratoire, il n'y a pas de différence statistiquement significative (voir chapitre 3). Cela dit, la LDA laisse entrevoir une compréhension plus profonde qui s'apparente davantage à celle des expert·e·s.

### 5.5 Analyse des données qualitative : développement de trois études de cas

Les études de cas narratives, telles que celle présentée ici, impliquent généralement un vaste corpus de données recueillies auprès de nombreux participants sur une longue période. Il est rarement possible d'inclure toutes les données analysées dans un seul rapport, c'est pourquoi l'identification des participants qui illustrent le mieux les résultats est une décision que l'équipe de recherche doit prendre. Dans cette section, nous présenterons trois études de cas, qui nous permettent d'illustrer les implications des différents modules laboratoire par enquête et des étayages associés sur nos évaluations répétées. Nous décrivons ci-dessous la méthode de sélection de ces trois études de cas.

Nous avons commencé par cataloguer les données collectées auprès des (n=21) au cours de l'intervention, avec plus de 20 artefacts de chaque étudiant·e, qui ont été nos sources de collecte de données. Il s'agit à la fois des données qualitatives, le texte généré en réponse aux devoirs, et des données quantitatives, les scores sur trois mesures d'évaluation qui ont été distribuées au cours du semestre : pré-test, post-test immédiat, et post-test différé. Nous avons utilisé les notes attribuées par l'enseignant pour ces trois évaluations. Nous avons pris la décision d'utiliser les notes de l'enseignant au lieu d'utiliser un codage séparé de ces données, après avoir comparé sa grille d'évaluation à celle utilisée par l'équipe de recherche.

Sur la base de ces notes, nous avons effectué une première analyse pour déterminer les changements intervenus entre le prétest et le post-test immédiat, effectués à trois semaines d'intervalle. Ces améliorations, représentées sous forme de gains (bruts et normalisés), nous ont permis de classer les étudiant·e·s dans des catégories de changement : les gains d'apprentissage *fort, moyen et faible*. Ce processus a été répété avec les scores du post-test immédiat et du post-test différé. Dans le but d'identifier des modèles de changement, nous avons examiné ces données pour vérifier la cohérence et l'incohérence de la trajectoire du changement. En cas de changement, nous avons examiné les données qualitatives de plus près afin de déterminer les explications possibles – par exemple, l'étudiant·e était absent ou n'a pas soumis d'évaluation. Dans l'ensemble, les trajectoires montrent une amélioration constante tout au long du semestre.

Une fois les trajectoires confirmées, nous sommes revenus aux méthodes d'analyse qualitative. En utilisant une méthode d'analyse thématique, nous avons examiné les réponses textuelles des étudiant·e·s aux devoirs de chaque module à un niveau élevé afin d'identifier les cas qui révélaient le mieux les changements survenus au cours des cinq modules de l'intervention. Sur la base de cet examen de l'ensemble du corpus de données, nous avons identifié des cas représentatifs des trois catégories de gains. Nous avons tracé les trajectoires de ces cas, en commençant par les évaluations et les devoirs produits au début du semestre jusqu'au rapport de laboratoire final et au post-test différé. À partir de là, nous avons identifié les éléments de leur compréhension qui semblent évoluer avec le temps et nous avons sélectionné quatre études de cas à présenter en détail. Ces étudiant·e·s sont représentatifs des types de modèles que nous avons observés lorsque les étudiant·e·s se sont engagés dans les différentes interventions d'étayage au cours des cinq modules, jusqu'au rapport final. Nous avons réalisé trois études de cas à partir de ces données. Notez que toutes les identifications des étudiant·e·s ont été anonymisées par des codes : STU\_250, STU\_233 et STU\_239.

1. **Faible à moyen** : STU\_250, cette étude de cas illustre une trajectoire qui a commencé par un résultat faible au prétest, mais qui s'est améliorée de manière significative avec le post-test immédiat qui faisait partie du

module 1. Ils se sont bien engagés dans tous les travaux et ont continué à s'améliorer avec chaque module et chaque support d'auto-réflexion, montrant des signes d'approfondissement de leur compréhension des concepts et des constructions. Leur rapport final de laboratoire était bien fait, mais leur note pour la partie laboratoire du cours était moyenne et leur note pour le cours légèrement inférieure à la moyenne. Cette trajectoire d'étude de cas était typique pour environ 20 % de la cohorte.

2. **Fort à fort** : STU\_233, cette étude de cas est représentative d'un couple d'étudiants qui ont démontré une bonne compréhension des concepts lors du pré-test et qui ont continué à approfondir cette compréhension tout au long du cours. Ce type d'étudiant s'est engagé dans tous les travaux et a produit un travail exceptionnel pour tous les modules. Une telle trajectoire représente 9,5 % de la cohorte.
3. **Faible à faible** : STU\_239, cette étude de cas illustre une trajectoire de départ faible, avec un score faible au pré-test, ont montré une amélioration au post-test immédiat, mais sont restés constamment en dessous de la moyenne dans les travaux notés produits pour les autres modules, même s'ils ont semblé s'impliquer dans les devoirs. Leur trajectoire représente environ 14 % de la cohorte.

## 5.6 Faible à moyen : L'étude de cas « STU\_250 »

### 5.6.1 La trajectoire de la progression d'étudiant·e STU\_250

Cet étudiant·e a obtenu un gain d'apprentissage significatif entre le prétest et le post-test immédiat (gain brut = 70,8 ; gain normalisé = 94,4). Leurs résultats au post-test différé ont également montré une cohérence dans leurs scores, qui sont restés élevés. Leur note pour le rapport final de laboratoire était moyenne (rapport final de laboratoire = 86,5). Leur note finale de laboratoire est légèrement supérieure à la moyenne (STU\_250 = 32,4, moyenne de la classe = 31,5). Leur note globale pour le cours se situe dans le deuxième quartile, légèrement en dessous de la moyenne de la classe (note du cours = 73,5 % ; moyenne de la classe = 76 %).

#### *Analyse de leur réponse au prétest et post tests*

En nous penchant sur les données qualitatives et en procédant à une analyse thématique, nous sommes en mesure de montrer plus clairement les changements intervenus dans les explications des étudiant·e·s. Dans le prétest, ils ont affirmé que l'expérience ne répondait pas à la question de recherche posée par George, tout en indiquant les observations faites, mais sans pouvoir expliquer en quoi l'expérience était imparfaite - « d'après les mesures ci-dessus, nous pouvons conclure que la couleur de l'emballage n'affecte pas le temps de fonte ». Dans le post-test immédiat, cependant, ils ont été en mesure d'affirmer avec force que l'expérience était erronée, ce qui illustre leur compréhension croissante du concept de *fiabilité* (voir la figure 5.13, surlignage jaune). Ainsi, ils affirment avec assurance qu'il ne serait pas possible de tirer des conclusions à partir des données - « nous ne pouvons pas dire si les résultats (preuves) confirment l'hypothèse en raison d'une expérience mal réalisée ». Dans cette explication, STU\_250 utilise également un langage scientifique approprié (voir la figure 5.13, surlignage violet foncé) pour expliquer le problème principal - « trop de variables confondantes » - et décrit des moyens d'améliorer l'expérience - « on aurait pu reproduire l'expérience ». Enfin, bien qu'il soit difficile d'en être certain, il semble que cet étudiant·e commence à comprendre le concept de *validité* puisqu'il fait référence aux problèmes d'instrumentation dans cette expérience (voir le surlignage cyan).

**Figure 5.13**

Les réponses au pré-test et au post-test immédiat rédigées par le STU\_250.

Résultats du pré-test crème glacée de George	Résultats isomorphes au post-test immédiat
<p>(STU_250) : La couleur de l'emballage de la glace n'affecte pas le temps de fonte. Dans les expériences 1 et 2, George a utilisé le même parfum de glace et la même masse, mais des emballages de couleur différente. Nous remarquons que le temps de fonte est exactement le même pour les deux. Ainsi, d'après les mesures ci-dessus, nous pouvons conclure que la couleur de l'emballage n'affecte pas le temps de fonte.</p>	<p>(STU_250) : D'après les tests et les mesures ci-dessus, il n'est pas possible de tirer une conclusion, ni de rejeter/ne pas rejeter l'hypothèse du biochimiste. Même s'il y a réplication dans la mesure "type de pêche" (2 de chaque), il n'y a pas de réplication dans les lieux, il n'y a qu'une seule expérience par lieu. Par conséquent, il est impossible de savoir si un résultat erroné (dans ce cas concernant le niveau de sucre, la variable dépendante) pourrait influencer ce que nous concluons. Il y a trop de variables confusionnelles, c'est-à-dire une variable qui est censée être maintenue constante tout au long de l'expérience pour ne pas influencer les résultats. Dans ce cas, le type de pêche aurait pu être la variable potentiellement confondante afin que les niveaux de sucre ne varient pas en fonction du type de pêche (au lieu de cela, ils varieront en fonction de la température de chaque endroit). Le biochimiste aurait également pu répéter l'expérience plusieurs fois en utilisant chaque fois un type de pêche différent. Il n'y a pas de groupe de contrôle, le groupe de contrôle pourrait concerner le niveau de sucre du type de pêche utilisé à la température ambiante (ou dans le laboratoire où l'expérience a eu lieu). En d'autres termes, nous ne pouvons pas dire si les résultats (preuves) confirment l'hypothèse en raison d'une expérience mal réalisée.</p>

En examinant les réponses à l'exercice de réflexion et à la question myDALITE, l'impact significatif de cet étayage apparaît clairement. Il est clair que le STU\_250 est capable de s'exprimer en utilisant le langage scientifique et qu'il est conscient des concepts de répliquabilité et du rôle qu'ils jouent dans la démarche scientifique. Ils illustrent également leur connaissance des concepts de variabilité de contrôle. Cependant, ils ne mentionnent pas la notion de validité, les méthodes ou les instruments utilisés dans ces expériences (voir la figure 5.14).

**Figure 5.14**

Les réponses au l'étayage myDALITE rédigées par le STU\_250.

STU_250 Explication du choix de la réponse myDALITE	<p>Ce qui peut être amélioré, c'est la prise en compte de la variation systématique, la réplication et l'ajout de groupes de contrôle. La réplication est nécessaire dans une expérience car elle permet d'éviter de tirer des conclusions erronées sur la base d'un seul résultat. Il est également important d'avoir des groupes de contrôle car ils comprennent la base de la variable indépendante et sont utilisés pour être comparés au groupe expérimental afin de noter les changements qui se sont produits tout au long de l'expérience.</p>
	<p>Vous utilisez les première et deuxième expériences de George pour tirer une conclusion, mais il est important de tenir compte du fait qu'il n'y a pas suffisamment de données pour étayer l'hypothèse de George. Il n'y a pas non plus de groupes de contrôle auxquels comparer les groupes expérimentaux, et nous ne pouvons donc pas savoir si la couleur (ou même la présence) d'un emballage influe sur le temps de fonte. Pour améliorer votre réponse, vous devez donc prendre en considération d'autres facteurs qui influencent le fait que vous ne parvenez pas à rejeter ou que vous rejetez l'hypothèse de George, ou que vous ne pouvez tout simplement pas donner de réponse en raison d'un manque d'informations et de données.</p>

En comparant cette réponse au post-test immédiat, nous voyons des signes qui suggèrent que STU\_250 commence à reconnaître le concept de validité. Ensuite, si nous regardons leur post-test différé, nous voyons d'autres preuves qu'ils considèrent la viabilité des données pour confirmer une hypothèse dans leurs explications (voir la figure 5.15).

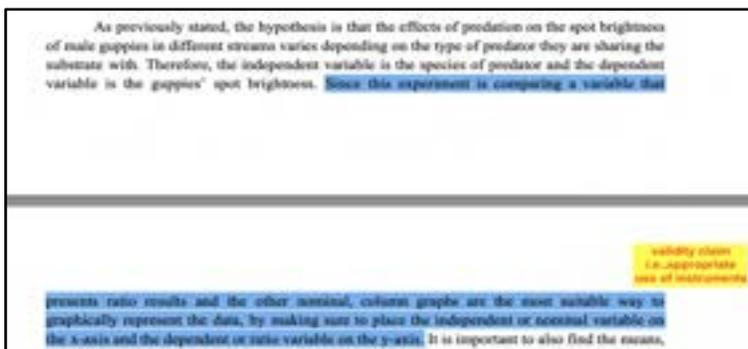


### Analyse de leur rapport final – Module 4 pour STU\_250

Enfin, STU\_250 a soumis un rapport final qui a obtenu une note de 86,6 %, la moyenne de la classe étant de 84,4 %. Bien que leur résumé n'ait pas les nuances illustrées par d'autres, leurs méthodes, l'analyse des données et les sections de discussion contenaient de nombreux éléments qui montrent l'évolution de leur compréhension. Par exemple, leurs méthodes illustrent une prise de conscience des éléments clés du processus expérimental - c'est-à-dire la compréhension de la fiabilité et de la validité dans la section des méthodes (voir la figure 5.17a). Leur section sur l'analyse des données montre qu'ils ont choisi les outils appropriés pour analyser et afficher les données, sont indiqués comme corrects dans l'histogramme produit dans leur rapport de laboratoire. Enfin, leur section de discussion montre qu'ils ont compris les éléments de l'argumentation, tels que décrits par Toulmin, et qu'ils ont fourni à la fois des preuves de leurs affirmations, ainsi que des appuis et des justifications pour soutenir l'affirmation (voir figure 5.17b).

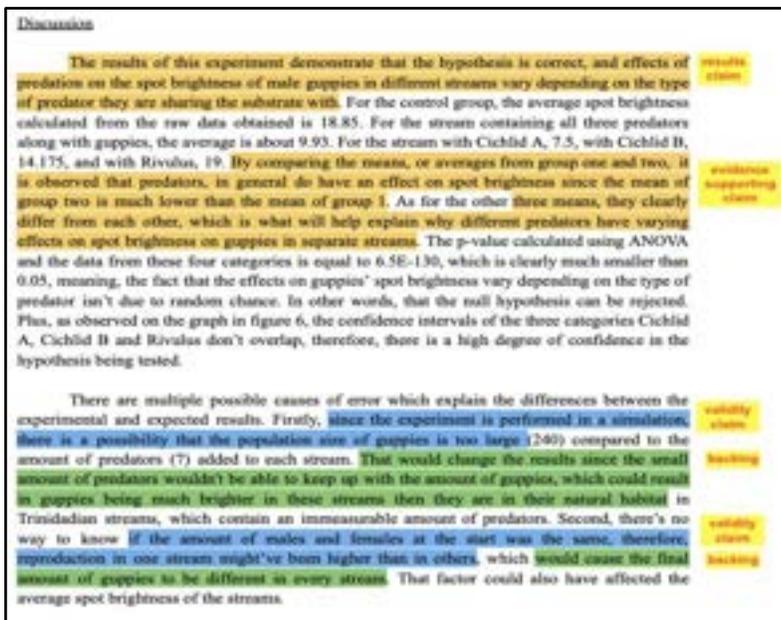
**Figure 5.17a**

Analyse du section Méthodes pour STU\_250.



**Figure 5.17b**

Analyse du section Discussion, pour STU\_250.



## 5.7 Fort à fort : L'étude de cas « STU\_233 »

### 5.7.1 La trajectoire de la progression d'étudiant·e STU\_233

L'étudiant STU\_233 a commencé avec une bonne compréhension de la démarche scientifique, comme évalué par le pré-test crème glacée de George (score codé = 58/100) ; et, leur post-test immédiat a été codé comme répondant à tous les critères et atteignant les normes les plus élevées dans notre rubrique (score codé = 100/100). Ils ont ainsi obtenu un gain entre le prétest et le post-test immédiat (gain brut = 41,7 ; gain normalisé = 100). Leurs résultats au post-test différé ultérieur ont également montré une cohérence dans leurs scores en maintenant les scores élevés (scores codés = 100/100). Leur note finale en laboratoire était supérieure à la moyenne (STU\_233 = 34,2, moyenne de la classe = 31,5). Leur note globale pour le cours était dans le quartile supérieur (note du cours = 94% ; moyenne de la classe = 81,6%).

L'analyse thématique nous permet de montrer plus clairement les changements intervenus dans les explications des étudiant·e·s. Dans le pré-test, ils montrent une compréhension claire des problèmes de fiabilité de l'expérience en raison des nombreuses variables non contrôlées. Ils concluent par une affirmation claire : « les données ne peuvent pas être utilisées pour tirer une conclusion, car les glaces varient en termes de parfum, de masse et de couleur de l'emballage et il est impossible de déterminer avec une certitude absolue dans quelle mesure chacune de ces variations affecte le temps de fonte de la glace, si tant est qu'elle l'affecte ». Le post-test immédiat montre une nette augmentation du niveau de compréhension des concepts de fiabilité et d'argumentation des affirmations par STU\_233 (voir la figure 5.18, surlignage jaune), ainsi qu'une utilisation accrue du langage scientifique (voir la figure 5.18, surlignage violet). En outre, nous constatons une amélioration de leur compréhension des concepts plus subtils de la validité de la conception expérimentale (voir la figure 5.18, surlignage cyan), illustrant ainsi une nette évolution vers une compréhension de haut niveau des concepts requis pour évaluer pleinement la qualité des méthodes et des résultats d'une démarche scientifique.

**Figure 5.18**

L'étude de cas STU\_233, codage des réponses fournies pour le pré-test et le post-test immédiat.

Résultats du pré-test crème glacée de George	Résultats isomorphes au post-test immédiat
<p>Conformément aux instructions, George souhaite savoir si la couleur de l'emballage d'une glace influe sur son temps de fonte. Afin d'étudier cette question et d'obtenir des résultats précis, il est nécessaire de disposer d'un dispositif expérimental et de données appropriés.</p> <p>Le dispositif expérimental de George peut être considéré comme approprié car toutes les glaces ont été achetées au même moment, placées dans le même congélateur (à la même température) pendant la même période, et enfin placées au même endroit (à la même température à nouveau) pour l'expérience elle-même.</p> <p>Cependant, parmi les données recueillies, seules les données 1 et 2 peuvent être utilisées pour tirer une conclusion quant à l'influence de la couleur de l'emballage d'une crème glacée sur son temps de fonte. En effet, 1 et 2 ne diffèrent que par la couleur de l'emballage, alors que l'arôme et la masse sont identiques, de sorte que l'on sait avec certitude que la masse et l'arôme n'entraîneront pas de variations du temps de fusion. Ainsi, comme le temps de fusion des glaces 1 et 2 est le même et que les glaces ne diffèrent que par la couleur de l'emballage, on peut en déduire que la couleur de l'emballage n'a pas d'influence sur le temps de fusion.</p> <p>Le reste des données ne permet pas de tirer une conclusion, car les glaces varient en termes de parfum, de masse et de couleur de l'emballage, et il n'est pas possible de déterminer avec une certitude absolue dans quelle mesure chacune de ces variations affecte le temps de fonte de la glace, si tant est qu'elle l'affecte.</p>	<p>Variables de confusion : Le type de variable Peach n'est pas maintenu constant, de sorte que l'influence précise qu'il exerce sur la variable dépendante est inconnue, ce qui rend les résultats moins fiables.</p> <p>Les différents types de pêches peuvent intrinsèquement développer des quantités variables de sucres réducteurs et réagir différemment aux changements de température.</p> <p>Par conséquent, il n'y a pas de variation systématique dans cette expérience car des conditions autres que la température annuelle moyenne peuvent avoir eu un effet sur la variation des quantités de sucres réducteurs dans les pêches.</p> <p>Les groupes de contrôle ne sont pas indiqués. Un groupe de pêches de contrôle peut être ajouté par pays pour chaque température annuelle moyenne (C) donnée afin d'établir une base de comparaison de la quantité de sucres réducteurs dans les pêches en fonction de la variation de la température.</p> <p>Les données suggèrent que la température pourrait avoir un effet sur la teneur en sucre, mais des problèmes liés à la conception de l'expérience empêchent de tirer des conclusions définitives.</p> <p>La portée de l'inférence pourrait être élargie en obtenant des pêches d'autres pays, de sorte que l'affirmation générale concernant l'hypothèse soit plus solide.</p> <p>En outre, pour avoir confiance dans les données obtenues, une réplication supplémentaire est nécessaire. Cela peut se faire en achetant un plus grand nombre de pêches par pays pour différentes températures annuelles moyennes (C) (par exemple, 50 pêches de Chine cultivées à 15, 16 et 17 degrés Celsius respectivement) et en mesurant ensuite la quantité de sucres réducteurs qu'elles contiennent ou en répétant l'expérience à une date ultérieure (en considérant que les pêches sont cultivées dans les mêmes conditions plus tard au cours de la saison, dans une serre par exemple).</p>

	<p>Comme je n'ai pas confiance dans les données obtenues (principalement en raison du manque de réplication et de conception expérimentale), je ne suis pas en mesure de conclure si elles soutiennent l'hypothèse ou l'hypothèse nulle.</p> <p>Si les améliorations suggérées ci-dessus sont apportées à l'expérience et que des données plus fiables sont obtenues, les statistiques descriptives et inférentielles applicables peuvent être utilisées afin de tirer une conclusion pertinente.</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

En examinant la réponse à l'invite à la réflexion dans la question myDALITE, on voit clairement comment la réponse au post-test immédiat est devenue plus sophistiquée. STU\_233 a été très explicite dans la révision de sa réponse initiale et a utilisé la terminologie scientifique (voir la figure 5.19, le surlignage violet), qui a été introduite dans les supports de cours (voir les supports de cours dans l'annexe E). En outre, leurs réponses montrent le début d'une prise de conscience concernant l'argumentation scientifique, c'est-à-dire l'utilisation d'un *mandat* (explications théoriques/mécanismes) pour relier et expliquer la cohérence entre les *preuves* (les données) et les *affirmations* (interprétation des résultats). De même, l'*étayage* (analyse plus approfondie des preuves) contribue à renforcer la crédibilité.

### Figure 5.19

Les réponses au l'étayage myDALITE rédigées par le STU\_233.

<p>STU233 Explication du choix de la réponse myDALITE</p>	<p>Les améliorations suivantes peuvent être apportées à ma réponse initiale :</p> <p>1. Aucune mention n'a été faite de la théorie qui sous-tend l'expérience, à savoir que les couleurs plus foncées absorbent plus de lumière et peuvent donc chauffer plus rapidement, ce qui a amené George à poser la question au départ. En expliquant cela, les expérimentateurs comprendront mieux les étapes de l'expérience et les raisons qui les sous-tendent. [sensibilisation à l'inclusion d'un mandat]</p> <p>2. Il n'a pas été explicitement indiqué que la variable indépendante est la couleur de l'emballage et que la variable dépendante est le temps de fusion. C'est important pour éviter toute confusion, car d'autres variables sont également présentées dans le tableau de données (saveur, masse). [sensibilisation au langage scientifique spécifique]</p> <p>3. Il est bon que des variables de contrôle aient été présentées, car elles indiquent avec certitude que les données obtenues n'ont pas été influencées par elles (température, temps dans le congélateur). Toutefois, les variables confusionnelles qui auraient pu influencer le résultat de l'expérience auraient pu être davantage développées (parfum de la crème glacée, masse). Plutôt que de mentionner qu'elles peuvent influencer les résultats, expliquez quel type d'effet elles peuvent avoir. C'est essentiel car les expérimentateurs doivent s'assurer que leurs données ne sont pas affectées par ces variables confusionnelles, ce qui les conduirait à des conclusions potentiellement erronées. [sensibilisation au rôle des variables de contrôle, développement de la notion de fiabilité].</p>
	<p>4. Bonne indication de ce que les données recueillies pour 1 et 2 suggèrent d'envisager : Pas de variables confusionnelles. [La seule variable indépendante est différente (couleur différente de l'emballage). La variable dépendante (temps de fonte) enregistrée ne varie pas. Il est donc logique d'accepter l'hypothèse nulle.</p> <p>5. Aucune mention de l'hypothèse nulle dans le cadre de l'expérience. Ceci est très important car lorsqu'une expérience est terminée et que toutes les preuves ont été analysées, une conclusion doit être tirée selon que les preuves collectées sont en faveur de l'hypothèse ou de l'hypothèse nulle.</p> <p>6. Aucune mention de l'importance de la réplication/répétition dans une expérience. En ayant un nombre élevé de répétitions, les variations dans les données expérimentales sont moins susceptibles d'être influencées par une variable confusionnelle et plus probablement causées par la manipulation de la variable indépendante. [sensibilisation à la notion de fiabilité]</p>

En examinant le post-test différé, nous constatons que l'étude de cas STU\_233 a acquis des connaissances et des idées supplémentaires sur le processus de la démarche scientifique. Ils décrivent non seulement les variables spécifiques de l'étude, mais aussi la manière de contrôler les variables confusionnelles, d'assurer la fiabilité des données collectées et d'écrire sur les moyens d'assurer la validité des mesures prises (voir la figure 5.20).

**Figure 5.20**

L'explication pour le question au troisième partie du post-test différé, rédigées par le STU233.

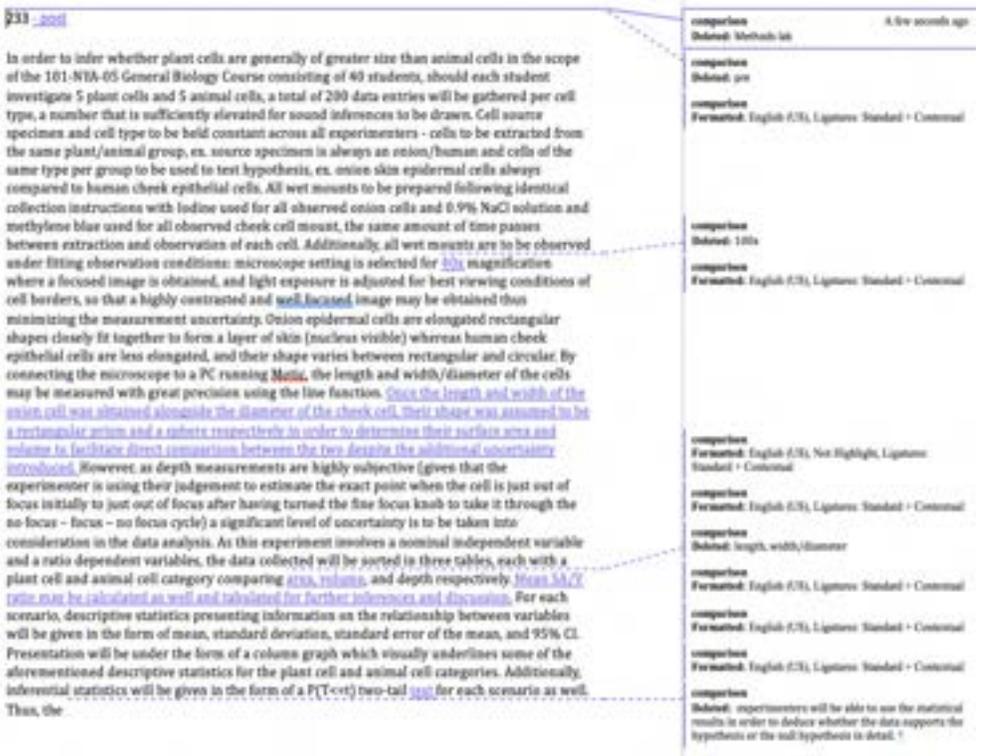
<p>STU233 Question du post-test différé</p> <p><b>Troisième partie :</b> Supposez que vous êtes un scientifique travaillant pour l'entreprise qui produit ces barres glacées. Sa principale préoccupation est de maximiser la durée pendant laquelle ses barres glacées peuvent rester solides en dehors d'un réfrigérateur.</p>	<p>Afin d'aider l'entreprise à répondre à son souci de maximiser la durée pendant laquelle ses barres de crème glacée restent solides à l'extérieur d'un réfrigérateur, il est impératif d'identifier la variable qui réduit le plus la durée. Ainsi, il [le facteur contributif] peut être éliminé [retiré du processus] ou de nouvelles techniques innovantes de préparation/conditionnement de la crème glacée peuvent être développées pour minimiser ses effets.</p> <p>[la question de recherche proposée] Question de recherche : Quel est l'effet de la présence de sucralose et de liants à la place du sucre dans les ingrédients des crèmes glacées ? Justification : En fonction des résultats observés, si le sucralose est identifié comme un ingrédient qui fait fondre la glace plus rapidement, des alternatives peuvent être recherchées pour le remplacer. De même, si le sucralose est identifié comme un ingrédient qui fait fondre la glace plus lentement, la recette peut être révisée afin de déterminer s'il est possible/avantageux d'augmenter la quantité contenue dans chaque glace. [réponses aux résultats possibles - équivalent aux réfutations]. Dispositif expérimental : Variable indépendante : Crème glacée à la vanille (N catégorisé) ; Variable dépendante : Temps de fonte ; Variables potentiellement confondantes : arôme - ne réaliser l'expérience qu'avec l'arôme vanille ; couleur de l'emballage - ne réaliser l'expérience qu'avec des emballages de même couleur (le blanc semble être le seul choix dans ce cas) ; masse - ne réaliser l'expérience qu'avec de la crème glacée de 80g. [identification des types de variables] Environnement pré-expérimental : L'environnement pré-expérimental dans lequel la glace est conservée est identique pour toutes les glaces (la température du congélateur dans lequel les glaces sont conservées est maintenue constante, les glaces sont conservées dans ledit congélateur pendant des périodes de temps identiques) [validité]. Température : Ne réalisez des expériences qu'à une température spécifique prédéterminée, maintenue constante pendant toute la durée de l'expérience. [Validité] Répétition : 50 crèmes glacées à tester afin d'établir un modèle clair qui démontre la présence ou l'absence de relation de cause à effet entre le sucre/sucralose et le temps de fonte de la crème glacée. [fiabilité] Expérience : Une glace à la vanille de 80 g est placée au congélateur immédiatement après la préparation du mélange (à une température donnée) pendant deux heures précises. [Les expérimentateurs veillent à ce que le contact entre leurs mains et la glace soit évité (ou réduit autant que possible) afin d'empêcher tout transfert de chaleur supplémentaire des mains à la glace. [La crème glacée est placée dans un endroit isolé (des facteurs extérieurs tels que la lumière du soleil, le vent, etc.) à une température stable de 26 degrés Celsius et le temps de fonte est enregistré en secondes dès que la crème glacée est complètement liquéfiée. Enregistrez les données puis répétez l'expérience. [Une fois l'expérience terminée, les données recueillies peuvent être étudiées et des conclusions peuvent en être tirées. Toutefois, des recherches plus approfondies et des expériences supplémentaires sont nécessaires pour obtenir des résultats fiables quant aux effets d'autres variables sur le temps de fonte (arôme, autres ingrédients spéciaux tels que le fudge/les fraises/les pépites de chocolat, la masse).</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Analyse de leur rapport de laboratoire OCLaRE pour STU\_233**

Le module 2 est utilisé pour examiner l'impact de l'étayage intégré dans la tâche de réflexion sur les méthodes et la rédaction de cette section. Ici, nous voyons que STU\_233 a été capable d'évaluer la qualité des sections de méthodes présentées comme un moyen d'aider les étudiant·e·s à développer une compréhension approfondie des critères et des normes attendus dans la communication des méthodes dans un rapport de laboratoire. La Figure 5.21 montre que l'unité STU\_233 a pu évaluer correctement les trois exemples et expliquer lequel était le plus complet. Ils ont également expliqué ce qu'ils espèrent changer dans leurs propres méthodes. Dans la révision de leur rapport, nous voyons qu'ils ont ajouté plus d'informations relatives à la procédure et qu'ils ont affiné les affirmations concernant l'analyse.

**Figure 5.21**

Le repose à l'étayage de réflexion au Module 2, rédigées par le STU\_233.

<p>STU233 : Module 2 réponse à l'étayage de réflexion</p>	<p>La troisième ne mentionne pas la variable de contrôle, n'indique pas comment traiter les données collectées et n'explique pas quel test utiliser. En revanche, la première section de la méthode énonce tout clairement, le test à utiliser et la formule à appliquer. La deuxième méthode montre un peu les formules. Pour ma propre méthodologie, j'ajouterai d'autres variables de contrôle car je n'en ai mis qu'une seule, ce qui est insuffisant.</p>
<p>Révision de la section sur les méthodes.</p>	

**Analyse de leur rapport final – Module 4 pour STU\_233**

Enfin, l'unité STU\_233 a soumis un rapport final qui a obtenu une note de 95 %, la moyenne de la classe étant de 84,4 %. Leur résumé était solide et démontrait une compréhension claire de l'expérience, de son objectif et de l'importance relative des résultats (voir la figure ainsi que les nuances qui ont été illustrées par d'autres, leurs méthodes, l'analyse des données et les sections de discussion contenaient de nombreux éléments qui montrent l'évolution de leur compréhension. Par exemple, leurs méthodes illustrent une prise de conscience des éléments clés du processus expérimental –c'est-à-dire, la compréhension de la fiabilité et de la validité dans la section des méthodes (voir la figure 5.22a). Leur section sur l'analyse des données montre qu'ils ont choisi les outils appropriés pour analyser et afficher les données. Enfin, leur section de discussion montre qu'ils ont compris les éléments de l'argumentation, tels que décrits par Toulmin, et qu'ils ont fourni à la fois des preuves de leurs affirmations, ainsi que des appuis et des justifications pour soutenir l'affirmation (voir la figure 5.22b).

**Figure 5.22a**

Analyse du section le résumé du rapport final du laboratoire STU233.

**Abstract**

This experiment studies the impact of the effects Natural and Sexual selection have on the Mean Spot Brightness of male *Poecilia reticulata* populations due to the increased presence of the aggressive predator *Crenicichla punctata*. *Poecilia reticulata* males evolved to display colorful patterns in order to increase their chance of being selected by females for mating. However, conspicuousness against a given environmental substrate represents an increased risk of being hunted down by visual predators. Thus, it is hypothesized that when prey color pattern deviates from the surrounding substrate an increased predatory pressure will lead the prey species to evolve in such a way that color pattern becomes more inconspicuous in order to increase survival, but still remains conspicuous enough for organisms to increase their chances of contributing to the next generations. To verify this hypothesis, several trials were observed for *Poecilia reticulata* in tanks where the environment and resources were held constant and the number of *Crenicichla punctata* was the sole variable being altered. The observed results of the Mean Male *Poecilia reticulata* Spot Brightness as *Crenicichla punctata* increased showed strong support for the Hypothesis that the increased presence of aggressive predators results in a decreased spot brightness in male *Poecilia reticulata*.

**Figure 5.22b**

La section sur les méthodes du rapport final de laboratoire de STU\_233.

**Materials and Methods**

In order to draw strong inferences regarding research on the effect of increased presence of aggressive predators on mean spot brightness in male *Poecilia reticulata*, a 1225-day long experiment observing approximately 12 generations of *Poecilia reticulata* (as the maximum life span of the experimental organisms is of 120 days) will be conducted.

To ensure no external factors affect the data, potentially confounding variables are to be held constant, including: tank substrate, maturity of *Poecilia reticulata* and *Crenicichla punctata*, type and amount of food consumed by *Poecilia reticulata*, presence of sunlight, as well as pH of water.

Initially, tanks with a muddy substrate are set to contain 40 *Poecilia reticulata* and 30 pieces of food. A control tank is to be established as per the aforementioned conditions where *Poecilia reticulata* mean spot brightness evolution can be observed in an environment free of predators in order to establish a baseline. Additional tanks containing 2, 4, and 6 predators respectively to be established as well so that the effect of increased predator numbers in the environment on the male *Poecilia reticulata* can be tracked over the 1225 day period for the 12 generations of male *Poecilia reticulata* as well. Each tank (Control, 2, 4, and 6 predators) to be reproduced 3 times, thus ensuring sufficient reproduction and avoiding outlier values significantly affecting the collected results.

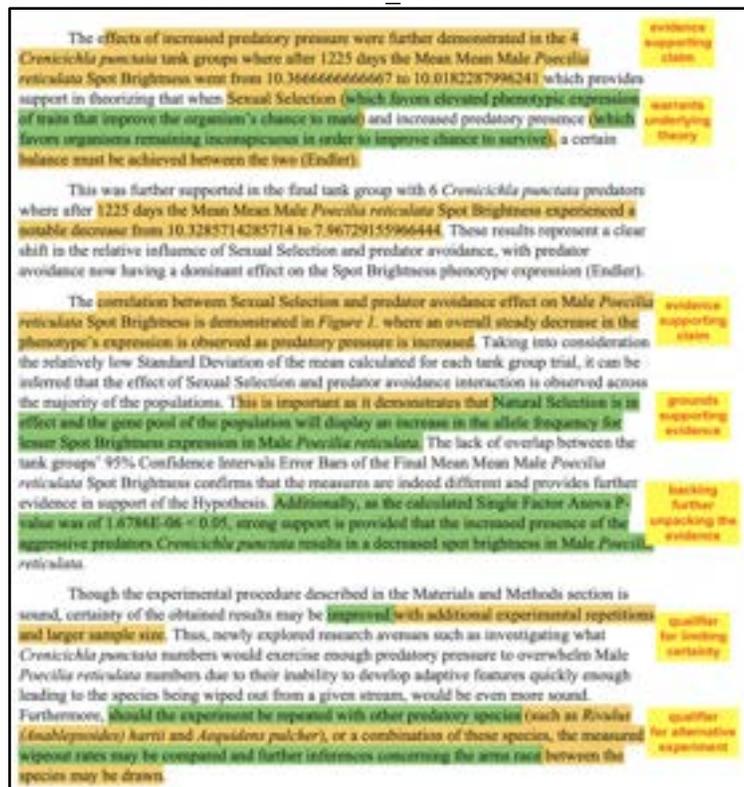
Firstly, a numerical scale ranging from 0 to 20 measuring individual *Poecilia reticulata* spot brightness is to be established. In order to obtain concrete data as to how spot brightness evolved in populations subjected to varying predatory pressures, mean spot brightness is to be calculated for each initial and final tank replication. Secondly, the mean of the initial and final mean per tank group (Control, 2, 4, and 6 predators) is to be determined. Thus, a bar graph with *Crenicichla punctata* (N) along the x-axis and Mean Male *Poecilia reticulata* Spot

validity assessment - establishing the measure

L'étude de cas STU\_233 a conçu une expérience pour montrer l'impact de l'augmentation du nombre d'espèces de *Crenicichla punctata* dans les populations de *Poecilia reticulata*. Ils ont affirmé que cela permettrait de démontrer la relation entre la sélection naturelle et la sélection sexuelle dans le contexte de la pression prédatrice et de la nécessité de survie. Ils expliquent la figure de la manière suivante : « Au départ, la luminosité moyenne des taches des mâles de *Poecilia reticulata* est d'une valeur relativement égale dans chaque bassin, car la randomisation des spécimens a minimisé l'influence des variables potentiellement confondantes. La comparaison de la luminosité moyenne initiale et finale des *Poecilia reticulata* mâles par groupe d'aquarium montre dans quelle mesure le nombre de *Crenicichla punctata* affecte le développement du phénotype de la luminosité des taches. En outre, lorsque le nombre de *Crenicichla punctata* augmente régulièrement, une diminution régulière de la luminosité moyenne des *Poecilia reticulata* mâles est observée dans l'ensemble. » Enfin, la section de discussion rédigée par STU\_233 est un argument sophistiqué qui présente sa preuve et l'étaye à la fois par un soutien et des

motifs (voir la figure 5.22c). En outre, ils relient leurs preuves aux données avec des justifications qui sont à la fois fondées sur la théorie, mais aussi examinées dans le cadre de leur expérience de contrôle.

**Figure 5.22c**  
Section de discussion de la STU\_233.



## 5.8 Faible à faible : L'étude de cas « STU\_239 »

### 5.8.1 La trajectoire de la progression d'étudiant·e STU\_239

L'étude de cas de l'étudiant STU\_239 (identité anonyme) a commencé avec une faible compréhension de la démarche scientifique, comme évalué par le pré-test crème glacée de George (score codé = 17/100) ; et, leur post-test immédiat a été codé comme inférieur à la moyenne (score codé = 70,8/100). Ils ont ainsi obtenu un gain du prétest au post-test immédiat (gain brut = 54 ; gain normalisé = 65). Leurs résultats au post-test différé suivant ont également montré une incohérence dans la mesure où leurs scores ont augmenté (scores codés = 100/100). Leur note finale en laboratoire était toutefois supérieure à la moyenne (STU241 = 28,4, moyenne de la classe = 31,5). Leur note globale pour le cours était dans le quartile supérieur (note du cours = 72% ; moyenne de la classe = 81,6%).

L'analyse thématique nous permet de montrer plus clairement les changements intervenus dans les explications des étudiant·e·s. Dans le pré-test, ils montrent une faible compréhension des problèmes (voir la figure 5.23). Le post-test immédiat montre une nette augmentation du niveau de compréhension des concepts chez STU\_239.

**Figure 5.23**

Étude de cas STU239, codage des réponses fournies pour le pré-test et le post-test immédiat.

Résultats du pré-test crème glacée de George	Résultats isomorphes au post-test immédiat
<p>Sur la base des données recueillies, nous pouvons conclure que l'hypothèse de George est inexacte : la couleur de l'emballage de la glace n'affecte pas le temps de fonte. Par exemple, le temps de fonte des deux glaces au citron reste le même, malgré les différentes couleurs de l'emballage. Par ailleurs, le temps de fonte de la glace au chocolat semble varier en fonction de la couleur de l'emballage, mais il y a également une différence de poids. On peut supposer que l'emballage jaune a mis plus de temps à fondre, simplement parce qu'il contient une plus grande quantité. Enfin, la glace à la fraise met un peu plus de temps à fondre que la glace à la vanille, en raison de la différence de consistance et non de la couleur de l'emballage. En revanche, il serait plus utile pour l'expérience de comparer deux glaces de la même couleur afin d'évaluer les éventuels changements de temps de fonte tout en contrôlant les autres variables. [fiabilité]</p>	<p>Sur la base du plan d'expérience du biochimiste et des données recueillies, nous ne pouvons pas déterminer si la température moyenne annuelle affecte ou non la teneur en sucre des pêches. Les variables utilisées sont incohérentes : les types de pêches changent, de même que les pays où les pêches sont récoltées. [Il y a donc deux variables "indépendantes" dans cette expérience, ce qui aboutirait à des conclusions peu concluantes ou inexactes. Je suggérerais un plan d'expérience différent, dans lequel nous aurions plusieurs pêches (du même type) provenant de différents pays, ainsi que plusieurs variations de température pour chaque pays. Cela permettrait de mieux déterminer si la teneur en sucre des pêches dépend de la température.]</p>

En examinant la réponse à l'invite à la réflexion dans la question myDALITE, on voit clairement comment la réponse au post-test immédiat est devenue plus sophistiquée. STU\_239. Par rapport aux autres études de cas, nous constatons que cet étudiant·e n'a pas essayé de développer les questions de réflexion de myDALITE (voir la figure 5.24).

**Figure 5.24**

Les réponses au l'étayage myDALITE rédigées par le STU\_239.

<p>STU239 Explication du choix de la réponse myDALITE</p>	<p>Votre réponse est sur la bonne voie ; vous avez mentionné la conception expérimentale défectueuse et les données qui ne fournissent pas beaucoup d'informations. Cependant, votre réponse pourrait être améliorée en mentionnant également l'absence de réplication, car elle peut contribuer à fournir des résultats plus précis.</p>
---------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

En examinant le post-test différé, les données suggèrent que l'étude de cas STU239 a tenté de répondre à la question (voir la figure 5.25).

**Figure 5.25**

L'explication pour le question au troisième partie du post-test différé, rédigées par le STU239.

<p>STU239 Question du post-test différé</p> <p><b>Troisième partie :</b> Supposez que vous êtes un scientifique travaillant pour l'entreprise qui</p>	<p>La couleur de l'emballage a-t-elle un effet sur le temps de fonte des pots de crème glacée ? Changer les arômes, les ingrédients spéciaux et les tailles disponibles représenterait un véritable problème et une refonte de la chaîne de production. Si un changement aussi simple que la couleur de l'emballage peut maximiser le temps pendant lequel les barres de crème glacée peuvent rester solides à l'extérieur d'un réfrigérateur, ce serait la meilleure voie à suivre. Cette hypothèse pourrait être testée en achetant un assortiment d'emballages de différentes couleurs, tous fabriqués à partir du même matériau. [L'hypothèse pourrait ensuite être testée en maintenant toutes les variables constantes [fiabilité] (parfum de la crème glacée, taille, version, ingrédients spéciaux, température ambiante pendant le test, environnement de test, surface de test, éclairage, etc. Les données pourraient ensuite</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

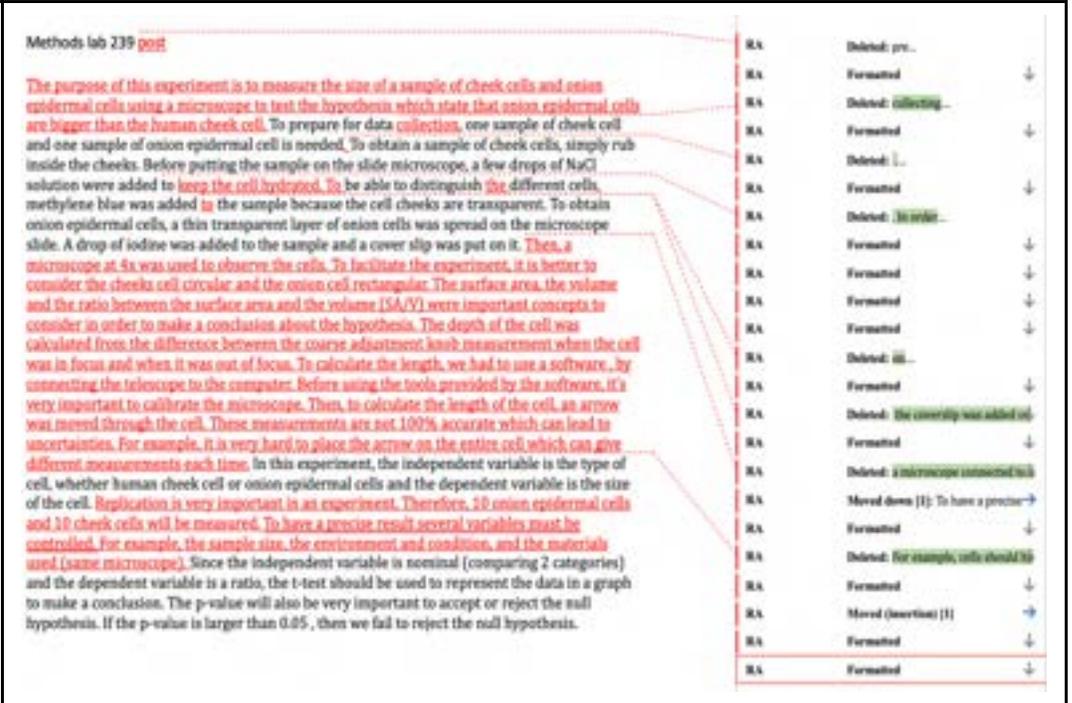
<p>produit ces barres glacées. Sa principale préoccupation est de maximiser la durée pendant laquelle ses barres glacées peuvent rester solides en dehors d'un réfrigérateur.</p>	<p>être analysées afin de déterminer si la couleur de l'emballage a une quelconque influence sur le temps de fonte des barres glacées. D'autres tests devront ensuite être effectués pour déterminer les effets des autres variables et la manière dont elles interagissent les unes avec les autres afin de déterminer la meilleure façon de résoudre le problème.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*Analyse de leur rapport de laboratoire OCLaRE pour STU\_239*

Le module 2 est utilisé pour examiner l'impact de l'étayage intégré dans la tâche de réflexion sur les méthodes et la rédaction de cette section. Nous voyons ici que STU239 [REEMPLIR]. (voir la figure 5.26).

**Figure 5.26**

Le repose à l'étayage de réflexion au Module 2, rédigées par le STU\_239.

<p>STU239 : Module 2 réponse à l'étayage de réflexion</p>	<p>J'aurais été plus précis sur la façon de mesurer la taille des cellules avec l'ordinateur portable et j'aurais spécifié le groupe de contrôle, à savoir la température. J'aurais expliqué comment les données auraient été manipulées aux fins de l'analyse. J'aurais également dû préciser les sources potentielles d'incertitudes susceptibles d'affecter la confiance dans les résultats et les conclusions. Je n'ai pas inclus de réplication suffisante pour détecter un effet statistiquement et biologiquement significatif.</p>
<p>Révision de la section sur les méthodes.</p>	 <p>The screenshot shows a document editor with a lab report draft on the left and a revision pane on the right. The draft text is highlighted in red, indicating changes. The revision pane shows a list of changes with columns for 'R.A.', 'Deleted: ...', and 'Formatted: ...'. The changes include: 'Deleted: pre...', 'Formatted: ...', 'Deleted: collecting...', 'Formatted: ...', 'Deleted: I...', 'Formatted: ...', 'Deleted: the result...', 'Formatted: ...', 'Formatted: ...', 'Formatted: ...', 'Formatted: ...', 'Deleted: the...', 'Formatted: ...', 'Deleted: the covering was added to...', 'Formatted: ...', 'Deleted: I microscope connected to...', 'Moved down (1): To have a precise...', 'Formatted: ...', 'Deleted: for example, cells should be...', 'Formatted: ...', 'Moved (insertion) (1): ...', 'Formatted: ...', and 'Formatted: ...'.</p>

**Figure 5.27**

Analyse du section Discussion du rapport final du laboratoire STU239.

STU239	<p><b>Discussion:</b></p> <p>The results of this study display that the hypothesis for this experiment is correct, and that predation does influence the different levels of spot brightness amongst male guppies in different streams. The graphical representation of the collected data clearly shows recurring trends within the variables. Furthermore, the provided p-value of <math>6.937 \times 10^{-203}</math> is significantly minuscule, denoting that there is in fact a relationship between the independent and dependent variables, and mainly that the null hypothesis can be rejected. The correlation between both variables is logical due to the previously known information about natural selection and evolution, but the experimental data gathered provides support for these theories, concluding that they do in fact apply in real life. <span style="float: right;">reliability</span></p> <p>The reasoning behind some of the slightly differing results presumably occur from the parental generation of guppies. The 40 guppies in each stream did not start with the exact same spot brightness levels, which could affect the levels of conspicuousness in the next generations. This can be assumed from the knowledge that spot brightness is a heritable trait. Furthermore, another uncertainty factor concerning the p generation would be that the guppy samples don't start out with equal numbers of males and females. The 40 fish are introduced into the streams randomly, therefore there might be more of one gender than the other. A way to prevent <span style="float: right;">reliability</span></p>
--------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

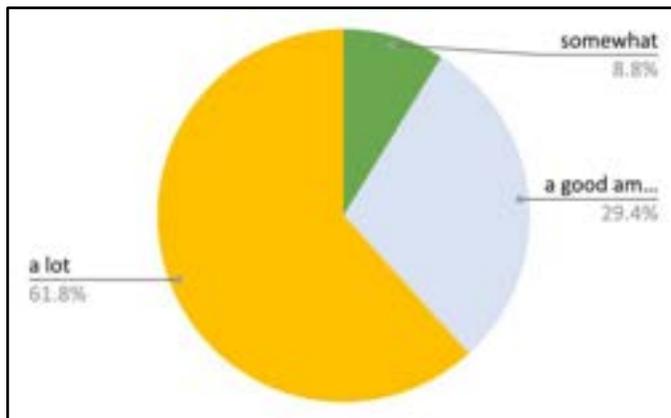
## 5.9 Résultat des enquêtes

### 5.9.1 Enquête post-intervention

À la fin du semestre, les étudiant·e·s ont répondu à une enquête post-intervention (10 questions) sur leur perception de l'expérience du cours de biologie laboratoire par enquête. Dans l'ensemble, les étudiant·e·s ont apprécié le cours et ont déclaré que l'approche les avait aidés à apprendre la biologie. La figure 5.28a montre les résultats de leurs réponses. Sur une échelle de Likert, toutes les réponses étaient positives, avec 61,8 % de réponses très positives (beaucoup), 29,4 % de réponses positives (beaucoup) et seulement 8,8 % de réponses peu positives (un peu).

**Figure 5.28a**

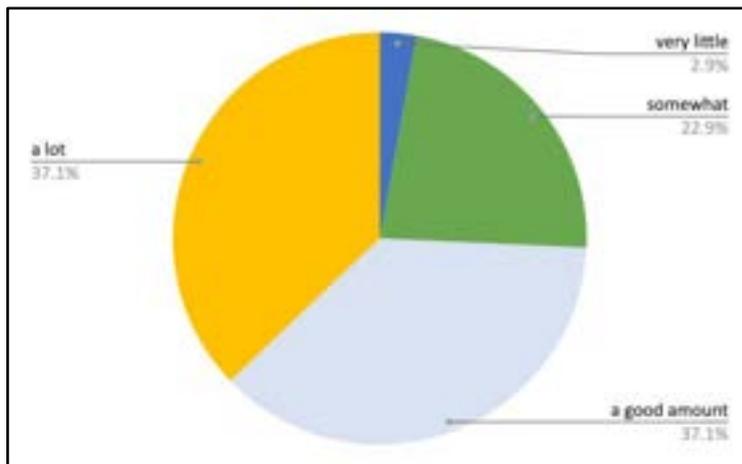
Réponse des étudiant·e·s à la question : Cette approche vous aide-t-elle à apprendre la biologie ?



Cette approche a également permis à une majorité d'étudiant·e·s de se sentir comme un scientifique. Lorsqu'on leur a demandé d'indiquer dans quelle mesure ils y étaient parvenus, les résultats ont été les suivants : 37,1 % très positifs (beaucoup), 37 % positifs (un peu), 22,9 % peu engagés (un peu) et 2,9 % négatifs (très peu).

**Figure 5.28b**

Réponse des étudiant·e·s à la question : Cette approche vous aide-t-elle à vous sentir scientifique ?



### 5.9.2 Réponses libres

Une autre question demandait aux étudiant·e·s d'écrire ce qu'ils comprenaient d'un laboratoire basé sur l'investigation. Au lieu de cela, la majorité des étudiant·e·s ont considéré que cette mise en œuvre du laboratoire par enquête consistait à réaliser des laboratoires en posant des questions. Voici quelques exemples typiques :

- *Les laboratoires basés sur l'investigation consistent à réaliser une expérience ou une analyse à partir d'une question ou d'un sujet que vous trouvez intéressant et sur lequel vous souhaitez en savoir plus. Il se peut que vous trouviez un sujet intéressant ou que vous ayez une question sur la véracité d'une chose ou que vous vouliez prouver une affirmation pour vous assurer qu'elle est vraie ; vous pouvez réaliser une expérience et une recherche pour analyser plus avant votre question.*

- *Je pense que cela signifie que nous faisons des laboratoires basés sur des questions qui sont posées pour mieux comprendre nos connaissances sur un certain sujet.*
- *Je pense que le terme "enquête" signifie que l'on évalue une expérience de recherche en répondant à une question de recherche à l'aide d'une hypothèse formulée avant l'expérience.*

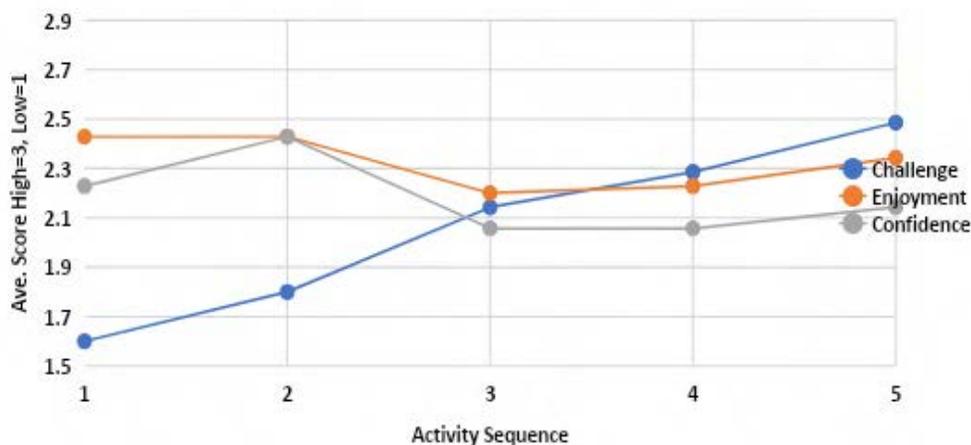
Un petit nombre des 21 étudiant·e·s ont identifié un aspect affectif du laboratoire par enquête. Leurs déclarations contiennent des références au résultat de ce type de pédagogie, à savoir l'augmentation du plaisir et du sentiment d'autonomie. Voici quelques exemples de ces réponses :

- *Un laboratoire basé sur l'enquête consiste à recueillir des informations puis à en discuter afin de tirer des conclusions et d'en apprendre davantage sur le sujet. Ce type de laboratoire permet de poser davantage de questions, ce qui conduit à davantage d'expérimentations et de discussions. Les observations sont également nécessaires pour recueillir des informations afin de formuler des hypothèses.*
- *À mon avis, les laboratoires fondés sur l'investigation aident les étudiant·e·s de plusieurs façons. Tout d'abord, ils les incitent à explorer davantage de liens avec le monde réel et à poser des questions de haut niveau. Deuxièmement, cela permet de susciter la curiosité des étudiant·e·s. Les étudiant·e·s s'engagent davantage dans leur apprentissage, s'exercent à prendre des décisions critiques concernant les hypothèses et les prédictions, et conçoivent leurs expériences pour tester leur raisonnement. Cette méthode est plus centrée sur l'élève, car elle favorise ses intérêts et l'aide à être plus créatif dans sa façon d'aborder les sujets scientifiques et à comprendre comment sa décision dans la conception de l'expérience peut influencer la confidentialité de ses résultats.*

Le succès de l'approche globale du laboratoire par enquête est certainement dû au fait que l'approche a été bien accueillie par les étudiant·e·s, puisqu'ils ont fait part d'un niveau de satisfaction élevé et constant tout au long du semestre (voir la figure 5.29), que 77 % des étudiant·e·s ont indiqué que les supports étaient faciles à utiliser (23 % parfois difficiles à utiliser, 0 % totalement difficiles) et que tous les étudiant·e·s ont déclaré que l'approche du laboratoire les avait aidés à apprendre à s'engager dans les sciences biologiques (60 % beaucoup, 31 % assez, 9 % quelque peu).

**Figure 5.29**

Résultats de l'enquête de fin de semestre demandant aux étudiant·e·s d'évaluer le défi et leur niveau de confiance et de plaisir pour chaque module.



## 5.10 Discussion

### 5.10.1 Le point de vue d'enseignant

En fin de compte, les documents finaux étaient de grande qualité, indiquant au moins que les étudiant·e·s étaient capables de mener à bien une tâche scientifique complexe exigeant qu'ils fassent de nombreux choix tout au long de la démarche scientifique. Il est important de noter que les étudiant·e·s semblent également avoir été raisonnablement confiants dans leur capacité à le faire, bien qu'ils aient perçu une augmentation progressive du défi associé à chaque module successif et un degré élevé de défi pour le module 5. Ces résultats semblent indiquer que nos nombreux étayages ont non seulement réussi à soutenir les étudiant·e·s tout au long du semestre, mais qu'ils ont également favorisé l'apprentissage des pratiques et des démarches scientifiques, étant donné que la plupart des étayages ont été supprimés pour le module 5 et que les niveaux de confiance ont été maintenus.

Compte tenu de la nature de ce projet praticien-chercheur, il est important de noter que les différentes parties prenantes perçoivent les résultats différemment. L'instructeur du cours a été plus intéressé par les résultats du module final, qui demandait aux étudiant·e·s d'entreprendre et de prendre des décisions tout au long de la démarche scientifique, chacune d'entre elles ayant un impact sur les décisions en aval et ayant des conséquences sur le produit final. Ainsi, bien que l'ensemble de notre intervention laboratoire par enquête puisse être perçu comme fournissant simplement un algorithme à suivre de la méthode scientifique, les étudiant·e·s n'auraient pas pu produire les articles de haute qualité soumis pour le module final ouvert simplement en suivant une recette. Le résultat pourrait plutôt être perçu comme ayant fourni aux étudiant·e·s un ensemble itératif de pratiques de prise de décision, axées initialement sur chaque étape du processus séparément, mais que les étudiant·e·s ont finalement été en mesure de compiler avec succès, peut-être en raison de l'accent que nous avons mis tout au long de l'intervention sur la nécessité de considérer chaque étape dans le contexte de l'ensemble.

Entre-temps, les chercheur·e·s étaient curieux et sceptiques, et ils ont continué à examiner les résultats de chaque module et les étayages qui ont été utilisés et ceux qui ne l'ont pas été. En particulier, le rôle joué par OCLaRE est l'un des points à approfondir. Ces données doivent encore être examinées de près pour déterminer comment la lecture d'un article scientifique complet dans le cadre de l'activité « compléter un journal » a facilité la compréhension du processus expérimental dans son ensemble.

En résumé, d'après les données collectées et analysées à ce jour, il semble que donner aux étudiant·e·s la possibilité de prendre des décisions pour toutes les étapes de la démarche scientifique, à l'exception de la formulation d'une question de recherche, soit un défi et nécessite la conception d'étayages supplémentaires. De l'avis de notre instructeur, les étudiant·e·s ont effectivement montré leur capacité à relever le défi, évaluée par la qualité de leurs rapports de laboratoire finaux. En outre, la plupart des étudiant·e·s ont affiché des niveaux de compétence acceptables à impressionnants pour chaque étape de la démarche scientifique et des résultats, évalués par une grille d'évaluation conçue pour un cours de biologie typique. Ainsi, du point de vue du praticien, cette approche du laboratoire par enquête peut être considérée comme une réussite et pourrait servir de modèle à d'autres enseignants de biologie ayant des étudiant·e·s de première année de licence. Du point de vue du chercheur, cette étude de cas, de ce que nous appelons un modèle laboratoire par enquête de « progression conceptuelle », donne des indications sur le processus de conception et d'étayage pour l'autonomie des étudiant·e·s et la libération de l'agence.

## 5.11 Références (chapitre cinq)

- Adams, R., Jackson, P., Lenton, K., Dugdale, M., Whittaker, C., Lasry, N., & Charles, E. S. (2019, May). Error-detection tasks and peer feedback for engaging physics students. In *Education and Training in Optics and Photonics* (p. 11143\_95). Optica Publishing Group.
- Ausubel, D.P. (1978). In defense of advance organizer, a reply to critics, Retrieved from ERIC.

- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science education*, *94*(4), 577-616. DOI 10.1002/sce.20390
- Brewe, E. (2011). Energy as a substance like quantity that flows: Theoretical considerations and pedagogical consequences. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, *7*(2). DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.7.020106
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1995). Situated cognition and the culture of learning. Subject learning in the primary curriculum: Issues in English, science and mathematics. 301-319.
- Buck, L. B., Bretz, S. L., & Towns, M. H. (2008). Characterizing the level of inquiry in the undergraduate laboratory. *Journal of college science teaching*, *38*(1), 52-58.
- Clark, R. E., Feldon, D. F., Van Merriënboer, J. J., Yates, K. A., & Early, S. (2008). Cognitive task analysis. In *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 577-593). Routledge.
- Coburn, C. E., & Penuel, W. R. (2016). Research–practice partnerships in education: Outcomes, dynamics, and open questions. *Educational researcher*, *45*(1), 48-54. <https://doi.org/10.3102/0013189X16631750>
- Dillenbourg, P., & Jermann, P. (2007). Designing integrative scripts. In *Scripting computer-supported collaborative learning* (pp. 275-301). Springer, Boston, MA.
- Endler, J. A. (1980). Natural selection on color patterns in *Poecilia reticulata*. *Evolution*, *34*(1), 76-91.
- Hammer, D. (2000). Student resources for learning introductory physics. *American journal of physics*, *68*(S1), S52-S59. <https://doi.org/10.1119/1.19520>
- Hammer, D., & Schifter, D. (2001). Practices of inquiry in teaching and research. *Cognition and Instruction*, *19*(4), 441-478. DOI: 10.1207/S1532690XCI1904\_2
- Hennessey, M. G., & Beeth, M. E. (1993). Students' Reflective Thoughts about Science Content: A Relationship to Conceptual Change Learning.
- Hoover, J. D., & Giambatista, R. C. (2009). Why have we neglected vicarious experiential learning?. In *Developments in Business Simulation and Experiential Learning: Proceedings of the Annual ABSEL conference* (Vol. 36).
- Linn, M. C., Clark, D., & Slotta, J. D. (2003). WISE design for knowledge integration. *Science education*, *87*(4), 517-538.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a response to Kirschner, Sweller, and Clark. *Educational psychologist*, *42*(2), 99-107. <https://doi.org/10.1080/00461520701263368>.
- Holmes, N., & Bonn, D. (2013). Doing science or doing a lab? Engaging students with scientific reasoning during physics lab experiments. 2013 Physics Education Research Conference Proceedings.
- Holmes, N. G., Keep, B., & Wieman, C. E. (2020). Developing scientific decision making by structuring and supporting student agency. *Physical Review Physics Education Research*, *16*(1).DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010109
- McDermott, L. C. (1995). *Physics by Inquiry: An Introduction to Physics and the Physical Sciences, Volume 2*. John Wiley & Sons.
- Merriam, S. B. (1998). *Qualitative Research and Case Study Applications in Education. Revised and Expanded from "Case Study Research in Education."*. Jossey-Bass Publishers, 350 Sansome St, San Francisco, CA 94104.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1984). Drawing valid meaning from qualitative data: Toward a shared craft. *Educational researcher*, *13*(5), 20-30.
- Novak, J. D. (2003). The promise of new ideas and new technology for improving teaching and learning. *Cell biology education*, *2*(2), 122-132. <https://doi.org/10.1187/cbe.02-11-0059>
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University press.
- Patton, M. Q. (1990). *Qualitative evaluation and research methods*. SAGE Publications, inc.
- Redish, E. F., & Hammer, D. (2009). Reinventing college physics for biologists: Explicating an epistemological curriculum. *American Journal of Physics*, *77*(7), 629-642.

- Reynolds, J. A., Thaiss, C., Katkin, W., & Thompson, R. J., Jr. (2012). Writing-to-learn in undergraduate science education: a community-based, conceptually driven approach. *CBE Life Sci Educ*, *11*(1), 17-25. <https://doi.org/10.1187/cbe.11-08-0064>
- Strømsø, H. I., Bråten, I., & Samuelstuen, M. S. (2008). Dimensions of topic-specific epistemological beliefs as predictors of multiple text understanding. *Learning and Instruction*, *18*(6), 513-527. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.11.001>
- Samuelsson, C. R. (2023). Resourceful students: Engaging students in active and systematic investigations in laboratories involving thermal phenomena (Doctoral dissertation, Acta Universitatis Upsaliensis).
- Vygotsky, L. S. (1962). *The Development of Scientific Concepts in Childhood*.
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of child psychology and psychiatry*, *17*(2), 89-100.

## CHAPITRE SIX : Objectif 4

---

### 6.1 Le transfert de connaissances : une question de planification

Pour que les résultats d'une recherche soient pertinents pour les parties prenantes à qui ils s'adressent et qu'ils aient l'opportunité d'être intégrés dans une pratique professionnelle, la création de ces résultats par l'équipe de recherche doit s'accompagner d'un solide dispositif de transfert de connaissances. Selon la définition proposée par les Fonds de recherche du Québec (FRQ), « [l]e transfert de connaissances est l'ensemble des efforts consentis pour contribuer à faire connaître et reconnaître les activités et les résultats de recherches en vue de leur utilisation par les milieux de pratique, les décideurs et le grand public » (Fonds de recherche sur la société et la culture, 2011).

Ce chapitre, en plus de traiter de la question de recherche associée à l'objectif 4 (voir ci-dessous) propre à la recherche elle-même, décrit notre expérience dans la mise en place des outils de transfert des connaissances en lien avec cette recherche. En particulier, les activités de transfert de connaissances ont été concentrées autour de la création et de l'animation de communautés de pratique (CdP). En amont de la recherche, au courant de la recherche, et même à l'issue de celle-ci, les CdP nous ont permis de demeurer près des préoccupations des principaux utilisateurs des connaissances de notre étude : les professeur·e·s de sciences du niveau collégial québécois.

- Q4.b Comment peut-on soutenir et favoriser l'évolution d'enseignant·e·s vers l'adoption de laboratoires par enquête, tout en encourageant leur collaboration mutuelle pour un changement fructueux ?

### 6.2 Des communautés de pratique pour rejoindre les professeur·es

Dès la conception de notre recherche, en plus des objectifs propres à la recherche elle-même, nous avions l'intention de prévoir des outils de transfert des connaissances en lien avec cette recherche. Nos intentions à ce sujet passaient en particulier par la création, le développement et le soutien de CdP. Nous souhaitions fournir aux professeur·e·s de biologie, chimie et physique de tous les cégeps, anglophones et francophones, des lieux de rencontre pour discuter de leurs préoccupations pédagogiques. La dualité linguistique de ce projet, unique, à notre connaissance, à notre projet de recherche par rapport aux autres recherches enseignement des sciences de la nature au collégial, nous permettait d'assurer une meilleure pénétration des retombées sur l'ensemble du réseau.

Des initiatives de CdP existaient déjà, parrainées par le groupe SALTISE (*Supporting Active Learning & Technological Innovation in Studies of Education*) dans le milieu anglophone. Des petits groupes de professeur·e·s de chimie, d'une part, et de physique, d'autre part, se réunissaient déjà pour échanger des pratiques pédagogiques innovantes. Suivant cet exemple, notre souhait était d'étendre ces CdP et en créer de nouvelles, notamment en français, et en biologie.

Au départ, ces CdP visaient le transfert de connaissances issues de la recherche vers les praticien·ne·s de l'enseignement. Elles ont d'abord servi à animer des ateliers pour présenter les résultats de la recherche, d'abord auprès de l'ensemble des professeur·e·s de sciences du collégial, puis, de façon plus ciblée, auprès de groupes de celles et ceux qui souhaiteraient implanter la pédagogie par enquête et qui pourraient alors poursuivre les travaux débutés dans les CdP. La pérennité des CdP visait alors à raffiner le modèle en multipliant le nombre d'itérations d'expérimentation. L'existence de telles CdP nous apparaissait une avenue intéressante pour que le savoir autour de cette pédagogie continue à être co-construit par les praticien·ne·s et les chercheur·e·s, même au terme du projet de recherche.

### 6.2.1 Les difficultés du transfert des connaissances

*Note : cette section est une adaptation de l'article A community of practice to bridge research and practice in science education que nous avons fait paraître dans les actes du congrès de l'ISLS (International Society of the Learning Sciences), tenu à Montréal en juin 2023 (Cormier et al., 2023).*

Les avancées dans la recherche en éducation sont souvent ignorées par les praticiens, notamment ceux qui enseignent dans le domaine des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STIM) dans les établissements postsecondaires (Ma et al., 2019). Malgré des preuves solides de l'efficacité de nombreuses approches pédagogiques, de nombreux praticiens ont du mal à adopter ces pratiques en classe (Marion & Houlfort, 2015). Les professeur·e·s signalent un certain nombre d'obstacles entravant leur capacité à changer, tels que le temps, leur identité personnelle et leurs croyances sur l'enseignement, la culture départementale et institutionnelle, et l'absence d'incitations à changer leur approche pédagogique (Brownell et al., 2013; Henderson et al., 2011).

La recherche a montré que le transfert de connaissances en éducation est difficile à réaliser (Becheikh et al., 2010) et la capacité des praticiens à mobiliser et à appliquer de nouvelles connaissances dans la pratique est difficile pour un certain nombre de raisons (Hemsley-Brown, 2005). Traditionnellement, les chercheur·e·s présentent leurs innovations, ainsi que les preuves à l'appui de leur efficacité, par des moyens conventionnels de diffusion, mais ces approches se sont avérées inefficaces pour inciter les praticiens à adopter de nouvelles stratégies pédagogiques (Henderson et al., 2011).

D'un autre côté, les écrits de recherche suggèrent plusieurs approches efficaces pour encourager le changement. Ces stratégies se caractérisent par i) des objectifs ciblés, ii) des efforts coordonnés par les personnes impliquées, iii) des structures pour fournir du temps pour travailler sur ces objectifs sur des périodes prolongées, iv) des mécanismes d'évaluation des performances et de retour d'information (*feedback*) et v) l'intention explicite de changer les perceptions du corps enseignant (Fullan et al., 2018; Henderson et al., 2011). En outre, la remise en question du statu quo, avoir un plan d'action clair, être capable de recruter activement de nouveaux alliés et tirer une confiance personnelle de sa collaboration avec les autres sont des caractéristiques des stratégies de changement réussies (Fullan et al., 2018). Enfin, les agents de transfert des connaissances, des personnes pouvant servir d'intermédiaires entre les chercheur·e·s et les praticiens, peuvent s'avérer utiles pour communiquer les besoins immédiats et les préoccupations des praticiens aux chercheur·e·s, ainsi que pour transmettre les résultats de la recherche aux praticiens dans une boucle de rétroaction (Becheikh et al., 2010), garantissant ainsi que le transfert de connaissances est atteint.

Le transfert de connaissances en éducation est un domaine qui recèle plusieurs difficultés (Landry et al., 2008; Perrenoud et al., 2008). En effet, trop souvent, le transfert des connaissances est perçu par les chercheuses et les chercheur·e·s comme un événement postérieur à la recherche et extérieur à celle-ci (Dagenais et Ridde, 2015).

Mais en tant que chercheur·e·s, en particulier en éducation, il est impératif de rester alignés sur les besoins des praticiens. Il est reconnu que les professeur·e·s ont un rapport au savoir au sujet de l'éducation plus pratique que théorique (Marion et Houlfort, 2015), ce qui les pousse à se désintéresser des études pour lesquelles ils ne voient pas la possibilité d'application dans le contexte de leur classe. Toutefois, une dissonance existe entre praticiens et chercheur·e·s parce que les outils de diffusion des connaissances les plus fréquemment envisagés et mis en pratique sont les présentations scientifiques en congrès. Si cette activité de diffusion des connaissances générées par la recherche est essentielle à la construction et à la transmission du savoir, elle ne constitue pas à proprement parler une activité de transfert des connaissances.

Le transfert des connaissances se distingue de la simple diffusion des connaissances en ceci que les utilisateurs des connaissances font partie de la démarche tout au long du projet et que leurs intérêts, besoins et préoccupations, de même que leur niveau de connaissances sur le sujet, sont tenus en compte par les chercheur·e·s (Dagenais et Ridde, 2015). Le transfert est aussi prévu en amont de la recherche et se déroule en continu, au fil des

activités de recherche. C'est dans cette perspective que nous avons conçu notre projet, dont la création et l'animation des CdP constituaient le vecteur du transfert des connaissances.

## 6.2.2 Communauté de pratique et transfert de connaissances

Les communautés de pratique ont été décrites par Étienne Wenger (2005) comme des lieux où la participation sociale dans un groupe formé autour d'enjeux partagés par les membres permet à la fois d'apprendre les uns des autres, de répondre à nos besoins sociaux d'appartenance, mais aussi de forger et d'affiner notre façon d'agir et la façon dont on se perçoit dans le groupe. Les communautés de pratique peuvent servir à contourner les défis associés au transfert de connaissances.

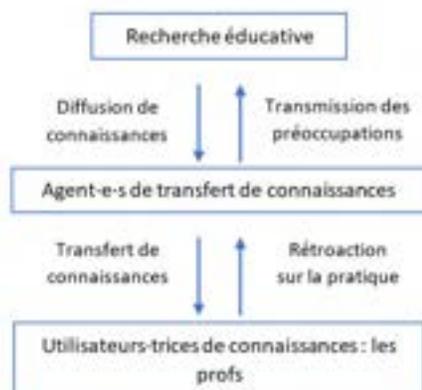
Ancrées dans la théorie du changement, les CdP fournissent des forums pour que les professeur·e·s partagent leurs préoccupations concernant l'enseignement, conçoivent collaborativement des solutions possibles à ces défis, apprennent les meilleures pratiques et participent ainsi à la réforme éducative (Abigail, 2016; Gehrke et Kezar, 2017). Grâce à un mélange de partage de connaissances, de création de connaissances, de construction d'identité et d'interaction sociale, les CdP peuvent être des vecteurs positifs pour engager le corps enseignant dans l'adoption de pratiques nouvelles (Abigail, 2016). Une CdP comprenant des membres agissant en tant qu'agents de transfert peut fournir un mécanisme grâce auquel le transfert de connaissances est facilité (Henderson et al., 2011).

Nous avons démarré un certain nombre de CdP pour promouvoir l'intérêt pour notre recherche plus large sur les types d'échafaudages qui soutiennent le mieux le développement de la pensée scientifique chez les étudiant·e·s exposés à l'enseignement des sciences impliquant des laboratoires par enquête.

Les objectifs de notre recherche étaient cohérents avec la création de telles CdP. Nous cherchions d'abord à brosser le portrait de l'utilisation des laboratoires par enquête au niveau collégial québécois, de façon à identifier les formes d'échafaudages qui soutenaient le mieux l'apprentissage dans une telle pédagogie. Nous visions aussi à évaluer les différences disciplinaires dans la mise en œuvre du laboratoire par enquête et mener une recherche orientée vers la conception pour évaluer comment une telle pédagogie peut être implantée efficacement. Nous avons ainsi identifié trois domaines clés où nos CdP pourraient répondre aux besoins de notre recherche: a) le recrutement de participant·e·s qualifiés qui enseignent la chimie, la biologie ou la physique; b) la nécessité d'espaces physiques et temporels à travers lesquels nous pourrions consulter régulièrement nos participant·e·s; c) la création d'une communauté sociale où les participant·e·s pourraient se soutenir ou s'inspirer mutuellement dans la pratique de l'utilisation des laboratoires par enquête. Par conséquent, la CdP fait partie d'une boucle de rétroaction où notre équipe de recherche agit en tant qu'agent de transfert de connaissances (Landry et al., 2008, p. 20), c'est-à-dire en communiquant nos résultats à un public captif, puis en recevant plus tard des commentaires des praticiens pour informer davantage notre recherche (voir la figure 6.1).

**Figure 6.1**

Le rôle des agents de transfert dans la facilitation du transfert de connaissances



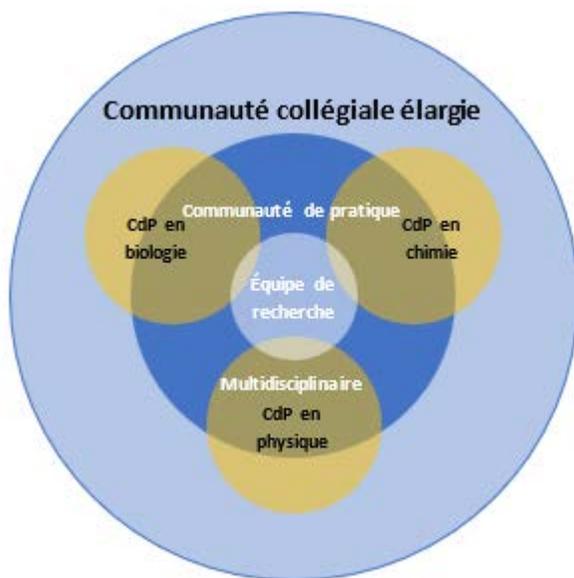
Nous étions conscients des défis qui pouvaient guetter la mise en place de CdP dynamiques et pérennes, notamment un manque d'organisation interne et un manque de temps ou de ressources (Demers et Tremblay, 2020), et nous nous sommes efforcés de prévoir une structure qui pouvait pallier ces écueils. Cette structure est décrite dans les prochaines sections de ce chapitre.

### 6.3 Constitution et déploiement des CdP

Afin de créer des espaces propices à la discussion pédagogique et au transfert des connaissances, nous avons implanté tôt dans le projet de recherche une structure de plusieurs CdP. Les constituer, inviter les membres, les rejoindre, était déjà un premier enjeu. Au fil des mois et des rencontres, les objectifs des CdP et leur mode de fonctionnement ont évolué. La figure 6.2 ci-dessous présente un aperçu de l'écosystème dans lequel se situent les CdP relatives à notre projet de recherche.

**Figure 6.2**

Structure des communautés de pratique (CdP) au sein de la communauté collégiale élargie



La CdP élargie, comprenant des professeur·e·s de biologie, de chimie et de physique, s'est rencontrée moins fréquemment que les CdP disciplinaires, mais a permis de créer une structure initiale de laquelle a découlé les autres. La CdP élargie s'alignent avec la description d'une CdP formulée par Wenger (2005) :

- Résoudre un défi commun – la mise en œuvre du nouveau programme,
- Lier les membres de la CdP à notre recherche, et pour qu'ils l'informent, y participent,
- Fournir un mécanisme pour que les professeurs apprennent des autres et les consultent,
- Communauté sociale, soutien par les pairs,
- Aborder les préoccupations disciplinaires dans un contexte interdisciplinaire.

L'équipe de recherche se situe dans la communauté collégiale. En effet, tous les membres de l'équipe sont professeur·e·s de cégep. En occupant le double rôle d'agent de transfert et de prof, aux yeux des membres de la CdP, peut expliquer le crédit et la confiance des membres de la CdP envers les membres de l'équipe de recherche : nous ne sommes pas « extérieurs » à la communauté enseignante, nous en faisons partie. Nos propos s'inscrivent dans des préoccupations professionnelles partagées avec les membres. Notre posture n'est pas celle de chercheuses

et chercheur·e·s extérieurs au contexte de pratique – ce qui peut parfois se poser en obstacle pour le transfert de connaissances (Demers et Tremblay, 2020) – mais bien la posture de pairs au sein de la communauté.

Sur la ligne du temps présentée en la figure 6.3, les différentes rencontres des CdP sont positionnées. Les prochaines sections serviront à décrire chaque type de ces rencontres, à commencer par celle qui a permis de tout démarrer : la première grande rencontre interdisciplinaire.

**Figure 6.3**  
Ligne du temps des activités des CdP



### 6.3.1 La première grande rencontre interdisciplinaire avec panel

**Figure 6.4**

Dépliant faisant l'annonce de la première grande rencontre interdisciplinaire en août 2021



En août 2021, juste avant la rentrée des classes, nous avons tenu une grande rencontre interdisciplinaire dont le titre était « Développer la pensée scientifique ». Le dépliant promotionnel de cet atelier est présenté à la figure 6.4. L'intention était donc de regrouper des professeur·e·s de sciences de la nature de cégep autour le nouveau programme, qui allait imminemment être publié (MÉES, 2021). À cette époque, les discussions commençaient à être nombreuses dans les cégeps à propos du nouveau programme, très attendu dans la plupart des milieux, et nous avons jugé opportun de saisir cette occasion pour nous constituer une base de public intéressé par nos recherches. Ainsi, outre le profil de sortie dans ce nouveau programme, l'interdisciplinarité et la cohérence de l'approche-programme, cet atelier annonçait qu'un des sujets traités serait le développement de l'autonomie en laboratoire. C'est ce dernier point qui était le plus près de nos objectifs de recherche, mais on souhaitait couvrir plus large de façon à répondre aux besoins du maximum de personnes.

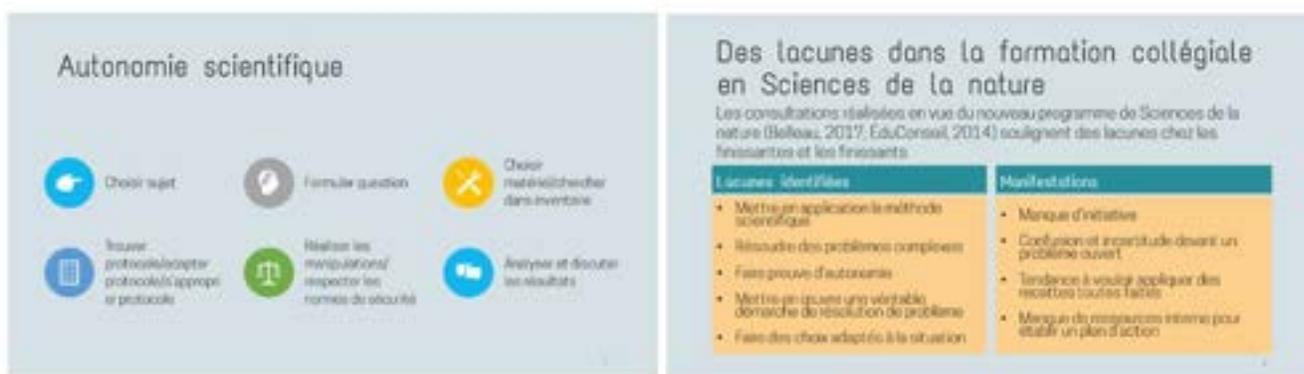
Ce qui distingue notre recherche de bien des recherches sur l'enseignement collégial est que les interventions, ateliers, collectes de données et autres se sont passées autant dans le réseau collégial francophone que dans le réseau collégial anglophone. C'est pourquoi la première grande rencontre interdisciplinaire commençait par deux réunions distinctes dans Zoom, l'une en français et l'autre en anglais, puis le panel regroupait tous les participant·e·s dans une même réunion Zoom. Les panélistes, quant à eux, s'exprimaient tous et toutes en français, mais nous avions prévu un service de traduction simultanée à l'oral, durant tout le panel, pour les anglophones qui ne comprenaient pas le français.

Au départ, cet atelier devait faire partie de la conférence SALTISE de juin 2021, mais étant donné le conflit de travail dans certains cégeps, il a été jugé préférable de le déplacer à la rentrée scolaire. Comme l'atelier avait été annoncé par l'équipe de programmation de la conférence SALTISE, de nombreux participant·e·s'y étaient inscrits. Au fil de l'été, la promotion de l'atelier a été poursuivie, de sorte qu'un grand nombre de participant·e·s étaient présent·e·s lors de sa tenue. Nous avons réussi à rejoindre un grand nombre de personnes issues du réseau anglophone grâce au fait qu'il a été soutenu par SALTISE, et à rejoindre un grand nombre de personnes issues du réseau francophone grâce à des publications sur des groupes Facebook de profs de cégep. Au total, 98 participant·e·s (39 d'entre eux provenant d'établissements du secteur anglophone, 59 du secteur francophone) étaient présent·e·s à cette rencontre, en plus des membres de l'équipe de recherche. Le contenu de l'atelier se séparait donc en deux parties : les discussions en petits groupes (francophones et anglophones), puis le panel.

Comme le décrit Wenger (2005), une telle participation est essentielle à la formation réussie d'une CdP, car elle permet à la fois d'agir et d'établir des liens entre les membres. L'utilisation stratégique des salles de discussion a également permis de réfléchir aux avantages potentiels de l'utilisation du laboratoire par enquête guidée dans le nouveau programme de sciences de la nature, incitant les participant·e·s à contacter notre équipe de recherche pour en savoir plus sur le sujet ou même pour participer à la recherche.

L'encadrement des discussions en petits groupes a été fait par quatre membres de l'équipe de recherche (deux francophones et deux anglophones). En parallèle, ces deux équipes d'animateurs·rices ont présenté les objectifs de la rencontre, la structure du nouveau programme telle qu'elle était connue à ce moment, et quelques éléments de contexte par rapport à l'autonomie scientifique, pour cadrer les discussions. Les deux figures qui suivent présentent ces éléments de contexte.

**Figure 6.5**  
Éléments de contexte présentés lors de la première rencontre interdisciplinaire



D'une part, nous avons situé ce que nous entendions par autonomie scientifique, puis nous avons relevé certains éléments des consultations ayant précédé l'élaboration du nouveau programme de sciences de la nature,

notamment tirés du rapport Belleau (2017) et de celui de la firme ÉduConseil (2014). À la suite de cette brève mise en contexte, les participant·e·s ont été dirigé·e·s vers l'une des 11 salles de discussion virtuelles créées pour l'occasion. Nous avons nous-mêmes assigné les gens dans des salles; dans chaque salle se trouvaient des professeur·e·s d'une même discipline, et nous visions un maximum d'une douzaine de personnes par salle. Les participant·e·s qui n'enseignaient pas la biologie, la chimie ou la physique au collégial ont été réparti·e·s dans les diverses équipes. Cette répartition a été faite en direct, par l'un·e des animateur·rice de l'atelier, pendant que l'autre faisait la présentation. Voici la composition des équipes pour cette première discussion.

**Tableau 6.1**

Composition des équipes disciplinaires ayant réalisé la première partie de la discussion (questions 1 et 2) lors de la rencontre interdisciplinaire

<b>Discipline d'enseignement</b>	<b>Langue d'enseignement</b>	<b>professeur·e·s de cégep</b>	<b>Autres participant·e·s</b>	<b>Nombre total participant·e·s</b>
Biologie	Anglais	4	1 CP, 1 prof U biologie	6
Biologie	Anglais	5	2 CP, 1 prof U biologie	8
Chimie	Anglais	8	2 CP, 2 profs sec., 1 prof U éducation	13
Physique	Anglais	4	1 prof maths, 1 étudiante U, 1 prof U éducation	7
Physique	Anglais	3	1 CP, 1 étudiante U éducation	5
Biologie	Français	10	3 CP	13
Chimie	Français	10	1 CP	11
Chimie	Français	10	Aucun	10
Chimie	Français	9	Aucun	9
Chimie	Français	7	1 CP	8
Physique	Français	5	1 prof maths, 1 CP, 1 prof U éducation	8

Légende des abréviations

CP : conseiller·ère pédagogique

Prof U : professeur·e d'université

Prof sec. : professeur·e au secondaire

Dans un document collaboratif en ligne, chaque équipe disciplinaire devait inscrire des réponses à deux questions soumises à la discussion :

1. *Dans votre discipline, l'autonomie scientifique correspond à quelles habiletés/connaissances chez les étudiant·e·s et les étudiants?*
2. *Comment s'assurer de développer en continu (au fil des sessions) l'autonomie scientifique dans votre discipline? (Quelles sont les approches pédagogiques qui aident au développement de l'autonomie scientifique?)*

Après 20 minutes, les salles de discussion virtuelles ont été fermées et tous·tes les participant·e·s sont revenus dans la réunion principale, pour une mise en contexte des deux prochaines questions à discuter, cette fois en équipes interdisciplinaires. Durant cette mise en contexte, chaque participant·e a été assigné·e à une nouvelle salle de discussion virtuelle, où ils et elles se sont retrouvé·e·s dans l'une des 10 équipes multidisciplinaires pour discuter des deux questions suivantes :

3. *Quelles composantes de l'autonomie scientifique sont communes et/ou peuvent être développées en collaboration entre les disciplines de sciences?*
4. *Voyez-vous des exemples de contenu ou de notion qui pourraient être traités en interdisciplinarité?*

La discussion sur ces deux questions s'est poursuivie pour une autre période de 20 minutes, durant lesquelles un document collaboratif permettait de noter des réponses. Au terme de ces 20 minutes, les salles virtuelles ont été fermées et un retour en grand groupe a été fait, très brièvement, par les animateurs·trices. Les éléments les plus saillants des réponses notées par les équipes ont été relevés à titre de conclusion pour cette première moitié de l'atelier.

Après une pause de quelques minutes, tous·tes les participant·e·s ont été dirigé·e·s vers une salle de réunion virtuelle regroupant les anglophones et les francophones, pour la dernière partie de l'atelier. Cette dernière partie consistait en un panel où six professeures et professeurs de biologie, de chimie ou de physique de divers établissements collégiaux ont discuté de l'épreuve synthèse de programme en Sciences de la nature, des perspectives de changements en vue du nouveau programme, et des recommandations pour inspirer les auditeurs·trices du panel pour implanter une ÉSP authentique, ouverte et inspirante. Au terme du panel, la discussion s'est poursuivie avec les auditeurs·trices, qui ont pu poser leurs questions.

En conclusion de cette demi-journée d'atelier, nous avons saisi l'occasion d'informer l'audience des façons dont notre projet de recherche pourrait continuer à les intéresser, notamment en les informant que notre sondage allait peut-être leur être bientôt envoyé (pour celles et ceux qui provenaient des cégeps échantillonnés dans le projet), mais aussi à les invitant à rester en contact avec nous, soit pour nous solliciter pour le développement de nouveaux laboratoires ou pour continuer à réfléchir sur l'ÉSP dans le cadre du nouveau programme. Ces invitations, et les relances que nous avons faites et dont il sera question à la prochaine section, auront porté fruits. Il demeure manifeste, pour nous, que cette première grande rencontre interdisciplinaire nous a permis d'intéresser les gens à notre sujet de recherche, à nous faire connaître, et à nous ouvrir les portes (virtuelles) de plusieurs départements dans les cégeps.

### Figure 6.6

Dernière diapo de la première grande rencontre interdisciplinaire, ouvrant sur les prochaines activités de l'équipe de recherche



### 6.3.2 Atelier « Changer un labo » : amorce et recrutement pour les communautés de pratique

Lors de la première grande rencontre interdisciplinaire, nous avons noté que les professeur·e·s de cégep avaient certainement de l'intérêt pour des méthodes d'enseignement qui permettraient de développer l'autonomie scientifique des étudiant·e·s. Ceci nous a confirmé la pertinence de notre sujet de recherche, les laboratoires par enquête guidée. Nous avons aussi noté que la brève mise en contexte, où nous définissions le laboratoire par enquête guidée, avait semblé piquer la curiosité de plusieurs personnes. Au contraire de ce que nous pensions au moment de commencer ce projet de recherche, il semblait que ce type de laboratoires était assez méconnu de la communauté collégiale, et plutôt rarement utilisé dans l'enseignement des sciences. Les résultats recueillis auprès de la communauté enseignante, et présentés précédemment au chapitre 2, vont d'ailleurs en ce sens.

Dans les travaux préparatoires à l'élaboration du nouveau devis ministériel pour le programme collégial de sciences de la nature, le rapport Belleau indique d'ailleurs que « le premier objectif des apprentissages en laboratoire est de développer l'autonomie chez les apprenants, entre autres par une meilleure prise en charge du protocole de laboratoire » (Belleau, 2017, p. 17). Puisqu'on constate que les laboratoires sont encore très majoritairement traditionnels dans les cours collégiaux, l'autonomie dans la prise en charge du protocole demeure encore un enjeu, même avec le nouveau programme. En effet, le nouveau devis ministériel n'encourage ni ne permet l'élaboration d'activités pédagogiques qui permettent le développement de l'autonomie scientifique : les énoncés de compétence relatifs au laboratoire sont tous structurés selon le même format, et ils se contentent tous de demander que des laboratoires de vérification soient réalisés par les étudiant·e·s. Pour une discussion plus approfondie de cet enjeu, nous référons la lectrice et le lecteur à l'article que nous avons écrit à ce sujet (Cormier & Voisard, 2022).

Étant donné que le laboratoire par enquête était peu usité au collégial, ceci nous a montré que nous devions réorienter les enjeux de notre recherche, comme les chapitres précédents l'ont expliqué. Il ne s'agissait plus uniquement de tracer le portrait de l'utilisation du labo par enquête, mais bien de mettre en place des activités de transfert de connaissances systématiques qui permettraient de le faire connaître dans le milieu et d'accompagner les équipes-cours qui voudraient le mettre en place.

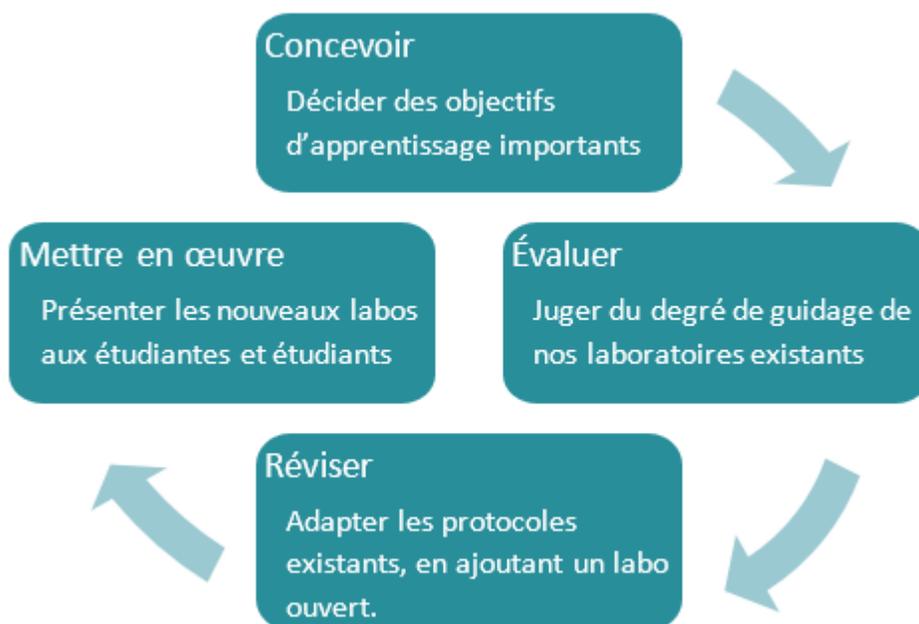
C'est ainsi que nous avons développé l'atelier « Changer un labo traditionnel en labo par enquête guidée ». Le contenu de cet atelier s'appuyait au départ sur une source principale, un article de Farley et ses collaborateurs (2021) intitulé *Simple Approach to Incorporating Experimental Design into a General Chemistry Lab*. L'atelier « Changer un labo » nous permettait de présenter la méthode proposée dans cet article, et de faire travailler les participant·e·s en utilisant cette méthode.

Farley et ses collaborateurs proposent une méthode en quatre étapes, sur laquelle nous avons fait travailler les personnes qui sont venues assister aux itérations de cet atelier. Il s'agissait pour nous, au sens le plus strict, d'assurer un transfert de connaissances : nous avons joué le rôle d'agent de transfert de connaissances, présentant des écrits de recherche aux praticien·nes pour leur utilisation dans leur pratique. L'intérêt d'avoir sélectionné cet article pour en faire une activité de transfert de connaissances était qu'il répondait bien aux besoins des professeur·e·s : un des enjeux principaux pour le développement et l'implantation de laboratoires par enquête est le temps nécessaire pour créer de telles expériences. L'article de Farley et ses collaborateurs proposait une solution à cet enjeu précis : en utilisant notre propre séquence de laboratoires traditionnels, on peut la transformer en quatre étapes bien décrites dans leur articles. Cela permet un gain de temps pour les praticien·nes.

De plus, dans le cadre de l'atelier « Changer un labo », nous avons proposé aux membres de la CdP une version adaptée en français du matériel supplémentaire fourni par ces auteurs dans leur article, pour une expérience de laboratoire typique. Le matériel supplémentaire s'adressant aux étudiant·e·s, il était nécessaire de le traduire pour l'utiliser en classe, et notre traduction a ainsi pu être utilisée directement dans les cégeps francophones qui ont décidé de l'essayer.

**Figure 6.7**

Méthode proposée pour changer ses laboratoires (Farley et al., 2021)



Cet atelier a été développé en parallèle en français et en anglais, et a été offert à une dizaine de reprises, dans des réunions Teams, en congrès, ou lors de visites de cégeps (en présentiel ou en ligne).

Au fil des discussions avec les membres, lors des ateliers, nous avons décidé de créer une version un peu plus avancée de l'atelier, pour les gens qui en voulaient un peu plus. Cette deuxième version présentait la méthode de Farley un peu plus succinctement, et laissait plus de place pour présenter des exemples de laboratoires par enquête, que nous avons repérés dans les écrits de recherche ou tirés de notre propre pratique. Les professeur·e·s qui ont assisté à cette version qui présentait des exemples de laboratoires par enquête avaient ainsi en main les outils pour modifier leurs propres laboratoires, et des exemples clés en main à implanter directement. Enfin, quelques cégeps nous ont contactés pour solliciter une présentation de l'atelier « Changer un labo » pour l'ensemble des professeur·e·s d'un département.

Un cégep a même poussé l'expérience jusqu'à inviter notre équipe de recherche pour aller faire une démonstration de laboratoire par enquête, dans le laboratoire de chimie. Les professeur·e·s du département de chimie, de même que les coordonnateurs des départements de physique et de mathématiques, une conseillère pédagogique et un directeur adjoint aux études ont pris part à l'activité, où ils et elles devaient jouer le rôle « d'étudiant·e·s » et concevoir un protocole pour remplir un sac Ziploc avec un gaz, sans le faire éclater. Les détails de ce laboratoire par enquête peuvent être consultés dans l'article de Lanni (2014), duquel il est tiré.

La proposition que nous avons faite aux cégeps de les accompagner – allant jusqu'à les visiter pour leurs offrir cet accompagnement – est en cohérence avec les observations relevées dans les écrits de recherche qui décrivent les meilleures conditions pour faciliter l'innovation pédagogique. Bathgate et ses collaborateurs (2019) l'indiquent clairement : le principal facteur qui permet de prédire si des innovations pédagogiques basées sur les données probantes seront implantées est le support que les professeur·e·s perçoivent : support de leur établissement, de leur département, de leurs collègues, etc.

Toutes ces activités ont d'abord été offertes aux gens qui avaient participé à la première grande rencontre interdisciplinaire. Au fil des mois, notre liste de contacts s'est enrichie des personnes qui s'ajoutaient à chaque occurrence : souvent, il s'agissait de personnes invitées par leurs collègues de département. Au total, plus d'une soixantaine de personnes ont assisté à cet atelier, sans compter les départements entiers lors des visites de cégep.

À quatre occasions, à la suite des ateliers « Changer un labo », nous avons sondé les personnes qui y avaient assisté, notamment pour connaître la raison qui les avait poussées à y assister, et leur degré de satisfaction envers celui-ci. Un total de 29 personnes a rempli ce sondage. Seulement deux personnes (7 %) ont répondu avoir été insatisfaites du contenu ou du format de l'atelier. Ce résultat montre que ces ateliers étaient en adéquation avec les intérêts des professeur·es, et que le format et le style d'animation plaisait de façon générale.

### 6.3.3 L'émergence de CdP disciplinaires

En parallèle de ces ateliers sur le labo par enquête, et à la suite de notre grande rencontre interdisciplinaire, des CdP disciplinaires ont commencé à émerger. Les gens manifestaient leur envie de continuer à se rencontrer, pas nécessairement au sujet des laboratoires par enquête, mais pour poursuivre les discussions pédagogiques sur des préoccupations communes. Les rencontres se sont donc poursuivies, mais les sujets se sont diversifiés. Le format des rencontres aussi a changé : plutôt que d'être centrées autour d'une présentation par des membres de l'équipe de recherche, les rencontres sont devenues des lieux d'échanges. L'ordre du jour demeurait de façon générale ébauché par les membres de l'équipe de recherche, mais la parole était plutôt donnée aux participant·e·s. Souvent, les sujets abordés lors des rencontres, en plus de ceux identifiés par l'équipe de recherche, s'orientaient plutôt pendant un moment vers une question ou une préoccupation formulée par un membre de la CdP.

C'est à partir du moment où cette formule a été mise en place que les rencontres sont devenues des rencontres de communautés de pratique. Les participant·e·s y trouvaient l'occasion de partager leurs réflexions, et d'entendre des façons de faire différentes dans les autres cégeps.

Ces rencontres regroupaient des professeur·e·s d'une même discipline. De plus, les rencontres se déroulaient soit en anglais, soit en français, donc des CdP parallèles se sont développées en chimie. Pour la biologie et la physique, seule une CdP en anglais a été réalisée.

La CdP de biologie se réunissait une fois par mois, et à chaque réunion entre 5 et 10 profs étaient présent·es; celle de physique se réunissait deux à trois fois par session, et regroupait chaque fois entre 7 et 10 profs; celle de chimie qui se déroulait en anglais se réunissait deux à trois fois par session, avec 10 à 12 profs chaque fois; celle de chimie qui se déroulait en français se réunissait une fois par mois, et il y avait entre 10 et 20 profs à chaque rencontre.

Certaines des CdP se sont greffées à des groupes disciplinaires déjà existants : les groupes SALTISE-S4 de chimie et de physique, comme mentionné plus haut, qui regroupaient des professeur·e·s collégiaux et universitaires des réseaux anglophones. De nouvelles CdP ont été créées : biologie (en anglais), chimie (en français) et mathématiques (en anglais). Comme ces CdP se sont d'abord réunies pendant la pandémie de COVID-19, les rencontres ont pris l'habitude de se dérouler en visioconférence. Ceci a permis de rejoindre un auditoire plus large, notamment des professeur·e·s des cégeps de régions éloignées de Montréal.

La figure 6.8 présente la façon typique à travers laquelle un membre d'une CdP progresse à travers les différentes itérations des rencontres des CdP. Après avoir assisté à la première grande rencontre interdisciplinaire, ces membres étaient ensuite invités aux ateliers, qui évoluaient progressivement vers des rencontres de CdP portant sur des sujets variés.

### Figure 6.8

Trajectoire typique des membres de CdP à travers les différentes itérations des rencontres de CdP  
Voici une brève description du mode de fonctionnement de chacune de ces CdP disciplinaires.



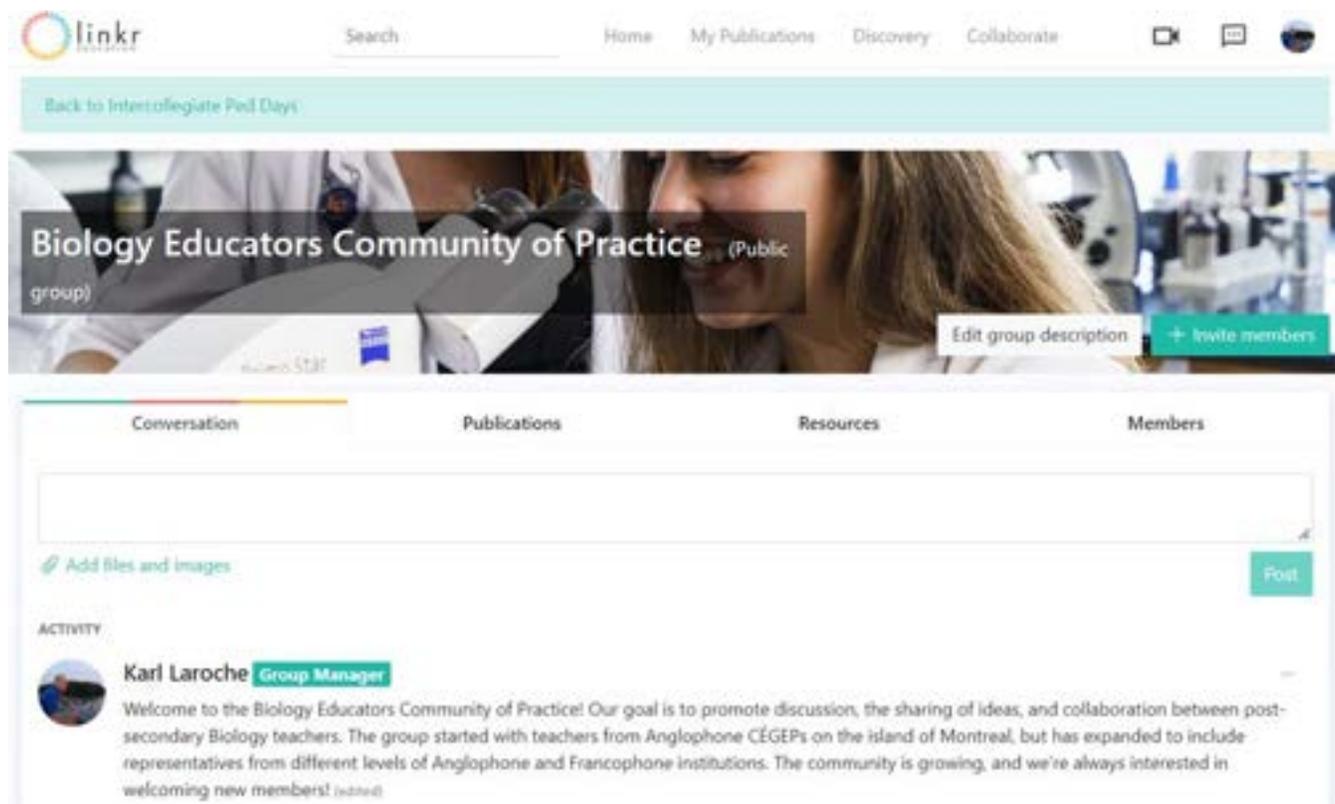
#### *CdP de biologie (en anglais)*

La promotion d'une nouvelle communauté de pratique en biologie a eu lieu en juin 2021. Initialement, le groupe cible était des professeur·e·s de biologie actifs dans le secteur anglophone, basé à Montréal. Nous avons approché les coordonnateur·trices de chaque institution afin qu'ils invitent leurs pairs à se joindre à la CdP. En plus, à la suite de leur participation aux ateliers d'août et d'octobre, nous avons invité les biologistes participant·e·s à rejoindre la CdP. Avant la première réunion de la CdP en novembre 2021, 28 membres potentiels ont été recrutés, ceux-ci représentant un grand nombre de profs des collèges anglophones, ainsi que de l'Université McGill et de quelques cégeps francophones. La diversité de nos membres nous a montré que la mise en œuvre de laboratoires par enquête s'intéressait à un grand nombre de parties prenantes. Conséquemment, parmi les professeur·e·s des cégeps, nous avons pu recruter plusieurs personnes pour participer dans notre projet de recherche (notamment en répondant au questionnaire QCAL ou en participant·e à une entrevue).

Afin de maximiser la participation de ses membres, la CdP s'est réunie en ligne via Teams. Chaque réunion durait environ une heure et demie et était enregistrée. Un membre de notre équipe de recherche était chargé de fixer les dates et heures des réunions, d'établir l'ordre du jour et de présider les rencontres. Les membres étaient invités à proposer des sujets de discussion, même si, dès le début, la plupart des discussions se fixaient soit sur les laboratoires par l'enquête ou le nouveau programme 200.B1.

Pour faciliter des échanges asynchrones, nous avons créé une page *linkr*. Ceci a servi comme moyen de continuer les discussions après les réunions, de partager des ressources, etc. Subséquemment, la CdP n'était pas hébergée dans un espace virtuel appartenant à une seule institution. Au contraire, *linkr* a fourni un espace décentralisé pour garantir qu'avec l'évolution de la CdP, les membres auront un accès continu à son historique (voir figure 6.9).

**Figure 6.9**  
Plateforme web de la CdP de biologie, sur linkr



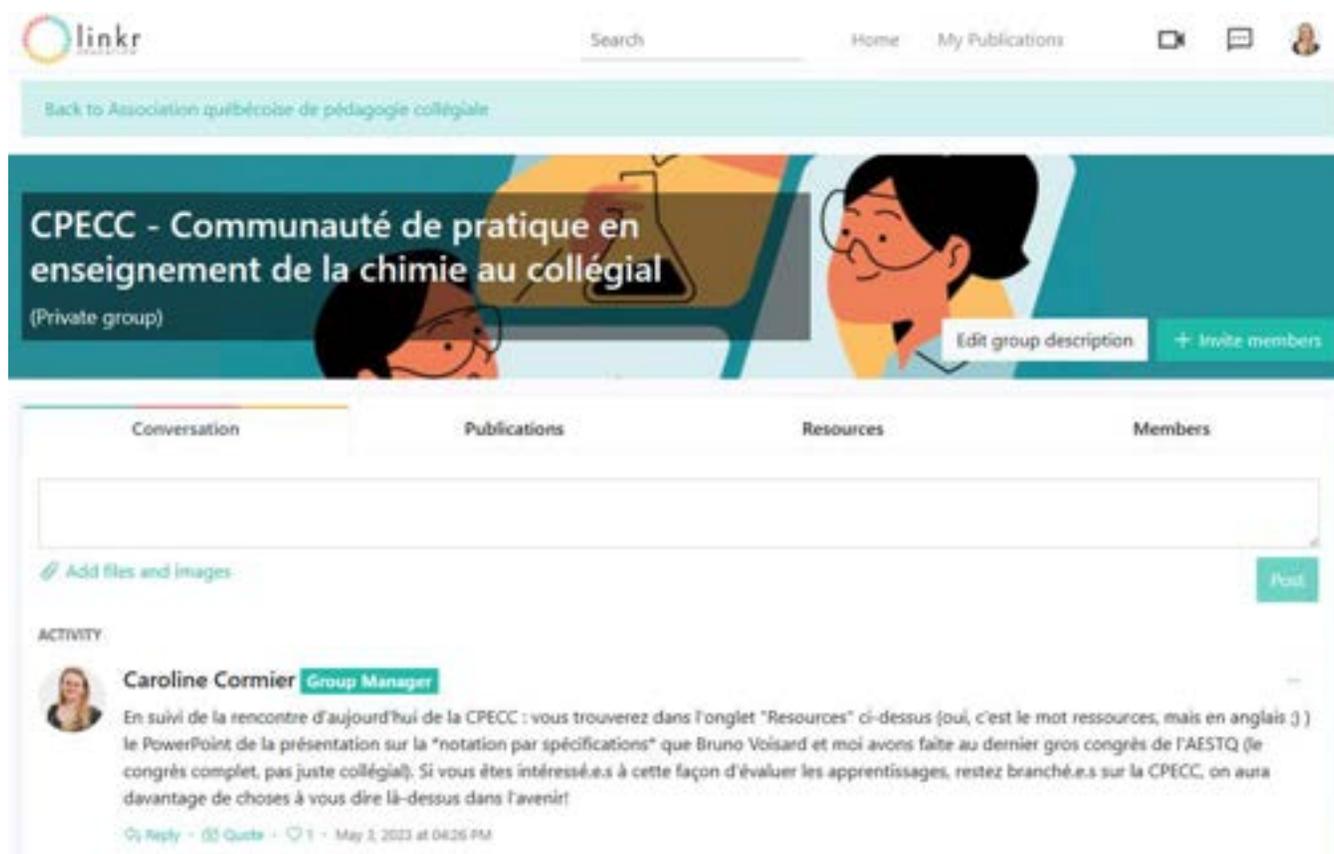
### *Communauté de pratique en enseignement de la chimie au collégial (CPECC) (en français)*

La CdP de chimie, nommée CPECC (Communauté de pratique en enseignement de la chimie au collégial), a été animée par deux membres de l'équipe de recherche, professeur·e·s de chimie d'un établissement francophone. Les premières rencontres ont été constituées comme une suite directe des ateliers « Changer un labo » - néanmoins, la moitié des gens à la première rencontre étaient là pour la première fois, n'ayant pas assisté à l'atelier « Changer un labo », ce qui ne posait pas de problème particulier. Dix rencontres ont eu lieu au moment d'écrire ces lignes, pendant les sessions d'hiver 2022 (trois rencontres), d'automne 2022 (deux rencontres), d'hiver 2023 (cinq rencontres) et d'automne 2023 (une rencontre fin septembre, et une seconde prévue fin octobre).

Avant chaque rencontre, un sondage de planification était envoyé à l'ensemble des professeur·e·s de chimie faisant partie de la base de contacts. Sur la base des préférences et disponibilités, la date de la rencontre était ensuite fixée et un lien Teams envoyé à tout le monde. Une consultation en janvier 2022 a permis de fixer la fréquence des rencontres à une fois par mois. Cette fréquence s'est avérée judicieuse, permettant de garder un contact fréquent avec les membres tout en évitant de les surcharger.

**Figure 6.10**

Plateforme web de la CPECC (chimie), sur *linkr*



Les rencontres de la CPECC étaient typiquement d'une durée d'une heure trente minutes. Les sujets abordés jusqu'au moment d'écrire ce rapport ont été (liste non exhaustive) : les laboratoires par enquête, le nouveau programme de sciences et son ÉSP, l'évaluation par entrevue individuelle, l'évaluation en deux étapes (*two-stage exam*), la difficulté à faire rédiger un raisonnement scientifique, la typologie des problèmes selon leur niveau de complexité, les modalités d'enseignement du cours de mise à niveau de 4<sup>e</sup> secondaire, les pratiques alternatives de notation (dont la notation par spécifications), etc.

Divers sondages ont été envoyés aux membres de la CPECC à l'extérieur des moments de réunion, soit pour sonder leur satisfaction, soit pour continuer la réflexion en particulier sur l'autonomie disciplinaire et les laboratoires par enquête guidée. Les sondages relatifs à la satisfaction nous ont toujours permis de constater que les activités de la CPECC étaient très appréciées des membres. À la fin de l'année scolaire 2022-2023, par exemple, la dernière rencontre était prévue début mai. Après sondage, il a été décidé d'en tenir une supplémentaire, parce que 10 répondant-e-s sur 17 ont indiqué vouloir avoir une autre rencontre après les examens finaux. On sait que la période de correction est très occupée pour les professeur-es, mais leur intérêt à assister à une réunion supplémentaire montre que pour plusieurs d'entre eux et elles, les rencontres de la CPECC ne sont pas que des réunions auxquelles on est tenu d'assister. Ces rencontres permettent de répondre à certains de leurs besoins de partage pédagogique, dans un contexte et un format uniques.

### *Groupes « SALTISE-S4 » en physique et en chimie (en anglais)*

Contrairement à la CdP en biologie, les CdP SALTISE-S4 se sont bien établies depuis plusieurs années, notamment avant la conception de notre projet de recherche. Puisque les intérêts des membres de notre groupe de recherche recoupaient les intérêts des communautés S4, les animateurs des CdP S4 font aussi partie de l'équipe de recherche. Évidemment, ceci a présenté un moyen idéal pour promouvoir notre recherche et recruter des participant·e·s pour notre projet. Habituellement, les CdP S4 se réunissent deux à trois fois par session, environ une heure et trente minutes chaque fois. Face aux défis de la pandémie, les réunions ont eu lieu en ligne en 2021-2022. Présentement, ils évoluent de façon bimodale, ce qui permet à plusieurs nouveaux membres de rejoindre le groupe.

Suite à nos ateliers d'août et octobre 2021, les deux communautés de pratique S4 (chimie et physique) ont choisi de discuter les laboratoires par enquête comme sujet principal. Dans les deux CdP, plusieurs praticien·nes ont partagé leurs expériences en matière de laboratoires par enquête, les séquences de laboratoire, les objectifs d'apprentissage et les évaluations. En outre, ces membres ont pu parler des impacts positifs sur l'apprentissage des étudiant·e·s ainsi que des défis liés à leur mise en œuvre. Il est intéressant de noter que plusieurs études de cas, en chimie et en physique, ont été partagées par des membres de l'Université McGill qui utilisent présentement cette approche pédagogique dans les cours de première année. Par conséquent, pour les professeur·e·s des cégeps, cela a renforcé la réalité des lacunes d'apprentissage identifiées dans le rapport Belleau (2017) et l'importance d'y remédier par une approche alternative et plus authentique en laboratoire.

Il est à noter que lors d'une rencontre de la CdP SALTISE-S4 en chimie, alors que les membres discutaient le contenu des cours de chimie du nouveau programme de sciences de la nature, les professeur·e·s d'université membres de la CdP ont manifesté leur grande surprise : étant à l'extérieur du réseau collégial, elles n'avaient pas entendu parler de ces modifications au nouveau programme. Elles ont partagé leurs préoccupations avec les autres membres de la CdP, notamment pour les préalables que les étudiant·e·s auraient – ou n'en auraient plus – au terme du programme collégial de sciences de la nature. Cette discussion en CdP nous a fait réaliser le fossé entre les ordres collégial et universitaire, et nous avons saisi l'occasion pour organiser une deuxième rencontre de la CdP élargie, cette fois en y invitant spécialement les professeur·e·s universitaires. Cette deuxième rencontre de la CdP élargie, nommée le « Sommet », est décrite en détails à la section 1.3.4.

Par contraste, des telles préoccupations n'ont pas été soulevées lors des rencontres en biologie ou en physique. Cela peut être attribué au manque de représentation universitaire. Cependant, les échanges au sein des CdP ont inspirés les représentants universitaires (notamment de l'Université McGill et dans une moindre mesure, de l'Université Concordia) de faire leur propre révision de ces cours de physique et de biologie, en partie pour s'aligner sur le nouveau programme du cégep, mais aussi pour revoir leurs propres objectifs d'apprentissage.

### **6.3.4 Le « Sommet » sur la transition collégial/universitaire**

Pour répondre aux besoins exprimés par les membres des communautés de pratique, et notamment celles issues de la discussion sur les préalables universitaires tenue dans la communauté de pratique SALTISE-S4 en chimie, nous avons organisé une seconde grande rencontre virtuelle, surnommée le « Sommet », pour parler du nouveau programme de sciences entre des professeur·e·s de cégep et des universités.

Cette rencontre s'est inscrite dans les activités des *intercollegiate ped days*, une tradition des cégeps anglophones se tenant durant l'intersession. Ainsi, cette rencontre s'est déroulée en anglais avec des membres du personnel des établissements anglophones principalement. Quelques professeur·e·s de cégeps et d'universités francophones étaient tout de même présent·es. Le tableau 2 présente un décompte des participant·e·s à ce « Sommet ».

**Tableau 6.2**

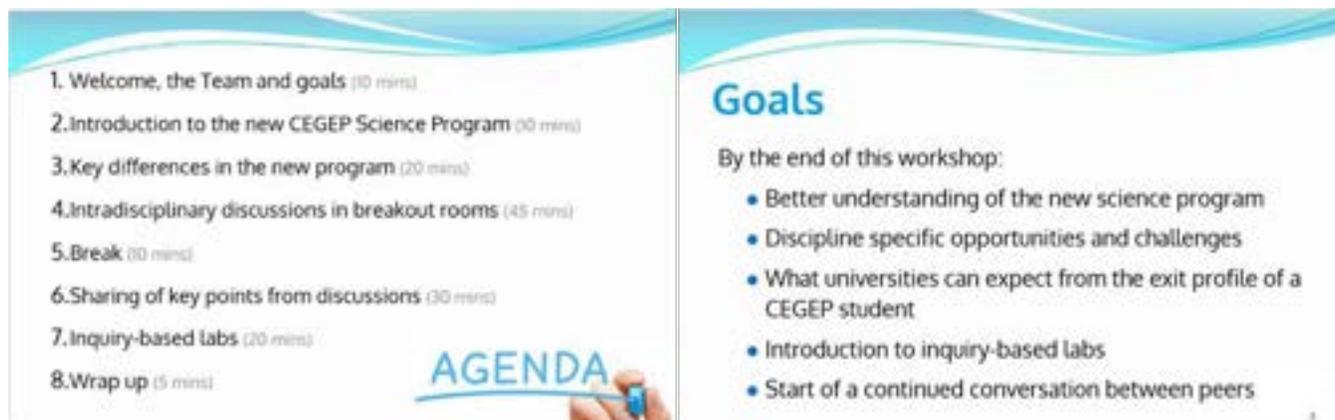
Nombre de professeur·e·s ayant participé au « Sommet » sur la transition collégial/universitaire

	Biologie	Chimie	Physique	Mathématiques	Informatique et Génie	Non enseignant
Cégep	9	14	21	7	2	0
Université	2	3	5	0	5	2

La majorité des personnes présentes étaient en chimie et en physique, ce qui est cohérent avec les préalables universitaires nécessaires : les contenus de biologie ne sont pas conçus comme des préalables universitaires aussi importants par les professeur·e·s d'université, et le nouveau programme ne réduit pas les heures consacrées à la biologie au cégep (alors qu'il réduit les heures de chimie et de physique, d'où les préoccupations mentionnées par les professeur·e·s universitaires).

**Figure 6.11**

Survol du contenu et des objectifs du « Sommet » sur la transition collégial/universitaire



Pour cadrer le contexte de la demi-journée du « Sommet » en janvier 2022 et pour informer les participant·es, l'atelier a débuté par une courte présentation du nouveau programme de Sciences de la nature, qui venait à peine d'être approuvée par la Ministre moins d'un mois auparavant, le 15 décembre 2021 (MÉES, 2021). À ce moment, les professeur·e·s du secteur anglophone ne connaissaient pas bien le nouveau devis de programme, parce qu'il n'a été publié en anglais par le Ministère qu'en décembre 2022.

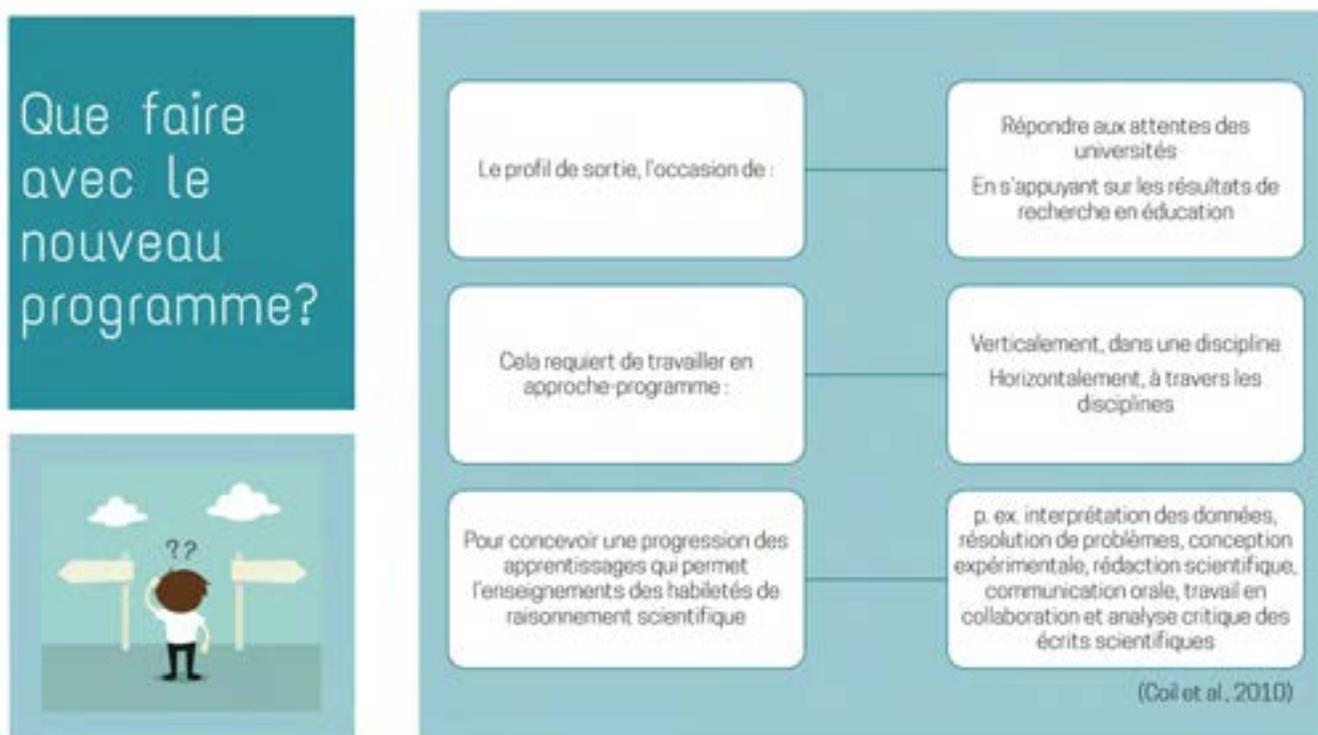
Il y avait une certaine urgence chez les professeur·e·s d'université, principalement en chimie, et notamment dans le réseau anglophone. D'une part, certaines universités avaient déjà demandé aux professeur·e·s de composer un cours de mise à niveau pour compenser les contenus qui ne seraient plus enseignés dans le nouveau programme. Une université en particulier avait demandé à ses professeur·e·s de chimie de fournir le descriptif de ce cours pour février 2022. Cette demande était jugée irréaliste par le corps professoral, puisque que les premiers diplômés arriveraient à l'université au plus tôt à l'automne 2025 – et probablement très peu dans les universités anglophones, étant donné qu'aucun cégep anglophone ne fera l'implantation du nouveau programme avant l'automne 2024. D'autre part, plusieurs universités anglophones offrent des crédits pour un cours de chimie collégial (chimie organique 1 et 2), s'il a été suivi dans l'un des cégeps approuvés par les universités. Les changements au nouveau programme empêcheront désormais que ce cours continue à être offert par les cégeps, puisque la compétence qui pouvait servir à l'encadrer ne fait plus partie du nouveau programme. Comme ce cours était très largement crédité

pour les étudiant·e·s anglophones, majoritaires dans les universités anglophones, un enjeu de places dans les classes de première session universitaire apparaissait inévitable au corps professeur·et aux professionnel·les affecté·e·s au registrariat des universités. Ces préoccupations avaient été mentionnées informellement par des professeurs universitaires à certains membres de notre équipe de recherche, lors de rencontres des groupes SALTISE-S4.

Un article portant sur le nouveau programme de Sciences de la nature (Cormier et Voisard, 2022), co-écrit par l'une des membres de notre équipe de recherche, venait tout juste d'être publié en janvier 2022, mais en français uniquement. Néanmoins, cet article avait rapidement fait le tour de plusieurs départements de sciences des cégeps anglophones. Une présentation des recommandations de cet article nous apparaissait alors pertinent pour les professeur·e·s de cégep pour susciter leur réflexion, et pour les professeur·e·s d'université, pour les mettre au courant des changements dans le nouveau programme. C'est donc ainsi qu'a débuté le « Sommet », par une présentation des enjeux du nouveau programme et des différences entre l'ancien et le nouveau programme.

**Figure 6.12**

Extrait du contenu présenté au « Sommet » (version française de la diapo utilisée à cette occasion)



Cette mise en contexte a été suivie de discussions dans des salles de discussions virtuelles, en petites équipes, à l'exemple de ce qui avait été fait lors de la première grande rencontre interdisciplinaire d'août 2021. Les discussions ayant porté principalement sur le nouveau programme, leur analyse s'avère moins pertinente pour le présent rapport. Il demeure que ces discussions ont été intéressantes pour les participant·es, et ont permis de répondre à leurs besoins exprimés plus tôt.

La dernière partie de cette demi-journée de « Sommet » est revenue sur le sujet des laboratoires par enquête, pour informer les participant·e·s de notre recherche, les tenir au courant de la progression de notre recherche, et pour lancer une invitation à assister à d'autres de nos activités ou à participer à la recherche.

## 6.4 Données recueillies lors de ces CdP et résultats

Ces communautés de pratique s'intégrant dans le projet de recherche actuel, nous y avons discuté du sujet des laboratoires par enquête à diverses occasions. C'est pourquoi ces communautés de pratique nous ont permis de recueillir les perceptions que les professeur·e·s de sciences avaient des expériences de laboratoire dans le cadre de leurs cours.

Dans l'ancien programme de Sciences de la nature, 200.B0, de même que dans le nouveau programme qui sera implanté en 2023 et 2024, 200.B1, des éléments de chacune des compétences portent sur le laboratoire. De façon un peu décevante pour les tenants d'une pédagogie plus orientée vers le développement de l'autonomie scientifique, dont nous faisons partie, ces éléments de compétence demeurent très orientés vers des laboratoires traditionnels, comme il a été mentionné un peu plus tôt dans ce chapitre. À titre indicatif, citons par exemple les éléments de compétence suivants, tirés du devis de 200.B1 (MÉES, 2021) :

« Vérifier, par une démarche expérimentale, des concepts liés à la biologie », tiré de la compétence de biologie 0B01 (p. 18)

« Vérifier, par une démarche expérimentale, des propriétés chimiques et physiques de la matière », tiré de la compétence de chimie 0C01 (p. 30)

« Vérifier, par une démarche expérimentale, des lois et des principes liés à la mécanique classique », tiré de la compétence de physique 0P01 (p. 34)

Nos communautés de pratique nous ont donc notamment permis d'aller sonder les préoccupations des professeur·e·s de sciences, pour valider si ces préoccupations étaient plutôt orientées, comme le texte du programme, sur le laboratoire traditionnel, ou sur le laboratoire par enquête.

### 6.4.1 Sommaire des discussions lors de la première grande rencontre interdisciplinaire

Lors de la première grande rencontre interdisciplinaire avec panel qui s'est déroulée en ligne, nous avons divisé les participant·e·s en équipes de travail pour discuter sur quatre questions. Pour répondre aux deux premières questions, et comme il a été fait mention précédemment, les participant·e·s étaient plac·e·s dans des équipes disciplinaires (équipes de biologie, de chimie et de physique), et pour répondre aux deux dernières questions, ils et elles étaient plac·e·s dans des équipes par établissement d'enseignement. De plus, toutes les équipes étaient constituées de participant·e·s qui enseignaient dans une même langue (donc des équipes de francophones et des équipes d'anglophones, basé sur la langue d'enseignement de leur établissement).

À titre de rappel, les quatre questions étaient les suivantes :

1. *Dans votre discipline, l'autonomie scientifique correspond à quelles habiletés/connaissances chez les étudiant·e·s et les étudiants?*
2. *Comment s'assurer de développer en continu (au fil des sessions) l'autonomie scientifique dans votre discipline? (Quelles sont les approches pédagogiques qui aident au développement de l'autonomie scientifique?)*
3. *Quelles composantes de l'autonomie scientifique sont communes et/ou peuvent être développées en collaboration entre les disciplines de sciences?*
4. *Voyez-vous des exemples de contenu ou de notion qui pourraient être traités en interdisciplinarité?*

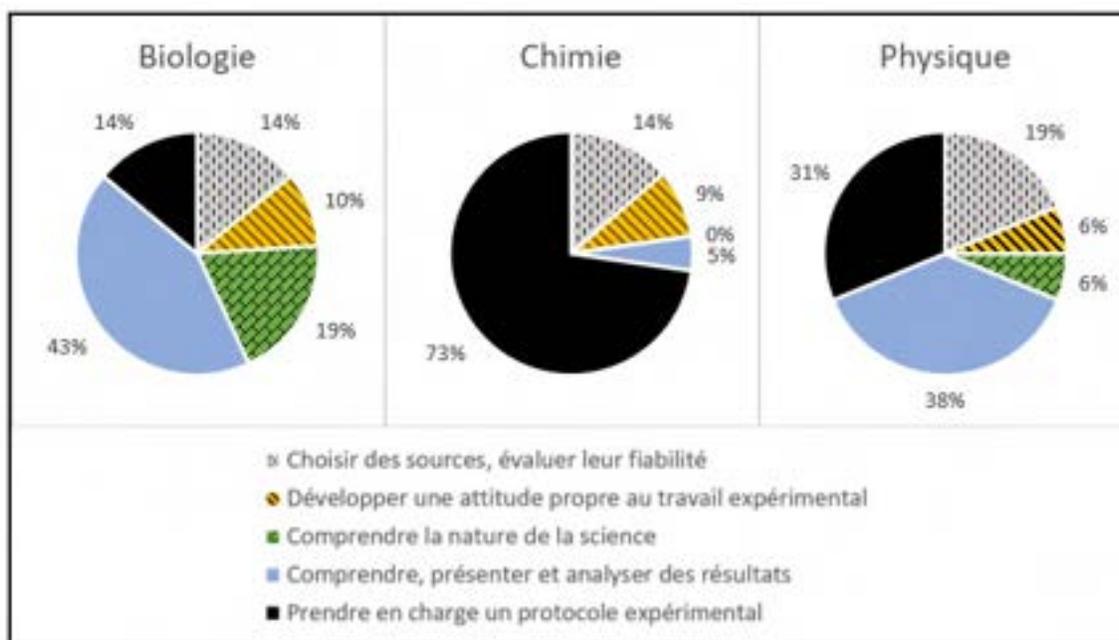
Pour répondre aux questions 1 et 2, trois équipes de biologie (deux anglophones et une francophone), cinq équipes de chimie (une anglo, quatre franco) et trois équipes de physique (deux anglo, une franco) se sont prononcées. Pour répondre aux questions 3 et 4, quatre équipes anglophones et six équipes francophones (toutes composées de professeur·e·s de disciplines variées) se sont prononcées. Les données recueillies ont été analysées par deux membres de l'équipe de recherche pour faire ressortir les thèmes émergents et classer les réponses. La classification a ensuite été révisée par le reste de l'équipe de recherche, de façon à ce que la classification par thème soit convenue.

**Question 1 : Qu'est-ce que l'autonomie scientifique?**

Pour la première question, portant sur la définition de l'autonomie scientifique telle que la concevaient les participant·e·s, nous avons analysé un total de 59 unités de sens. Elles ont été classifiées en cinq catégories, et les proportions pour chacune sont présentées à la figure 6.13 (ci-dessous). Il est à noter que le nombre d'unités de sens par discipline est similaire, se situant entre 16 et 22.

**Figure 6.13**

Proportion, par discipline, des catégories de réponses à la question « Dans votre discipline, l'autonomie scientifique correspond à quelles habiletés/connaissances chez les étudiant·e·s et les étudiants? »



Si les mêmes catégories reviennent d'une discipline à l'autre, leur proportionnalité varie de façon intéressante. Cette différence est d'ailleurs statistiquement significative ( $\chi^2 = 21,225, p < 0,01$ ), comme le permet d'anticiper leur visualisation à la figure 6.13.

En biologie et en physique, les réponses les plus fréquentes portent sur l'habileté d'un·e scientifique autonome à **comprendre, présenter et analyser des résultats**. Les deux extraits suivants, provenant de d'équipes de physique et de biologie, respectivement, l'illustrent bien :

- « Collecte de données/analyse d'incertitude/analyse de données » [traduit de l'anglais].
- « Lecture critique / analyse des informations présentées dans des graphiques / sous forme de résultats statistiques ; éviter les pièges des présentations de données biaisées » [traduit de l'anglais].

Au contraire, cette préoccupation n'a pas fait surface avec autant de prévalence dans les réponses de chimie, qui décrivent plutôt majoritairement l'autonomie scientifique comme la capacité de **prendre en charge un protocole expérimental**. Les extraits suivants, respectivement de deux équipes de chimie, en témoignent :

- « Création, adaptation et application d'un protocole. »
- « Analyser et décider de la procédure à suivre ou de l'étape suivante » [*traduction de l'anglais*].

Les différences entre les disciplines sont intéressantes, et sont discutées ici. Le fait de travailler avec des résultats expérimentaux est au cœur même de l'autonomie scientifique. Les différences épistémologiques entre les disciplines apparaissent à travers ces résultats. La conception même qu'a un professeur de sa propre discipline varie, selon cette discipline. Ainsi, les réponses provenant de physique parlent des résultats: les comprendre, les présenter et les analyser (38 %). Presque aussi fréquemment, l'autonomie en physique, c'est aussi prendre en charge un protocole expérimental (31 %). Toutefois, pour la biologie, l'autonomie passe, avec une forte majorité, par la manipulation des résultats (43 %), et très peu par la prise en charge d'un protocole (14 %). À l'opposé du spectre, les réponses de chimistes indiquent presque toutes que c'est la prise en charge du protocole qui est l'autonomie (73 %), les résultats ne comptant que pour 5 % des réponses. Toutes ces connaissances se classent comme connaissances procédurales, c'est-à-dire celles qui portent sur « comment faire quelque chose » (Anderson et al., 2001). Ces forts contrastes montrent que le « faire quelque chose » n'est pas le même, selon les disciplines expérimentales. On ne fait pas les mêmes choses en laboratoire en biologie, en physique ou en chimie. Et cette différence va bien au-delà des sujets ou des notions propres aux disciplines. Ce constat peut sembler banal, mais il n'est pas nécessairement présent à l'esprit des éducateurs lorsque vient le temps d'élaborer les programmes d'études ou de les implanter. Les connaissances procédurales en sciences expérimentales ne sont pas un bloc monolithique, et des dispositifs pédagogiques bien différents doivent être prévus selon les disciplines.

En physique, il est important de savoir collecter des données en nombre suffisant et en minimisant les incertitudes de façon à pouvoir les traiter et les constituer en modèles. Parfois, ce qui est difficile pour quelqu'un qui n'a pas encore développé son autonomie, c'est de décider quelles mesures prendre.

En biologie, il est important de savoir traiter les données et les présenter. On fait mention de comprendre et interpréter des graphiques; parfois, le développement de l'autonomie passe par les choix à faire pour la façon de présenter ses données, et parfois, c'est par le choix des outils mathématiques (notamment statistiques) qui permettront de tirer des conclusions avec nos résultats.

En chimie, il est important de savoir concevoir sa méthode. Les données et résultats sont moins importants: une expérience, c'est une preuve de concept, comment fait-on pour synthétiser ce composé, comment fait-on pour analyser cet échantillon. L'autonomie repose sur les choix de méthodes et d'instruments.

Les connaissances procédurales à développer pour développer son autonomie scientifique sont différentes d'une discipline à l'autre, mais un point commun relie les disciplines: ce sont les connaissances conditionnelles (ou méta-cognitives), (Anderson et al., 2001). Ce sont elles qui jouent leur rôle quand on parvient non seulement à savoir « comment faire quelque chose », mais aussi à faire les bons choix par rapport à ce « quelque chose ». La difficulté, au fond, n'est pas dans la mise en pratique des connaissances procédurales, qui peut être réalisée par une personne non autonome. La difficulté réside dans la capacité de faire des choix judicieux, éclairés, informés, sur quelle procédure mettre en pratique.

Les observations que nous faisons ici trouvent leur écho dans les écrits de recherche. Notamment, les préoccupations que nous notons en physique semblent prévaloir dans la culture de l'enseignement de cette discipline. Holmes et Lewandowski (2020) ont montré, lors d'une enquête portant sur 200 cours de laboratoire en physique offerts par des établissements postsecondaires nord-américains, que la majorité de ces activités mettent particulièrement l'accent sur les éléments de modélisation. De plus, les professeurs de physique se préoccupent vivement de l'incertitude de mesure (Pollard et al. 2021), notamment en recrutant des outils statistiques tels que la

déviations, la propagation de l'erreur, l'incertitude systématique, etc. Les étudiant·e·s mettent en opération l'incertitude pour s'engager plus en profondeur dans les concepts de modélisation et, par la suite, pour interpréter correctement ses données.

En ce qui concerne les écrits de recherche sur l'enseignement de la chimie, ils font bel et bien état que les professeurs de chimie mettent l'accent sur l'acquisition de connaissances, notamment ceux de manipulation. Compte tenu de la nouveauté d'un grand nombre de techniques et d'instruments requis pour qu'un chimiste soit fonctionnel dans sa discipline, cela n'est pas surprenant. Une enquête menée auprès de professeur·e·s universitaires du Pakistan (Choudhary et al, 2020) a montré que les professeur·e·s de chimie se préoccupent du rôle du processus comme pratique clé dans la démarche scientifique. Également, Seery et al. (2019) ont récemment proposé un cadre pour l'enseignement de la chimie en laboratoire, fondé sur des objectifs cités traditionnellement dans la littérature sur l'enseignement de la chimie. La priorité est accordée au besoin d'enseigner les techniques expérimentales et « comment faire » de la science. En outre, dans une étude sur les différences disciplinaires parmi les professeur·e·s du secondaire (Breslyn et McGinnis, 2012), les professeur·e·s de chimie étaient moins intéressés à laisser les étudiant·e·s se poser leurs propres questions ou de développer des hypothèses, en contraste avec les professeur·e·s de physique ou de biologie. L'emphase portait plutôt sur le développement de méthodes pour répondre à des questions liées au contenu. Bref, il semble essentiel que les étudiant·e·s maîtrisent un plus grand nombre de connaissances procédurales avant de pouvoir réaliser des laboratoires par enquête en chimie.

Ayant ressorti avec un peu moins de prévalence dans les réponses à cette première question se trouve une autre catégorie de connaissances s'ajoute, qui sont elles aussi procédurales : celle de **choisir des sources et en évaluer la fiabilité**. Au total, 13 % des réponses recueillies portent sur cet aspect bien spécifique de l'autonomie scientifique :

- « Jugement de la pertinence des sources (Web trop vulgarisées, trop complexes, etc.) » *[extrait d'une équipe de physique]*
- « Choix de l'information à aller chercher (valeurs de référence par exemple) » *[extrait d'une équipe de chimie]*
- « Être capable d'interpréter et de sélectionner la littérature appropriée/pertinente (dans de nombreuses disciplines) » *[traduit de l'anglais d'une équipe de biologie]*.

Travailler avec des sources fiables est certes d'une importance capitale en sciences (que ce soient les sciences naturelles, ou les sciences de façon générale). Les découvertes scientifiques ne sont pas des activités isolées, c'est un travail qui se bâtit sur les connaissances construites par autrui. À notre époque d'accessibilité facilitée envers toutes les formes de sources, il est essentiel que les étudiant·e·s apprennent à évaluer la qualité des informations disponibles. De plus, les étudiant·e·s doivent apprendre des stratégies de recherche pour savoir où aller chercher des ressources pertinentes, encore une fois compte tenu de l'abondance de ressources à leur disposition. Ils et elles doivent développer des stratégies pour naviguer à travers les multiples sources d'information, souvent numériques, et être capables d'évaluer la pertinence et la crédibilité de ces sources dans le contexte d'une démarche scientifique (Tsai et Tsai, 2003 ; Hsin et al, 2016). En lien avec notre projet, Aditomo et al. (2013) montre que les sciences pures et naturelles sont plus enclines à inclure des éléments simplifiés de la recherche et de la littérature dans des activités basées sur l'enquête comparée aux disciplines plus appliquées ou mêmes les sciences humaines. Toutefois, il faut noter que même si Lazonder et Rouet (2008) soulignent la valeur de telles stratégies comme éléments essentielles à la construction des connaissances, ils constatent que de nombreux étudiant·e·s maîtrisent mal les compétences métacognitives requises pour rechercher efficacement des ressources numériques (par exemple, sur le Web, dans les bases de sources primaires). Ceci est particulièrement préoccupant car depuis le milieu des années 2000, plusieurs études montrent que les étudiant·e·s au postsecondaire utilisent principalement Internet comme source d'information (Biddix et al., 2011), mais qu'ils ne sont pas aptes à le naviguer efficacement. Pour compiler des sources, les apprenants novices font souvent correspondre les termes de recherche

exactement à ceux des objectifs qu'ils souhaitent atteindre, soit de façon passive. Contrairement, les experts passent beaucoup plus de temps à réfléchir à leur objectifs, tout en tirant des idées provenant des connaissances antérieures afin de mobiliser les stratégies de recherche plus élaborées et plus exploratoires (Brand-Gruwel et al., 2005 ; Tsai, 2004). Rempel (2010) et Hsin et al. (2016) ont montré que même les étudiant·e·s diplômés et les chercheur·e·s en début de carrière éprouvent des difficultés à identifier des travaux pertinents à leurs objectifs, et privilégient stratégiquement la recherche en surface plutôt que de définir des limites appropriées. De tels comportements sont signalés dans toutes les disciplines, y compris les sciences naturelles. Toutefois, il existe des stratégies pour inciter les étudiant·e·s à améliorer leur utilisation des bases de données, à citer des ressources et à comprendre la rédaction scientifique (Klucevsek et Brungard, 2016, Ploj Virtič, 2022). Tout ceci souligne que dans l'enseignement des sciences au niveau collégial, il est logique d'intégrer des compétences en matière de recherche documentaire. Le faire dans le cadre des laboratoires par enquête pourrait aider les étudiant·e·s à faire évoluer leurs croyances épistémologiques en situant ces compétences dans un contexte authentique, la démarche scientifique.

Une autre singularité des réponses des biologistes était la grande fréquence de réponses portant sur des connaissances épistémologiques, catégorisées sous l'étiquette « **Comprendre la nature de la science** ». Les chimistes n'ont pas évoqué cette catégorie, et les physicien·nes, assez rarement (6 % de leurs réponses). Un exemple d'élément mentionné par les biologistes est le suivant :

· « Le passage de la [notion de] science en tant que collection de faits à [celle de] la connaissance développée par une communauté de scientifiques » [*traduit de l'anglais d'une équipe de biologie*].

Les raisons pour lesquelles les professeur·e·s de biologie se préoccupent de la nature de la science sont ancrées dans l'histoire et le contexte de la biologie en tant que discipline (Sloane et al, 2023). Par exemple, des études sur les croyances épistémiques des professeur·e·s de sciences en formation initiale (Topcu, 2013) montrent que de nombreux participant·e·s considéraient les connaissances en biologie comme moins certaines, plus complexes et plus provisoires qu'en chimie ou en physique. Cela pourrait être attribué à la nature de la biologie, soit est une science relativement nouvelle et en pleine croissance, où aujourd'hui sont produites de nombreuses technologies et innovations; il existe une perception qu'il y a moins de *certitude* en biologie qui est en plein contraste des lois chimiques et physiques qui sont perçues comme bien établies et irréfutables - ce qui est une vision positiviste assez dépassée de la nature de la science, mais tout de même répandue chez les professeur·e·s de chimie et de physique. Par conséquent, il semble qu'une bonne compréhension de la pensée biologique nécessite obligatoirement une compréhension plus moderne de la nature de la science. De plus, la préoccupation des biologistes à propos de la nature de la science peut être aussi accordée au caractère historique et herméneutique de la discipline. Par exemple, bien que l'évolution soit largement acceptée par les biologistes comme explication des mécanismes qui règlent la vie sur Terre, une partie du public ne l'accepte pas (Sloane et al, 2023). Par conséquent, il semble nécessaire pour les professeur·e·s de redoubler leurs efforts et d'aborder sur la nature de la science comme concept complémentaire à l'enseignement des principes fondamentaux de la biologie afin de soutenir les étudiant·e·s dans l'apprentissage des concepts clés en biologie.

Enfin, un petit nombre de réponses, dans les équipes des biologistes, des chimistes et des physicien·nes, concerne le **développement d'une attitude propre au travail expérimental**. Les attitudes évoquées sont variées : la résilience face à l'erreur, l'éthique, la prise de décisions et la mobilisation des connaissances. Les mêmes attitudes reviennent en réponse à la question 3, en beaucoup plus grand nombre. Elles seront donc discutées à la section 6.4.1.3, un peu plus loin

À la lumière des réponses données à la question 1, l'autonomie scientifique relève donc, à des degrés divers selon les disciplines, d'un ensemble de connaissances procédurales et épistémologiques, et d'attitudes. Il pourrait paraître curieux qu'aucune réponse des professeur·e·s ne porte sur les connaissances conceptuelles disciplinaires, mais on peut supposer que les connaissances conceptuelles disciplinaires sont celles qui sous-tendent le développement de toute habileté de plus haut niveau comme l'autonomie scientifique.

Puisque la définition de l'autonomie scientifique est si différente chez les professeur·e·s d'une discipline à l'autre, comment peut-on procéder en approche-programme? Une partie de la réponse réside probablement dans l'explicitation de cette différence aux étudiant·e·s. En le leur expliquant, en tenant compte de cette différence dans notre façon d'aborder le développement des habiletés propres au laboratoire, cela pourrait constituer une excellente porte d'entrée pour discuter de la nature de la science et de la façon dont elle se construit, des sujets d'épistémologie qui peuvent contribuer à donner une perspective intéressante et englobante au programme pour nos étudiant·e·s. Et si la différence épistémologique n'est peut-être pas aussi marquée entre la biologie, la chimie et la physique, la façon dont ces disciplines sont enseignées au cégep, oui. La raison réside probablement dans la façon dont les expériences de laboratoire sont conçues, traditionnellement, par les professeur·es. Cette différence a aussi été notée par notre équipe de recherche dans le cadre de la collecte de données autour du QCAL, dont il a été question au Chapitre 2.

**Question 2 : Comment faire développer l'autonomie dans votre discipline?**

À la suite de cette première question servant à faire réfléchir nos participant·e·s sur leur conception de l'autonomie scientifique, nous leur avons demandé de décrire comment cette autonomie pouvait être développée au fil des sessions dans leur discipline. Le tableau ci-dessous répertorie les catégories de réponses à cette question, pour chaque discipline.

**Tableau 6.3**

Nombre d'occurrences des différentes façons de développer l'autonomie, dans les disciplines expérimentales, telles que recueillies lors du grand atelier interdisciplinaire

Façons de développer l'autonomie dans une discipline	Biologie	Chimie	Physique	Total
Assurer une <u>progression</u> dans l'apprentissage de l'autonomie dans un cours	3	9	2	14
Donner la possibilité de faire des <u>choix</u> et laisser la <u>place à l'erreur</u>	2	8	2	12
Proposer des problèmes <u>contextualisés</u> , authentiques	3	5	2	10
Autres formes d'étayage variées	1	5	3	9
Moduler le niveau d'autonomie nécessaire <u>au fil des cours</u> du programme	1	4	2	7
<u>Enseigner explicitement</u> à concevoir une méthode	0	2	1	3
Total par discipline	10	33	12	55

Les quatre catégories de réponses les plus fréquentes, au total des disciplines, portent sur la progression des tâches nécessitant de l'autonomie dans un cours (14 occurrences), sur la liberté laissée aux étudiant·e·s de faire des choix et la possibilité de commettre des erreurs (12 occurrences), sur le fait de proposer des problèmes contextualisés et authentiques (10 occurrences), et sur l'importance de moduler le niveau d'autonomie au fil des cours du programme (7 occurrences).

Pour que les étudiant·e·s deviennent plus autonomes, il faut obligatoirement leur fournir des supports d'apprentissage qui modélisent la pensée scientifique et la pratique disciplinaire. L'orientation, définie ici comme l'assistance offerte avant ou pendant l'apprentissage (Lazonder et Harmsen, 2016), doit être nécessairement définie afin d'aider les apprenants à mener à bien une enquête. Lazonder et Harmsen proposent une typologie des orientations de l'apprentissage par l'enquête : des contraintes, résumé de l'état des lieux, messages-guides, heuristiques, l'explication directe et l'échafaudage ou l'étayage. Bien que des critiques aient été formulées à l'encontre des méthodes par enquête (Kirschner et al., 2006), la fréquence et le type de support fourni par les professeur·e·s pendant la recherche guidée peuvent contribuer à réduire la charge de travail requise pour que les

apprenants tirent un meilleur profit de l'expérience. Les échafaudages peuvent être réduits au fur et à mesure que les étudiant·e·s acquièrent plus d'autonomie, comme décrit dans nos études de cas (voir chapitre 4 et 5).

Il est intéressant que la catégorie portant sur l'espace laissé aux étudiant·e·s soit aussi fréquemment évoquée, surtout par les professeur·e·s de chimie. Ceci permet de tracer un lien entre développement de l'autonomie et espace de liberté pour développer cette autonomie. Les extraits suivants illustrent comment les participant·e·s intègrent ces deux concepts :

- « Activités qui favorisent / développent la résilience (il n'y a pas de mal à faire des erreurs / à apprendre de ses erreurs) » [*traduit de l'anglais d'une équipe de biologie*].
- « Les laisser faire des erreurs ou compléter un protocole ou expliquer des causes d'erreurs diverses » [*équipe de chimie*].
- « Amener les étudiants à prendre davantage de décisions - cela peut-il se faire tout en renforçant les compétences ? Sont-ils en mesure de prendre des décisions adéquates ? » [*traduit de l'anglais d'une équipe de physique*].

L'espace laissé pour la prise de décision dans un contexte de classe offre une occasion d'agentivité aux étudiant·e·s (Holmes et al., 2020) : les étudiant·e·s doivent pouvoir exercer leur habileté de prise de décision scientifique, et pour l'exercer, le dispositif pédagogique doit leur offrir l'espace pour faire des choix pour atteindre un but. La raison pour laquelle cette occasion d'agentivité est nommée plus fréquemment par les professeur·e·s de chimie (que par les professeur·e·s de physique et de biologie) se trouve peut-être, encore une fois, au cœur même de la différence entre les disciplines. Les techniques de laboratoire autour desquelles faire des choix expérimentaux sont plus présentes en chimie (du moins, dans les laboratoires collégiaux) qu'en physique et en biologie.

La catégorie de réponses suivantes parle de problèmes contextualisés, voire authentiques, comme étant un atout pédagogique pour faire développer l'autonomie scientifique :

- « Recherche en situation réelle (avec des contraintes imposées par les ressources), où tout n'est pas joué d'avance » [*traduit de l'anglais d'une équipe de biologie*].
- « Rattacher les laboratoires au concret selon le programme » [*équipe de chimie*].
- « Études de cas - se demander ce qui se passerait si... » [*traduit de l'anglais d'une équipe de physique*].

Naviguer dans un problème touffu et chercher des réponses authentiques sont certainement des habiletés propres à l'exercice de la science réelle (par opposition à la science exercée en classe) (Wieman, 2015). Ce type de problème permet de développer l'agentivité épistémique (*Epistemic Agency*) (Holmes et al., 2020), soit la liberté de prendre des décisions quant à la construction de leur connaissances. L'agentivité épistémique est liée à une prise de décisions productives, ce qui constitue certainement un aspect de l'autonomie scientifique.

Les deux catégories de réponses suivantes parlent de la façon d'assurer une gradation appropriée au développement d'une compétence aussi complexe que l'autonomie scientifique, d'abord durant le déroulement d'un cours, puis au fil des cours du programme. Il s'agirait ici de l'application de l'approche-programme.

- « Faire choisir progressivement l'instrument, la quantité, la méthode, le choix du sujet » [*extrait d'une équipe de chimie*].
- « Se concentrer sur le développement de l'autonomie des étapes d'une procédure plutôt que sur l'ensemble de la procédure » [*traduit de l'anglais d'une équipe de physique*].

Au niveau du programme :

- « Les activités doivent être structurées tout au long du programme (pour éviter que les étudiants ou les professeur·e·s ne soient dépassés) » [*traduit de l'anglais d'une équipe de biologie*].
- « Laisser la pratique de l'autonomie au cours porteur de l'ESP peut être trop tardif - il est préférable d'encadrer l'apprentissage plus tôt » [*traduit de l'anglais d'une équipe de physique*].
- « Commencer à leur demander de l'autonomie avant l'épreuve synthèse (étapes ouvertes dans les laboratoires, que ce soit dans le protocole ou l'analyse) » [*extrait d'une équipe de chimie*].

L'approche-programme est une composante essentielle pour assurer le développement de compétences complexes, pour que chaque discipline, chaque session et chaque cours soit arrimés les uns aux autres en vue du développement de telles compétences. Dans le cadre du nouveau programme de Sciences de la nature 200.B1, les « compétences » de cours ne sont pas écrites de façon à permettre une vision ainsi orientée vers le développement de compétences complexes par l'approche-programme, à deux exceptions près: les buts généraux offrent un cadre de réflexion pour les équipes qui développent les cours, et la compétence intégratrice 0NTC « Démontrer l'intégration de ses acquis en *Sciences de la nature* » l'appel de ses vœux (MEES, 2021). Les réponses recueillies indiquent toutefois sans équivoque que les membres des groupes de discussion sont d'avis qu'il est insuffisant d'attendre à la quatrième session du programme - là où la compétence 0NTC se situe dans les grilles de programme de tous les collègues, sauf preuve du contraire - pour commencer à penser au développement de l'autonomie scientifique, une compétence complexe qu'il convient de faire développer tout au long du programme. Dans une recherche récente sur la façon dont un aspect important de l'approche-programme, l'interdisciplinarité, est pris en compte dans le programme actuel de Sciences de la nature (200.B0) fait toutefois réfléchir et nous inquiète pour la façon dont elle le sera dans le 200.B1 :

« Actuellement, en Sciences de la nature, il y a certes de nombreux buts généraux qui ouvrent en quelque sorte une perspective favorable à l'interdisciplinarité, mais ces buts ne s'actualisent que très partiellement dans l'enseignement concret et formel, ce dernier étant accaparé presque entièrement par les contenus notionnels disciplinaires » (Lepage et Toutloff, 2021, p. 13).

Il n'est pas suffisant de s'attendre à ce que les actions pédagogiques nécessaires pour l'interdisciplinarité ou le développement de l'autonomie se mettent en place spontanément. Il faut prendre en charge les compétences complexes et les contenus riches, en approche-programme, et mettre en place des objectifs d'apprentissage spécifiques dans la planification pédagogique.

### *Question 3 : Quelles composantes de l'autonomie peuvent être développées en interdisciplinarité?*

Après avoir répondu aux questions 1 et 2, un retour très bref de cinq minutes a été fait en plénière par les personnes responsables de l'animation de l'atelier, où ont été mentionnés quelques points en commun observés dans les réponses des différentes équipes. Les participant·e·s ont ensuite été séparé·e·s dans de nouvelles équipes, cette fois multidisciplinaires. Un effort a été fait pour regrouper les gens selon leur cégep, dans l'objectif de faire discuter d'interdisciplinarité des professeur·e·s qui travaillaient déjà ensemble.

La question 3 a été répondue par 10 équipes (quatre équipes composées d'anglophones et six composées de francophones). Un total de 46 unités de sens ont été analysées pour cette question (24 en anglais et 27 en français).

**Figure 6.14**

Proportion des catégories de réponses à la question « Quelles composantes de l'autonomie scientifique sont communes et/ou peuvent être développées en collaboration entre les disciplines de sciences? » fournies par les participant·e·s regroupé·e·s en équipes multidisciplinaires



Les mêmes catégories de réponses reviennent entre la question 1 (discutée précédemment) portant sur les habiletés liées à l'autonomie scientifique et la question 3, portant cette fois sur de telles habiletés pouvant être développées en collaboration entre les disciplines. Les proportions relatives de deux catégories sont toutefois nettement distinctes, et méritent qu'on s'y attarde : la catégorie où on décrit **une attitude propre au travail expérimental** (beaucoup plus abondamment mentionnée en équipes multidisciplinaires), et la catégorie où on parle de la **prise en charge d'un protocole expérimental** (beaucoup moins mentionnée en équipes multidisciplinaires). La première de ces deux catégories, portant sur les attitudes, regroupe des réponses décrivant plusieurs attitudes :

- **La pensée critique** : par exemple « analyse critique - sur ce qu'ils reçoivent, comment ils ont échoué/réussi - réflexion sur leur propre processus analytique » *[traduit de l'anglais]*
- **La résilience face à l'erreur** : par exemple « la capacité de pouvoir faire, identifier et corriger ses erreurs »
- **La mobilisation des ressources** : par exemple « réfléchir avant de poser des questions (au labo) souvent elles sont superficielles, leur apprendre à mobiliser ses ressources »
- **Le sens critique** : par exemple « distinguer la science réelle de la pseudo-science » *[traduit de l'anglais]*
- **La rigueur** : par exemple « rigueur scientifique (objectivité en général, recherche de sources crédibles) »
- **L'éthique** : par exemple « éthique (recherche et développement) » *[traduit de l'anglais]*

Il est curieux que ces attitudes soient évoquées beaucoup plus fréquemment à la question 3 (à développer en interdisciplinarité) qu'à la question 1 (à développer dans les cours de ma discipline). Une interprétation de ce résultat est que les professeur·e·s ne voient pas vraiment ce qui peut être développé en interdisciplinarité, l'ayant

très rarement mise en pratique, comme l'extrait de Lepage et Toutloff (2021) cité plus haut le montre. À défaut d'autre chose, des attitudes, formulées un peu comme des vœux pieux, sont alors évoquées: la rigueur, la résilience... C'est à défaut de savoir quoi répondre d'autre, parce que l'interdisciplinarité n'est, à toutes fins pratiques, pas exercée dans le programme de Sciences de la nature. Une autre interprétation est que les attitudes nommées par les professeur·e·s en réponse à la question 3 sont importantes pour elles et eux, mais le carcan de leur contenu disciplinaire ne leur permet pas de voir comment elles pourraient être prises en charge dans « leurs » cours. Ce pourrait aussi être parce que les professeur·e·s ne sont pas outillés pour élaborer des tâches en interdisciplinarité, et ainsi les composantes de l'autonomie qui pourraient faire l'objet d'un enseignement interdisciplinaire demeure aussi vague dans leur esprit que cet enseignement interdisciplinaire lui-même. Ces problèmes, bien réels dans la mise en place du programme de Sciences de la nature, résultent probablement du programme lui-même: la grande quantité de contenus disciplinaires qui est listée dans le devis ministériel, de même que la quasi-absence de l'interdisciplinarité, orientent les professeur·e·s à conserver la tradition des disciplines en silos.

La seconde catégorie des réponses à la question 3 dont la fréquence est très différente de celles à la réponse 1 est la **prise en charge d'un protocole expérimental**. Une seule réponse des équipes multidisciplinaires pouvait en fait se classer dans cette catégorie : « Adéquation entre la précision requise et le choix des instruments (analyse à l'aide des incertitudes) ; choix de « l'instrument informatique ». Il est curieux que les habiletés fréquemment évoquées dans la question 1, comme le choix des instruments et du matériel, l'élaboration d'une méthode, ou la compréhension des étapes d'un protocole ne sont pas évoquées dans le cadre de la discussion interdisciplinaire.

La raison repose peut-être sur les différences épistémologiques entre les trois disciplines, mais plus probablement, comme évoqué plus haut, sur un manque d'expérience et de connaissances en interdisciplinarité des professeur·es.

Les trois autres catégories de réponses à la question 3, soit **choisir des sources et évaluer leur fiabilité**, **comprendre la nature de la science** et **comprendre, présenter et analyser des résultats** sont évoqués similairement que lors des discussions disciplinaires. Il semblerait que les professeur·e·s estiment que ces habiletés, propres à l'autonomie scientifique, puissent être développées tant dans les silos disciplinaires qu'avec l'apport des différentes disciplines dans le cadre d'une approche-programme.

La catégorie de réponses la plus fréquente parmi celles-là est **comprendre, présenter et analyser des résultats**, qui était aussi très prévalente à la question 1 pour les biologistes et les physiciens. Il n'est pas possible de savoir, dans les équipes interdisciplinaires, si c'étaient des biologistes et des physiciens qui ont formulé des réponses se classant dans cette catégorie, mais c'est probable, puisqu'il ne semble pas s'agir d'une préoccupation des chimistes. Comme mentionné plus haut, ces réponses portent sur des connaissances procédurales et les différences interdisciplinaires reposent probablement sur la nature des disciplines. Il demeure que ces connaissances procédurales particulières, comme les conventions d'écriture scientifique, peuvent être vues à tout le moins comme transdisciplinaires:

« Rédaction du rapport de laboratoire - beaucoup de similarités à exploiter entre les disciplines. Identifier quelles conventions sont propres aux disciplines et lesquelles peuvent être générales » [*traduction d'une réponse en anglais*]

Certainement, des similarités peuvent exister entre les disciplines, mais ce type de tâches ne représente peut-être pas un aspect de l'autonomie scientifique au sens où nous l'entendions dans le cadre de cet atelier. Il s'agirait plutôt d'un aspect relatif à la pratique scolaire de la science, plutôt que la pratique scientifique plus authentique. Il demeure que la rédaction scientifique est une tâche que les scientifiques doivent réaliser, mais les exercices de rédaction scolaires sont assez loin de la rédaction d'articles scientifiques, et ne constituent que peu des tâches au travers desquelles peuvent se développer une forme ou une autre d'autonomie.

#### *Question 4 : Quels exemples de contenus ou de notions peuvent être traités en interdisciplinarité?*

Après avoir fait réfléchir les participant·e·s aux habiletés propres à l'autonomie scientifique en interdisciplinarité, nous leur avons posé la question 4, plus précisément sur les contenus et les notions qui, selon leur perspective, pourraient être traités en interdisciplinarité. On sait que peu de professeur·e·s de sciences de la nature ont une perspective interdisciplinaire (Lepage et Toutloff, 2021). Il nous apparaissait intéressant de demander à des équipes multidisciplinaires de tenter de penser à des exemples de sujets qui appellent à l'interdisciplinarité.

Les réponses des équipes présentent des idées qui pourront apparaître pertinentes, mais comme les participant·e·s ont peu eu le temps de développer leur réflexion, elles demeurent assez superficielles. Ces idées se classent en quatre catégories principales : des thèmes (19 réponses), des notions précises (8 réponses), des outils (21 réponses) et des idées portant sur le laboratoire (6 réponses).

Les thèmes évoqués sont l'environnement (notamment les changements climatiques), la biomécanique et le fonctionnement des neurones pour mettre en relation la biologie et la physique, la spectroscopie et les puces informatiques. Les notions spécifiques étaient la radioactivité, l'électrochimie, l'énergie, le frottement et les solutions.

Les outils évoqués pour faire des ponts entre les disciplines sont principalement les mathématiques (notamment les statistiques) et l'informatique. Ces réponses n'indiquaient pas quoi enseigner dans les cours, mais mentionnaient plutôt que ces outils gagneraient à être utilisés dans toutes les disciplines, ce en quoi les participant·e·s jugeaient qu'ils étaient propices à l'interdisciplinarité. C'est en effet une autre façon de voir l'interdisciplinarité, celle qui consiste à ce que les différentes disciplines utilisent les mêmes outils, partagent des pratiques, ce qui contribue à une expérience étudiante cohérente.

Sur le laboratoire, les idées évoquées parlaient principalement de la façon de faire progresser les étudiant·e·s vers l'autonomie scientifique, réflexions qui avaient probablement été teintées par les discussions sur les questions précédentes lors de l'atelier de discussion. On évoquait notamment l'étayage, qui pourrait être modifié ou allégé au fil des sessions dans toutes les disciplines du programme, de façon à ce que l'autonomie soit développée en parallèle en biologie, en chimie et en physique. Dans le même sens, des participant·e·s évoquaient une progression à assurer entre les objectifs des expériences entre la session 1 et la session 4 du programme. Ces idées portent sur l'approche-programme, à la fois longitudinale au fil de sessions et transversales d'une discipline à l'autre. Bien sûr, il s'agit d'une fin souhaitable, mais les modalités d'application n'ont pas été évoquées par les équipes, certainement en raison de la contrainte de temps et du contexte de cette discussion.

Dans le cadre des travaux d'implantation du nouveau programme de Sciences de la nature 200.B1, les départements auront à réfléchir de façon plus concrète sur leur intention d'intégrer de l'interdisciplinarité dans leur programme. Un compte-rendu de ces initiatives serait certainement intéressant pour bien des intervenant·e·s du collégial. Les communautés de pratique disciplinaires, qui ont été démarrées ou élargies dans le cadre du présent projet de recherche, pourront servir dans l'avenir à partager sur ces sujets, au fur et à mesure que l'implantation du nouveau programme sera faite par les collègues.

#### **6.4.2 Premières rencontres des CdP disciplinaires : discussions sur le laboratoire par enquête**

Comme décrit plus haut, à la suite de la première grande rencontre interdisciplinaire, nous avons conçu l'atelier « Changer un labo », portant sur le laboratoire par enquête guidée. Avant et après l'atelier, nous demandions aux participant·e·s de nous dire à quoi devraient servir les activités en laboratoire. Au cours de l'atelier, après leur avoir expliqué ce qu'était le laboratoire par enquête guidée, nous leur avons demandé quels étaient les défis qu'ils et elles pouvaient anticiper pour l'implantation de telles expériences de laboratoire. Les deux sections qui suivent présentent un aperçu des réponses recueillies à ces deux questions.

### *À quoi sert le laboratoire en sciences?*

On présente dans le tableau 4 les perspectives de participant·e·s à nos ateliers concernant les objectifs de l'enseignement en laboratoire. De plus, nous présentons les objectifs identifiés par la majorité des participant·e·s comme étant plus appropriés pour des activités traditionnelles, pour des activités basées sur l'enquête guidée ou les deux. À noter que les réponses ont été recueillies au début de nos ateliers. Des exemplaires de ce travail, fait en équipe, sont présentés dans la figure 6.15.

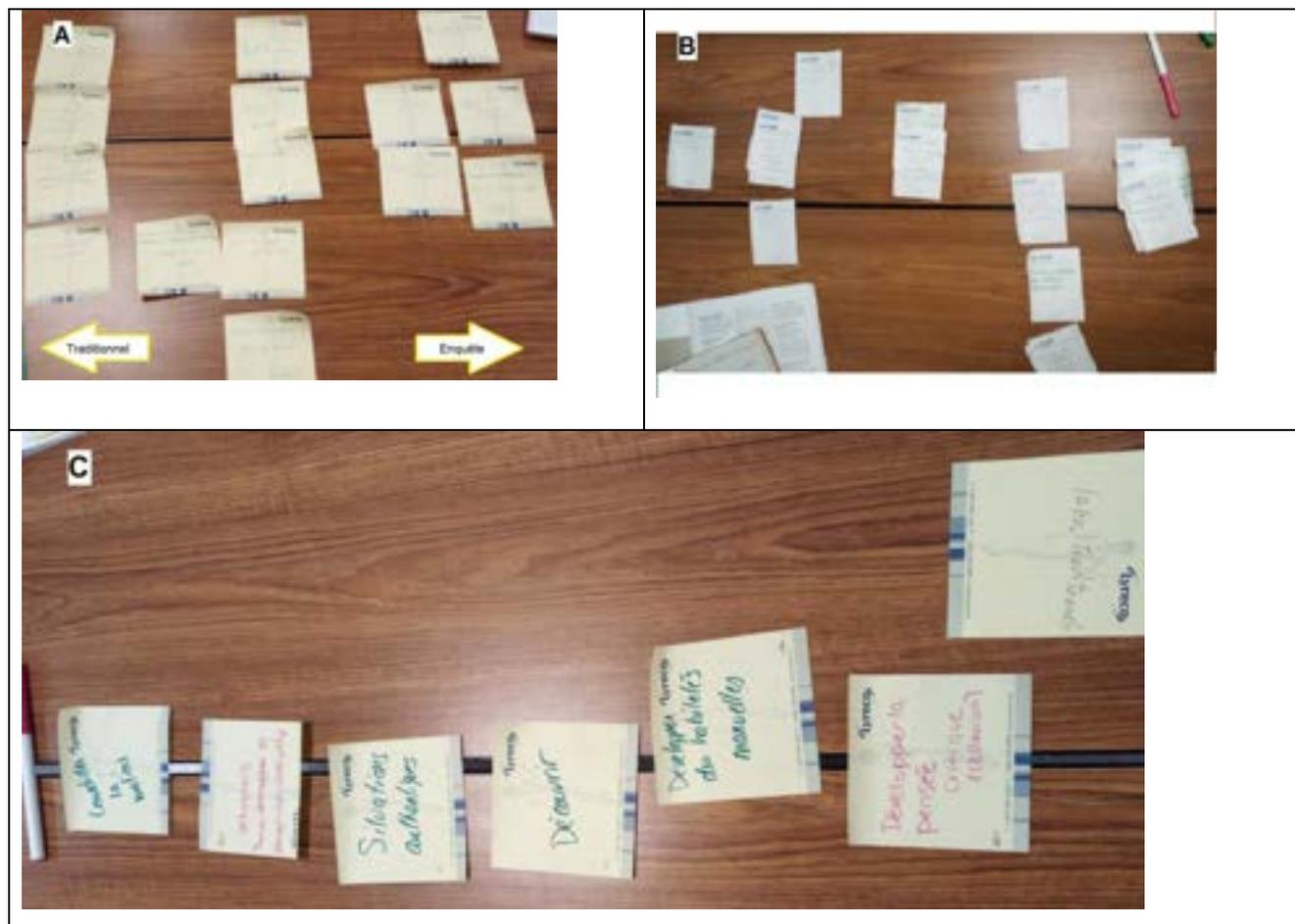
**Tableau 6.4**

Les objectifs d'apprentissage en laboratoire

Objectif	Traditionnel	Enquête guidée	Les deux approches
Vérification des lois et théories	X		
Apprendre à utiliser des appareils, instruments, verrerie, etc...	X		
Suivre les instructions	X		
Développer sa pensée critique			
Développer son autonomie au labo		X	
Développer l'autoréflexion		X	
Développer les compétences de recherche		X	
Faire des observations		X	
Mieux comprendre la nature et le processus expérimental de la science		X	
Faire des prédictions		X	
Apprendre les conséquences de nos choix		X	
Consolider ses acquis dans une autre contexte		X	
Analyse des données			X
Développer les compétences en laboratoire			X
L'incertitude des mesures			X
La science s'agit de plus que des équations et des théories			X
Sécurité en laboratoire			X

**Figure 6.15**

Exemples de travaux réalisés par les groupes de discussion au cours des ateliers.



Les participant·e·s ont été invités à classer des objectifs d'apprentissages selon où ils sont mieux traités : par des laboratoires traditionnels (côté gauche des images) ou par enquête guidée (côté droite). Au départ, les objectifs ont été classés par les participant·e·s uniquement dans l'une des deux options, mais avec le temps la plupart des groupes ont convergé vers des schémas dans lesquels ils ont soit A) placé certains objectifs dans les deux classifications, B) développé un continuum traditionnelle-enquête ou C) placé la plupart des objectifs d'apprentissage au centre d'un continuum.

Lorsque les participant·e·s ont été interrogés sur les objectifs des laboratoires, ils n'ont pas hésité à répondre qu'ils servaient à *vérifier ou supporter l'apprentissage de la théorie apprise en classe ou pour effectuer un travail pratique dans un laboratoire*. Il s'agit là de réponses omniprésentes peu importe la discipline représentée dans nos ateliers. En ce qui concerne les objectifs les mieux traités par les laboratoires traditionnels, ils sont souvent représentatifs des connaissances procédurales, par exemple le suivi d'un protocole ou comment utiliser des instruments de labo. En revanche, les objectifs perçus comme des processus d'ordre supérieur, étaient largement considérés comme mieux maîtrisés dans un contexte de laboratoire par enquête. Les objectifs considérés comme pouvant être pris en charge dans le cadre de l'une ou l'autre approche semblaient être principalement centrés sur l'analyse des données, l'incertitude et le fait que la nature de la science est plus sophistiquée que simplement *faire des calculs et comprendre la théorie*.



objectifs d'apprentissage considérés par la groupe comme étant uniquement acquis dans le cadre d'une activité par enquête.

*Les défis pour l'implantation des laboratoires par enquête guidée*

Dans le tableau 6.5, nous présentons les témoignages de participant·e·s à nos ateliers concernant les défis pour implanter des laboratoires par enquête. Les commentaires sont classifiés par défi spécifique aux professeur·es, aux départements, au programme ou à l'institution.

**Tableau 6.5**  
Obstacles pour la mise en œuvre de laboratoires par enquête guidée

Enseignant	Département	Programme	Institution
Plus de temps nécessaire au labo, faut enclencher le travail chez les étudiant·e·s	Temps de préparation pour les techniciens	Le temps disponible	Ressources humaines, matérielles
Pédagogie déstabilisant pour certains professeur·es	Convaincre ses collègues d'adopter la pédagogie par enquête	Concertation au sein de l'équipe	Organisation des horaires
Demande la souplesse de la part de l'enseignant	L'approche demande aux techniciens de s'adapter aux besoins des étudiant·e·s	Implémentation de l'approche programme, développer une position programme	Besoin de matérielles dans les labos pour avoir plus de possibilités de protocoles
Nécessite une bonne maîtrise du contenu, des activités de labo	Équivalence entre les sections	Cohérence entre les disciplines au niveau de l'approche au laboratoire	
Gestion des groupes et/ou personnalisée pour chaque projet		Demande de soutien supplémentaire	
Vérification et validation des méthodes des étudiant·e·s en amont		Demande plus de ressources	
Anxiété des étudiant·e·s			
Développer ou trouver des exercices de laboratoires réalisables		La charge de travail pour l'étudiant	

Sans surprise, le temps, un des obstacles les plus cités dans les écrits de recherche (Teig et al., 2019) était la préoccupation identifiée comme défi pour toutes les parties prenantes. En ce qui concerne spécifiquement les professeur·es, les thèmes dominants étaient liés à la gestion des étudiant·e·s, le niveau de planification nécessaire pour la mise en œuvre de laboratoires par enquête et l'évaluation du travail des étudiant·e·s. Là encore, ces résultats sont conformes à ceux qui ont été rapportés ailleurs (Akuma et Callaghan, 2019; Berg et al., 2003 ; Zion et Medelovici, 2012). Au niveau de l'étudiant·e on identifie comme défis l'application systématique d'une approche programme, la cohérence ou le besoin d'une synergie entre les disciplines, l'équivalence entre les sections des cours et l'afflux supplémentaire de ressources humaines (ex. la charge des techniciens) pour soutenir une pédagogie utilisant des laboratoires par enquête. Ces résultats suggèrent qu'une mise en œuvre réussie nécessite une collaboration minutieuse entre toutes les parties prenantes et que l'alignement entre les objectifs de laboratoire et les buts du programme est critique. De plus, l'institution doit reconnaître le temps nécessaire pour les professeur·es, ainsi que le personnel de soutien, pour adopter cette pédagogie dans le cadre d'une approche-programme ou les enjeux pour chaque discipline présentent des situations uniques (voir section 8.4.1.1.)

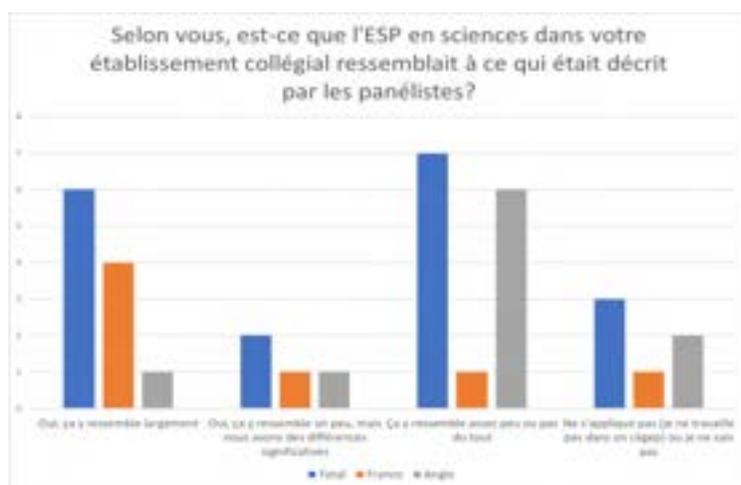
En discutant le temps, il est également important de réfléchir à la manière comment on l'utilise. Dans l'enseignement de sciences naturelles, souvent l'attention est mise sur le contenu plutôt que sur le processus scientifique. Il s'agit d'un défi de taille pour les professeur·e·s ainsi que les programmes de cégeps qui tentent de trouver un équilibre entre l'acquisition des compétences et la couverture du contenu. Souvent, c'est un choix stratégique d'abandonner des activités qui prennent plus de temps, comme des laboratoires par enquête, et de vite enseigner des faits et le contenu:

· « C'est là que se situent les véritables défis : l'attention mise sur le « contenu » plutôt que sur le processus, sur l'introduction de sujets dans le semestre plutôt que sur la nécessité d'aider nos étudiants à comprendre comment (et pourquoi) nous faisons de la science et de quoi s'agit-t'il la nature de la science. Il s'agit là d'un obstacle de taille à surmonter. Si nous pouvions, en tant que département et programme, valoriser davantage l'apprentissage de ce qu'est la science et de la manière dont nous la pratiquons, nous, professeur·es, serions en mesure de consacrer beaucoup plus de temps et de ressources à une approche d'investigation. » [réponse à un sondage après atelier 2022-03-23 physique]

Dans le programme 200.B0, l'évaluation synthèse de programme (ESP) sert à évaluer la capacité d'un étudiant de pouvoir intégrer ses acquis scientifiques dans le contexte d'une tâche authentique. Cela dit, ce qu'un étudiant peut réaliser doit se situer dans leur zone de développement proximal et, sans possibilité de développer l'autonomie scientifique en vue des contraintes sur le temps, l'ESP risque de prendre la forme d'un projet de faible niveau. Pour obtenir un aperçu de la pratique actuelle en matière d'ESP, nous avons organisé une discussion en panel lors de notre premier atelier interdisciplinaire. Dans ce panel, nous avons délibérément invité des professeur·e·s issus de collèges où l'ESP prenait la forme d'une tâche authentique ancrée dans un projet de recherche, et qui était proche de celle demandée par le nouveau programme 200.B1. Après la présentation, nous avons demandé aux participants dans quelle mesure l'ESP de leur cégep ressemblait, à ce moment, à celle de nos panélistes (voir la figure 6.17). Il est intéressant de noter que l'ESP n'est pas universellement abordée d'une manière similaire à celles présentées. Ce qui est plus saisissant c'est que les participants des cégeps anglophones ont indiqué qu'ils n'utilisaient pas une approche similaire du tout. Les différences entre les formes de l'ESP peut s'agir d'un biais d'échantillonnage dans la mesure où les participants francophones ne représentaient que les collèges qui figuraient sur le panel, mais, toutefois, il semble exister un fossé philosophique.

**Figure 6.17**

Réponses des participants de notre première rencontre interdisciplinaire concernant les similitudes entre les versions de l'ESP présentés par nos panélistes et celles utilisées à leur cégep.



## 6.5 Discussion Impact des CdP

De façon réconfortante pour le développement de l'autonomie dans le programme de sciences, nos observations semblent montrer que les professeur·e·s se préoccupent de faire vivre des activités d'apprentissage en laboratoire qui dépassent le niveau « vérification » des laboratoires traditionnels.

Si on peut compter sur les préoccupations déclarées lors des CdP comme tributaires de celles de l'avenir, il semble que les professeur·e·s demeureront intéressé·e·s à faire développer l'autonomie de leurs étudiant·e·s en laboratoire. Les pratiques rapportées lors des entrevues, dont il a été question précédemment dans ce rapport, montrent que ces préoccupations se traduisent, chez certaines personnes, par l'implantation de labos par enquête. Il est ainsi permis de croire que lors de l'implantation du nouveau programme de Sciences de la nature, ces préoccupations demeureront d'actualité, et les initiatives de labos par enquête seront reconduites, en dépit pourrions-nous dire du devis ministériel. Comme le soulignait à juste titre Jacques Désautels, en parlant des occasions manquées dans le nouveau programme :

« Le programme constitue l'un des acteurs constitutifs de la situation éducative [...]. Il n'en demeure pas moins qu'il est réinterprété par les professeur·e·s suivant leur propre parcours scolaire, leur expérience pédagogique, leur culture, leur posture épistémologique, mais aussi selon leur compréhension de ce qui est permis ou non de dire et de faire dans le contexte socioculturel plus large qui englobe leurs pratiques, cet ensemble de conditions orientant l'expérience éducative vécue par les étudiants et étudiant·e·s » (Désautels, 2020, p. 628).

Les communautés de pratique, en offrant une occasion d'accompagnement et de partage pour les professeurs et les professeures, a peut-être ainsi contribué à faire connaître, à faire planter et à faire reconnaître la valeur des laboratoires par enquête guidée.

Au fil des rencontres des CdP, nous avons eu des échos de certains cégeps qui mettaient en place les labos par enquête guidés, comme nous les décrivions dans notre atelier « Changer un labo ». Afin de documenter ces retombées, et pour recueillir les impressions des membres des CdP, nous avons mené des entrevues très ouvertes avec cinq d'entre eux et elles, qui étaient prof de chimie, prof de physique ou conseiller·ère pédagogique, provenant de cinq établissements collégiaux. Sans tracer un portrait systématique de tous les membres des CdP, les impressions et expériences décrites par cet échantillon sont pertinentes et mettent en lumière les retombées de la mise en place des CdP.

### 6.5.1 Pourquoi participer aux rencontres des CdP

Quand nous leur avons demandé pourquoi ils et elles assistaient aux rencontres de la CdP, une réponse assez généralement répandue chez les membres questionnés était que ça permet de voir ce qui se fait dans d'autres cégeps, pour des enjeux pédagogiques qui touchent tout le monde. Un membre de CdP disait à ce sujet : « Nous avons tous les mêmes problèmes. Il y a des différences entre nos cégeps, mais on peut profiter des solutions que les autres ont mises en place », soulignant la pertinence professionnelle pour cette personne d'assister aux rencontres de la CdP.

Les membres questionnés ont notamment cité des problèmes très concrets comme l'évaluation des rapports de laboratoire, et aussi des enjeux plus globaux touchant notamment à l'organisation scolaire (façon de séparer les heures du cours dans l'horaire hebdomadaire, travail en co-enseignement interdépartemental, etc.). Le fait de s'apercevoir que les profs d'une même discipline sont confrontés aux mêmes questionnements et aux mêmes problèmes d'un cégep à l'autre a contribué à créer un sentiment d'appartenance, qui s'est reflétée sur la participation à la CdP. Au-delà d'être un moment agréable de socialisation (et ce, bien que ça se déroulait toujours en vidéoconférence), les membres nous ont dit en toutes lettres avoir développé un sentiment d'appartenance à la CdP.

Un membre nous a mentionné que le fait de discuter de ses questionnements avec des profs d'autres cégeps lui permettait d'entendre d'autres points de vue, tout en lui confirmant que ces questionnements, ce n'était pas uniquement lui qui les avait. Ceci peut permettre de valider l'identité professionnelle des membres de la CdP, qui trouvent écho chez des inconnus de leurs préoccupations, qui s'en trouvent validées.

De plus, un membre mentionnait aussi que la CdP offrait un moment et un endroit pour aborder ces questionnements. Dans son cégep, rares sont les occasions de faire un tel partage. Il en disait d'ailleurs que : « notre voisin de bureau a parfois la réponse à notre problème, mais on ne le sait pas ». Cette remarque souligne l'importance de créer un lieu de discussions, qui fournit des occasions de partage.

### 6.5.2 La mise en œuvre de labos par enquête guidée

Des participant·e·s nous ont confirmé que, depuis leur adhésion aux CdP, leur département avait officiellement mis en place des labos par enquête guidée dans le cursus. Les modifications impliquaient des ajustements aux plans-cadres ou aux textes de laboratoire. Certains cégeps attendent l'arrivée du nouveau programme, en tablant sur le fait que ce sera l'occasion de revoir l'ensemble des cours, mais au contraire, certains autres départements, on nous a confié que le changement devait être prévu en amont de la mise en œuvre du nouveau programme, pour que ça ne soit pas oublié dans l'effervescence de l'actualisation du programme.

Dans un collège, l'objectif ultime de la mise en place de labos par enquête, soit le développement de l'autonomie scientifique, a été inscrit dans les plans-cadres de toutes les disciplines de sciences expérimentales, dans les orientations pédagogiques. Un autre collège, à travers son comité d'élaboration de programme, a décidé d'intégrer le choix de la méthode expérimentale (un aspect central au labo par enquête) dans ses critères de performance pour l'évaluation de l'atteinte de la compétence d'intégration. Dans ce même collège, une décision départementale en chimie a officialisé l'intégration des labos par enquête et les modifications aux textes de labos sont en cours depuis 2022.

Il est judicieux de dire que les modifications sont « en cours », parce que plusieurs membres des CdP nous ont dit que ces modifications ne sont pas définitives du premier coup, et que les textes de laboratoires par enquête guidée méritent plusieurs itérations pour être optimaux. On nous a souligné divers problèmes techniques aux expériences ou au travail demandé aux étudiant·e·s, qui ont nécessité de retravailler les textes de laboratoires ou la conception même de l'expérience. De façon intéressante, ce travail en continu n'était pas souligné comme un obstacle, pour les profs. Il semblerait que le plus grand obstacle demeure l'immobilisme de tradition, et qu'une fois que les labos par enquête commencent à être expérimentés, les ajustements qu'il faudra y apporter ne sont pas une raison suffisante pour revenir derrière, aux laboratoires traditionnels.

Les obstacles les plus importants qui nous ont été partagés demeurent les mêmes que ceux qui font partie du portrait tracé par le questionnaire QCAL, présenté précédemment dans ce rapport : il est difficile de faire changer les habitudes implantées depuis longtemps. Les profs l'expliquent de diverses façons. Certains émettent l'hypothèse que c'est parce que peu d'entre eux – y compris celles et ceux qui ont répondu à notre entrevue – n'avaient de formation pédagogique. Un prof nous a même raconté une expérience négative, vécue il y a quelques années par son département, où une tâche relative à la gestion de programme leur avait été confiée. Il nous a dit : « on a dû se prononcer sur le devis, mais on n'avait jamais réfléchi à ces questions, on était mal outillés ». Ce sentiment de méconnaissance du domaine des sciences de l'éducation et de son vocabulaire propre pourrait pousser certain·e·s profs de cégep à ne pas vouloir s'impliquer dans le développement pédagogique, et à plutôt rester plus près de leurs habitudes, sur la connaissance du contenu.

Du même souffle, ce prof nous a mentionné que de participer à la CPECC pouvait aider les profs, spécialistes de leur contenu, à s'approprier des notions d'éducation. La discussion lui permettait d'être mis en contact avec des concepts pédagogiques dont il ignorait l'existence, donc sur lesquels il n'aurait jamais pu chercher

d'information auprès de ressources, parce que, dans ses mots « des fois, nommer les choses, ça permet au concept d'exister ».

## 6.6 Conclusion du chapitre sur les CdP

### 6.6.1 Sommaire

1. Nous avons établi des communautés de pratique (CdP) à travers trois disciplines, biologie, chimie et physique, en français et en anglais, afin de les utiliser comme moyen de mettre en contact les praticien·nes avec notre recherche sur les laboratoires par enquête. Comme notre projet était une recherche fondée sur la conception, les CdP ont constitué un moyen propice pour disséminer nos résultats et pour informer la direction de notre travail. Les membres de notre équipe y ont joué le rôle d'agents de transfert bien situés pour répondre aux besoins des CdP.

2. Nous avons pu exploiter les CdP, nouvelles et existantes, pour élargir notre champ d'action. Cela a permis à notre groupe de recherche de concevoir des ateliers interdisciplinaires de plus grande envergure qui répondaient aux préoccupations des professeur·e·s à l'égard de l'implantation du nouveau programme 200.B1 et qui présentaient des laboratoires par enquête comme un moyen de résoudre certaines de leurs préoccupations. De plus, nos ateliers ont servi comme mécanisme pour rassembler non seulement les professeur·e·s au cégeps, mais aussi nos partenaires universitaires. C'est grâce aux discussions qui ont eu lieu dans les CdP (chimie) que nous avons identifié une lacune: que les universités étaient peu informées vis-à-vis de l'implantation réelle du nouveau programme 200.B1 et les changements exacts au contenu des cours de sciences.

3. Nos ateliers spécialisés, notamment « Changer un labo traditionnel en labo par enquête guidée », ont servi comme moyen d'accompagner nos participant·e·s dans le processus de réévaluer ses objectifs de laboratoires et de développer des approches basées sur l'enquête, étroitement liées à leur pratique actuelle. Notre support a répondu aux besoins nécessaires pour faciliter le changement, soit ceux identifiés par Fullan et al. (2018) et Henderson et al. (2011). Nous avons ainsi influencé le changement systématique dans plusieurs départements et dans plusieurs institutions. Nous continuons à offrir ce soutien à tous les groupes intéressés.

4. En discutant d'autonomie scientifique avec nos membres des CdP, plusieurs thèmes sont ressortis :

- Les professeur·e·s de physique et de biologie se préoccupent surtout de la compréhension, la présentation et l'analyse des données, tandis que les professeur·e·s de chimie des connaissances procédurales.
- Les biologistes indiquent que la compréhension de la nature de la science est une composante essentielle au développement de l'autonomie scientifique, un aspect moins valorisé par les chimistes et physiciens.
- Globalement, les professeur·e·s de sciences estiment que les étudiant·e·s doivent être capables de choisir leurs sources et d'en évaluer la fiabilité pour être des scientifiques autonomes.
- Ils et elles ont identifié comme objectifs qui peuvent être développés en collaboration avec d'autres disciplines a) l'attitude propre au travail expérimental et b) la prise en charge d'un protocole expérimental. Cependant, ceux-ci étaient moins valorisés que dans le contexte disciplinaire.

Ces résultats mettent en évidence les différences entre les disciplines. Ces différences peuvent poser des défis pour la mise en œuvre de laboratoires basés sur l'enquête, en particulier s'ils doivent être réalisés dans le contexte d'une approche par programme. Comme moyen de surmonter ces enjeux, nous suggérons la formation de CdP locales et interdisciplinaires qui peuvent identifier les concepts transversaux en labo, les conflits interdisciplinaires, et proposer des solutions. D'après des discussions eues avec nos collègues, de tels groupes semblent se former dans quelques cégeps.

5. Les partages entre membres des CdP et notre équipe de recherche renforce l'idée qu'au niveau collégial, l'implantation des laboratoires par enquête nécessite des moyens d'étayage afin de guider les étudiant·e·s. Mais, la mise en œuvre d'une pédagogie utilisant le laboratoire par enquête exige plusieurs itérations pour trouver les bons niveaux d'étayage, d'orientation et de contraintes afin que les étudiant·e·s puissent bénéficier de l'expérience. Dans ce sens, il est aussi critique d'accompagner les professeur·e·s lors des étapes du développement de nouvelles pédagogies. Nos CdP, avec les membres de notre équipe de recherche positionnés non seulement comme chefs de groupe mais aussi comme agents de transfert, ont pu fournir les ressources sociales, pédagogiques et temporelles requises pour soutenir les éducateurs à travers la mise en œuvre d'une pédagogie impliquant les laboratoires par enquête.

6. Nos observations indiquent que les professeur·e·s se préoccupent de faire vivre des activités d'apprentissage en laboratoire qui dépassent le niveau « vérification » des laboratoires traditionnels et qui touchent à la fois sur la démarche scientifique et la nature de la science. L'introduction du nouveau programme 200.B1 semble avoir agi comme catalyseur pour des discussions entre professeur·e·s du postsecondaire sur le rôle des laboratoires dans l'enseignement des sciences. Que ces discussions aient eu lieu au cours de rencontres interdisciplinaires, lors d'ateliers disciplinaires, ou entre membres de CdP, le réseau social mis en place par notre équipe de recherche a eu un impact positif important pour le transfert de connaissances.

## 6.7 Références (chapitre six)

- Aditomo, A., Goodyear, P., Bliuc, A.-M., & Ellis, R. A. (2013). Inquiry-based learning in higher education : Principal forms, educational objectives, and disciplinary variations. *Studies in Higher Education, 38*(9), 1239-1258. <https://doi.org/10.1080/03075079.2011.616584>
- Akuma, F. V., & Callaghan, R. (2019). A systematic review characterizing and clarifying intrinsic teaching challenges linked to inquiry-based practical work. *Journal of Research in Science Teaching, 56*(5), 619-648. <https://doi.org/10.1002/tea.21516>
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J., & Wittrock, M. C. (Éds.). (2001). *A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman.
- Bathgate, M. E., Aragón, O. R., Cavanagh, A. J., Frederick, J., & Graham, M. J. (2019). Supports : A Key Factor in Faculty Implementation of Evidence-Based Teaching. *CBE—Life Sciences Education, 18*(2), ar22. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-12-0272>
- Belleau, J. (2017). *Les acquis disciplinaires attendus des diplômés des programmes de sciences* (p. 31). Gouvernement du Québec. [http://www.lareussite.info/wp-content/uploads/2017/01/2017-03-jbelleau\\_acquis-disciplinaires-attendus-diplomes-programmes-sciences.pdf](http://www.lareussite.info/wp-content/uploads/2017/01/2017-03-jbelleau_acquis-disciplinaires-attendus-diplomes-programmes-sciences.pdf)
- Berg, C. A. R., Bergendahl, V. C. B., Lundberg, B., & Tibell, L. (2003). Benefiting from an open-ended experiment? A comparison of attitudes to, and outcomes of, an expository versus an open-inquiry version of the same experiment. *International Journal of Science Education, 25*(3), 351-372. <https://doi.org/10.1080/09500690210145738>
- Biddix, J. P., Chung, C. J., & Park, H. W. (2011). Convenience or credibility? A study of college student online research behaviors. *The Internet and Higher Education, 14*(3), 175-182. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2011.01.003>
- Brand-Gruwel, S., Wopereis, I., & Vermetten, Y. (2005). Information problem solving by experts and novices : Analysis of a complex cognitive skill. *Computers in Human Behavior, 21*(3), 487-508. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2004.10.005>
- Breslyn, W., & McGinnis, J. R. (2012). A comparison of exemplary biology, chemistry, earth science, and physics teachers' conceptions and enactment of inquiry. *Science Education, 96*(1), 48-77. <https://doi.org/10.1002/sc.20469>

- Choudhary, F. R., Noor, H., & Javeed, T. (2020). Epistemological Beliefs and Philosophical Perspective of the Science and Mathematics Teachers about the Nature of Science. *Global Social Sciences Review*, *V*(II), 356-369. [https://doi.org/10.31703/gssr.2020\(V-II\).34](https://doi.org/10.31703/gssr.2020(V-II).34)
- Coil, D., Wenderoth, M. P., Cunningham, M., & Dirks, C. (2010). Teaching the Process of Science : Faculty Perceptions and an Effective Methodology. *CBE—Life Sciences Education*, *9*(4), 524-535. <https://doi.org/10.1187/cbe.10-01-0005>
- Cormier, C., & Voisard, B. (2022). Nouveau programme collégial québécois de Sciences de la nature : Commentaire sur l'article de Désautels (2020) et pistes pour l'intervention. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*. <https://doi.org/10.1007/s42330-022-00192-8>
- Farley, E. R., Fringer, V., & Wainman, J. W. (2021). Simple Approach to Incorporating Experimental Design into a General Chemistry Lab. *J. Chem. Educ.*, *98*(2), 350-356. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00921>
- Fullan, M., Quinn, J., & McEachan, J. (2018). *Deep Learning : Engage the world change the world*. Corwin.
- Henderson, C., Beach, A., & Finkelstein, N. (2011). Facilitating change in undergraduate STEM instructional practices : An analytic review of the literature. *Journal of Research in Science Teaching*, *48*(8), 952-984. <https://doi.org/10.1002/tea.20439>
- Holmes, N. G., Keep, B., & Wieman, C. E. (2020). Developing scientific decision making by structuring and supporting student agency. *Physical Review Physics Education Research*, *16*(1), 010109. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010109>
- Holmes, N. G., & Lewandowski, H. J. (2020). Investigating the landscape of physics laboratory instruction across North America. *Physical Review Physics Education Research*, *16*(2), 020162. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020162>
- Hsin, C.-T., Cheng, Y.-H., & Tsai, C.-C. (2016). Searching and sourcing online academic literature : Comparisons of doctoral students and junior faculty in education. *Online Information Review*, *40*(7), 979-997. <https://doi.org/10.1108/OIR-11-2015-0354>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work : An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, *41*(2), 75-86. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1)
- Klucevsek, K. M., & Brungard, A. B. (2016). Information literacy in science writing : How students find, identify, and use scientific literature. *International Journal of Science Education*, *38*(17), 2573-2595. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1253120>
- Lanni, L. M. (2014). Filling a Plastic Bag with Carbon Dioxide : A Student-Designed Guided-Inquiry Lab for Advanced Placement and College Chemistry Courses. *Journal of Chemical Education*, *91*(9), 1390-1392. <https://doi.org/10.1021/ed400901x>
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning : Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, *86*(3), Article 3. <https://doi.org/10.3102/0034654315627366>
- Lazonder, A. W., & Rouet, J.-F. (2008). Information problem solving instruction : Some cognitive and metacognitive issues. *Computers in Human Behavior*, *24*(3), 753-765. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2007.01.025>
- Lepage, M., & Toutloff, A. (2021). *Étude des rapports à l'interdisciplinarité d'enseignants de Sciences de la nature* [Rapport de recherche PAREA].
- MÉES. (2021). *Sciences de la nature (200.B1), Programme d'études préuniversitaires, Enseignement collégial*. Gouvernement du Québec. <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/education/publications-adm-cegeps/services-administratifs/Programmes-etudes-preuniversitaires/200.B1-2021-sciences-nature.pdf>
- Ploj Virtič, M. (2022). Teaching science & technology : Components of scientific literacy and insight into the steps of research. *International Journal of Science Education*, *44*(12), 1916-1931. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2105414>
- Pollard, B., Hobbs, R., Henderson, R., Caballero, M. D., & Lewandowski, H. J. (2021). Introductory physics lab instructors' perspectives on measurement uncertainty. *Physical Review Physics Education Research*, *17*(1), 010133. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010133>

- Rempel, H. G. (2017). A Longitudinal Assessment of Graduate Student Research Behavior and the Impact of Attending a Library Literature Review Workshop | Rempel | College & Research Libraries. *College & Research Libraries*. <https://doi.org/10.5860/crl-79>
- Sloane, J. D., Wheeler, L. B., & Manson, J. S. (2023). Teaching nature of science in introductory biology : Impacts on students' acceptance of biological evolution. *PLOS ONE*, *18*(8), e0289680. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289680>
- Teig, N., Scherer, R., & Nilsen, T. (2019). I Know I Can, but Do I Have the Time? The Role of Teachers' Self-Efficacy and Perceived Time Constraints in Implementing Cognitive-Activation Strategies in Science. *Frontiers in Psychology*, *10*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.01697>
- Topcu, M. S. (2013). Preservice teachers' epistemological beliefs in physics, chemistry, and biology : A mixed study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *11*(2), 433-458. <https://doi.org/10.1007/s10763-012-9345-0>
- Tsai, C.-C. (2004). Information commitments in Web-based learning environments. *Innovations in Education and Teaching International*, *41*(1), 105-112. <https://doi.org/10.1080/1470329032000172748a>
- Tsai, M.-J., & Tsai, C.-C. (2003). Information searching strategies in web-based science learning : The role of internet self-efficacy. *Innovations in Education and Teaching International*, *40*(1), 43-50. <https://doi.org/10.1080/1355800032000038822>
- Wieman, C. (2015). Comparative Cognitive Task Analyses of Experimental Science and Instructional Laboratory Courses. *The Physics Teacher*, *53*(6), 349-351. <https://doi.org/10.1119/1.4928349>
- Zion, M., & Mendelovici, R. (2012). Moving from Structured to Open Inquiry : Challenges and Limits. *Science Education International*, *23*(4), 383-399.

## CHAPITRE SEPT : Objectif 4

---

Ce chapitre constitue une étude de cas basée sur l'exploration des rôles cruciaux des communautés de pratique et des agents de transfert, comme présenté dans le chapitre précédent, dans le comblement du fossé entre la recherche et la pratique. Il illustre notre réponse à la question de recherche liée à l'objectif 4 (voir ci-dessous).

- Q4.b Comment peut-on soutenir et favoriser l'évolution d'enseignant·e·s vers l'adoption de laboratoires par enquête, tout en encourageant leur collaboration mutuelle pour un changement fructueux ?

### 7.1 Exploration des pratiques pédagogiques dans un département de chimie de cégep : une étude de cas

Notre étude de cas se penche sur la transformation en cours dans le département de chimie d'un cégep qui a accepté de participer à notre recherche, un exemple notable de changement départemental reconnu par notre équipe et au sein du réseau collégial. Des membres individuels de ce département ont notamment apporté des contributions significatives à l'éducation, par exemple par des publications ou par des prix de reconnaissance en éducation. Mais au-delà des individus, ce qui est remarquable dans ce département, c'est son efficacité collective dans l'adoption d'approches pédagogiques soutenues par la recherche, comme en témoigne l'intégration de laboratoires par enquête dans les cours de chimie. Cette étude de cas vise à aider à répondre à la question de pourquoi cela se produit.

Dans cette étude de cas, le département sert d'unité d'analyse et les définitions existantes dans la documentation spécialisée le rôle du département en tant que communauté de pratique. La littérature sur les communautés de pratique ainsi que les problèmes de transfert de connaissances et de changement organisationnel sont décrits dans le chapitre précédent, intitulé « Transfert de connaissances : des ateliers qui mènent à une communauté de pratique », qui présente le travail de Wenger et al. (2005), entre autres. Pour récapituler : les communautés de pratique sont des groupes d'individus qui apprennent et collaborent collectivement au sein d'un domaine distinct. Ces communautés peuvent être de simples regroupements d'individus partageant des objectifs communs ou, comme ici, des membres du corps professoral façonnant leurs identités académiques au sein du paysage éducatif.

Les communautés de pratique regroupent des individus partageant un intérêt mutuel et une passion profonde pour leur domaine d'expertise spécifique. Grâce à des interactions constantes et des efforts collaboratifs, ils cultivent leurs connaissances et compétences dans ce domaine.

Il est important de souligner que la définition des communautés de pratique n'exige pas nécessairement que la communauté se forme explicitement pour l'apprentissage; elle peut évoluer naturellement en conséquence d'intérêts partagés et d'interactions entre ses membres.

Étant donné que ce département de chimie est relativement petit (effectif total de moins de 10 enseignants), la définition du département en tant que communauté de pratique présente des similitudes avec d'autres définitions connexes, telles que les communautés d'apprentissage du corps professoral et les équipes d'action du département. Selon la définition de Cox (2004), une communauté d'apprentissage du corps professoral constitue un regroupement interdisciplinaire de membres du corps professoral plus structuré et formel, souvent parrainé par l'institution, et peut avoir des leaders ou facilitateurs désignés. Ces membres participent activement à un programme d'au moins un an, axé sur l'amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage. Ce programme peut comprendre des séminaires réguliers et des activités facilitant l'apprentissage, le développement professionnel, l'avancement des pratiques pédagogiques et le renforcement d'un sentiment de communauté. Les équipes d'action du département, en revanche, sont des groupes spécifiques ciblés créés au sein de départements ou d'organisations pour répondre à

des objectifs spécifiques ou mettre en œuvre des changements (Reinholtz et al.). Ces équipes se distinguent par leur nature structurée et formelle, avec des rôles et responsabilités attribués. Elles sont orientées vers des projets, guidées par des objectifs spécifiques et rendent souvent compte à la direction du département ou de l'organisation.

La communauté de pratique reste la perspective la plus pertinente pour cette étude de cas, mais un département ne se traduit pas automatiquement en une communauté de pratique. Cela s'explique par le fait qu'un département est une entité définie et largement statique, avec un mandat très spécifique, comparé à une communauté de pratique.

Ainsi, certains aspects de la communauté de pratique nécessitent des éclaircissements par rapport à un département. Ceux-ci sont le domaine, la communauté et la pratique (Mercieca, 2017).

**Le domaine :** une communauté de département est étroitement alignée sur la focalisation disciplinaire spécifique du département, telle que la chimie. Une communauté de pratique a généralement des éléments supplémentaires qui ne sont pas immédiatement reconnus comme une « expertise de domaine » au-delà de la communauté disciplinaire. Par exemple, ils pourraient inclure des aspects tels que les laboratoires basés sur l'enquête et la connaissance pédagogique du contenu, et donc se connecter à la littérature de recherche.

**La communauté :** l'appartenance à une communauté de pratique départementale est définie par le département et n'est pas aussi flexible qu'une communauté de pratique classique. Cela modifie la nature des interactions entre les membres, qui peuvent être façonnées par les paramètres spécifiques et les structures du département. Cette communauté peut également interagir avec d'autres communautés telles que les chercheur·e·s (par exemple, Saltise) ou le corps étudiant.

**La pratique :** dans une communauté de département, le développement collectif d'un répertoire partagé de ressources, y compris des expériences, des approches de résolution de problèmes et des connaissances spécialisées, est un aspect déterminant. La pratique partagée se construit au fil du temps grâce à une interaction continue et à une collaboration, s'alignant sur l'essence d'une communauté de pratique, mais potentiellement avec des interactions plus fréquentes et moins formelles.

## 7.2 Un cadre pour le changement institutionnel

Corbo et al. (2016) présentent un cadre simplifié basé sur la recherche pour le changement institutionnel dans l'enseignement supérieur. S'inspirant des connaissances de la littérature sur le changement organisationnel et culturel, ce cadre préconise que les agents de changement synchronisent leurs actions à travers plusieurs niveaux d'organisations.

Un aspect de ce cadre particulièrement pertinent pour cette étude est le niveau du département, qui a déjà démontré son succès dans des organisations riches en connaissances telles que les départements universitaires. Cet aspect implique de définir une vision complète et un processus d'alignement au sein d'un département, suivi de sa manifestation à travers l'action et, éventuellement, d'ajustements itératifs; une stratégie inspirée par des pratiques de changement culturel à grande échelle établies dans des organisations commerciales depuis des décennies [Real et al. (2005)]. Ce cadre est une perspective supplémentaire grâce à laquelle cette étude de cas est examinée.

### 7.2.1 Vision et alignement

Le concept d'alignement émerge comme un élément central dans la gestion efficace du changement organisationnel. Le changement, avec son impact multifacette sur divers aspects organisationnels, nécessite une approche nuancée, plutôt que des solutions rapides et directes, mais peut être émergent plutôt que formellement conçu.

Il y a toujours deux catégories distinctes d'alignement organisationnel : externe et interne. Dans le contexte d'un département de cégep, l'alignement externe tourne principalement autour de facteurs tels que la littérature de recherche pédagogique, les offres de cours imposées par le ministère ainsi que d'autres directives et contraintes liées au collège. L'alignement interne se concentre sur la définition des objectifs départementaux et des valeurs fondamentales. L'art de gérer le changement organisationnel dans ce contexte nécessite de naviguer habilement ces dynamiques externes et internes. Dans ce contexte, l'alignement se rapporte à la mesure dans laquelle diverses dimensions au sein du département s'intègrent de manière transparente aux normes externes prédéfinies et au consensus interne [Jarvenpaa (1994); Goold (2002)]. Ceci est plus facile à dire qu'à faire et, comme l'ont souligné Al-Haddad et al. (2015), cela implique d'entreprendre les bonnes actions, de la bonne manière, avec les bonnes personnes, au bon moment.

### 7.2.2 Action

Après un certain consensus sur l'alignement départemental, l'action est nécessaire pour concrétiser la vision. La phase d'action implique de progresser vers la vision partagée en identifiant des plans d'action bien définis et en renforçant les capacités du département, au besoin. Il est nécessaire de tenir compte des contraintes temporelles et de renforcer les mécanismes de communication et de collaboration pour augmenter leur capacité à mettre en œuvre ce processus de changement de manière efficace. Atteindre cet objectif peut nécessiter une réallocation des ressources existantes et la recherche d'un soutien supplémentaire, si nécessaire. Pour assurer la durabilité de ce processus, le département doit intégrer systématiquement les objectifs éducatifs et d'apprentissage avec les objectifs de recherche et les autres objectifs départementaux. Cet effort d'intégration pourrait signifier une réévaluation des perceptions des enseignants en matière d'enseignement.

### 7.2.3 Ajustement

À mesure que l'on progresse à travers les phases d'alignement et d'action, des ajustements deviennent nécessaires. La phase d'ajustement se concentre sur l'évaluation du succès des plans précédemment mis en œuvre, la génération de nouveaux plans d'action et la révision des objectifs pour les aligner davantage sur la vision partagée. Il s'agit d'un processus continu d'affinage, visant à garantir que le département maintient son engagement envers la vision partagée et atteint une plus grande cohérence et un meilleur alignement.

La distinction entre l'action et l'ajustement est souvent floue dans la pratique, car les ajustements sont souvent fins et détaillés, un aspect que cet entretien n'a pas exploré. Pour cette raison, seule l'action est décrite. La vision peut être considérée comme le point de départ partagé, aboutissant à l'action.

Nous avons identifié deux perspectives pour encadrer la discussion : les communautés de pratique et le changement organisationnel. Les communautés de pratique comprennent au moins trois dimensions : le domaine, la communauté et la pratique. Le changement départemental comprend la vision, l'action/ajustement, avec des contraintes externes et internes variables. Bien qu'il existe également une certaine séquence temporelle implicite, c'est-à-dire que la vision se produit généralement en premier, elle pourrait très bien être itérative et non linéaire (Wilkinson, 2013). Réfléchir aux interactions entre les dimensions des communautés de pratique et du changement peut être utile pour analyser et comprendre comment une communauté de pratique évolue et s'adapte au fil du temps. Ceci offre un cadre structuré pour examiner les relations entre le domaine partagé des membres de la communauté, leurs activités de collaboration et le développement de leur pratique commune, ainsi que la manière dont ces éléments s'alignent sur leur vision, conduisent à l'action et nécessitent des ajustements.

## 7.3 Méthodologie

L'ensemble de ce département de chimie a été invité à participer à un entretien de groupe. Ce département a été choisi en raison de l'engagement particulièrement cohésif en faveur du changement pédagogique qui avait été

reconnu par les membres de l'équipe de recherche. L'entretien de groupe a eu lieu en personne au collège, avec trois chercheurs et huit membres du département.

Après confirmation du consentement, l'entretien d'une durée d'une heure et demie a été enregistré et la transcription de l'enregistrement a été réalisée pour l'analyse. Le protocole de questions semi-structurées était similaire à celui des autres entretiens de groupe et a commencé par des présentations et une déclaration de chaque participant sur sa philosophie générale de l'éducation scientifique. La discussion ultérieure visait à révéler les motivations et l'intégration d'abord pour l'adoption de l'apprentissage actif ainsi que de l'apprentissage par enquête, en mettant l'accent sur les laboratoires par enquête. La transcription résultante a été analysée de manière thématique (Xu et al., 2020) en utilisant les axes de la communauté de pratique (domaine, communauté, pratique) et la littérature sur le changement (vision et action).

## 7.4 Les philosophies générales des éducateurs en matière d'enseignement et d'apprentissage dans les sciences

### 7.4.1 Une vision partagée initiale : pédagogie de l'apprentissage actif et apprentissage authentique

Les philosophies d'enseignement partagées par les participants à la discussion révèlent une gamme d'approches et de priorités dans le domaine de l'éducation scientifique. Le thème le plus prédominant est l'adoption d'une approche constructiviste, mettant l'accent sur l'idée que les étudiants construisent activement leurs connaissances, les participants soulignant l'importance d'impliquer les étudiants dans le processus d'apprentissage. Fournir un soutien et des ressources aux étudiants est une pratique largement reconnue pour faciliter le parcours d'apprentissage des étudiants. L'application de concepts scientifiques dans la vie réelle est également un thème récurrent, démontrant le désir de relier les connaissances théoriques à des contextes pratiques. L'autonomie dans le travail en laboratoire, en particulier dans le domaine de la chimie, est soulignée comme un moyen d'améliorer la compréhension des étudiants. Équilibrer la couverture du contenu tout en maintenant l'engagement des étudiants est un défi reconnu. Enfin, les participants apprécient la bienveillance et l'encadrement attentionné dans leurs approches pédagogiques, ainsi que l'incorporation de pratiques fondées sur des preuves pour améliorer les résultats d'enseignement et d'apprentissage.

### 7.4.2 Ré-imagination de l'approche éducative

Les premiers pas du département de chimie dans l'apprentissage par enquête ont été une réponse réfléchie aux tendances éducatives émergentes. Comme l'a noté un membre du corps enseignant, « Nous cherchions un moyen d'impliquer davantage les étudiants dans leur processus d'apprentissage. » Le passage à l'apprentissage par enquête était motivé par la reconnaissance de la nécessité d'améliorer l'engagement des étudiants et les résultats d'apprentissage.

Un autre membre du corps enseignant a souligné l'influence de la culture éducative ambiante : « Il y avait une demande de plus d'approches centrées sur l'étudiant dans l'éducation. » Cette reconnaissance des attentes pédagogiques en évolution a joué un rôle essentiel pour motiver le département à explorer des méthodes basées sur l'enquête.

De plus, l'éthique partagée du département axée sur l'amélioration continue a été un catalyseur. Comme l'a mentionné un membre du corps enseignant, « Nous cherchions constamment des moyens d'améliorer nos méthodes d'enseignement. » Cet engagement envers la croissance et l'adaptation a incité le département à explorer de nouvelles voies, l'apprentissage par enquête étant une approche prédominante.

En ré-imaginant les approches pédagogiques, le département réévalue également les techniques d'évaluation. Les membres du corps enseignant reconnaissent la valeur de l'évaluation formative, la considérant comme un aspect pivot du parcours d'apprentissage. Un membre du corps enseignant a noté : « Il ne s'agit pas seulement de donner l'évaluation aux étudiants; il s'agit d'être là, d'être présent pour eux, et de s'assurer qu'ils comprennent. » Cette perspective marque un départ par rapport aux paradigmes d'évaluation traditionnels, illustrant la réactivité du département aux besoins individuels des étudiants et son objectif de fournir un soutien continu.

De plus, l'engagement envers l'innovation s'étend au mentorat et au soutien pour les nouveaux membres du corps professoral. Les professeurs expérimentés guident activement les nouveaux arrivants, assurant une assimilation harmonieuse dans la culture pédagogique du département. Ce mentorat n'aide pas seulement les nouveaux membres du corps professoral, mais soutient également une culture de pratiques pédagogiques novatrices. Comme une personne l'a exprimé, « Nous avons vu que sa force était dans les laboratoires, alors nous l'avons aidée... » Cette approche collaborative favorise un environnement de croissance et d'adaptation continues.

### 7.4.3 Une mise au point sur les laboratoires par enquête en tant que défi partagé

Au cœur de ce thème d'une nouvelle approche éducative se trouve la mise en œuvre de laboratoires par enquête. Ces laboratoires, décrits en détail dans ce rapport, se caractérisent par une exploration ouverte, permettant aux étudiants de construire activement des connaissances. « Puis le niveau en fait, plus ouvert, ce serait, choisissez votre objectif, choisissez votre méthode, obtenez des données, puis essayez de donner du sens à tout ça. Essentiellement, c'est d'amener les étudiants à utiliser les expériences comme stratégie de résolution de problème. » Un membre du corps enseignant a souligné, « Avec les laboratoires par enquête, ils apprennent à trouver des solutions et à comprendre pourquoi les choses se produisent » par opposition aux laboratoires traditionnels « car... avec les laboratoires traditionnels, nous n'obtenons aucun avantage conceptuel, alors comment aidons-nous les étudiants à comprendre des choses comme, par exemple... la solubilité ? »

Ces expériences d'apprentissage pratique permettent aux étudiants d'apprendre à la fois de leurs succès et de leurs échecs, contribuant à leur développement. « Il s'agit de permettre aux étudiants de développer des compétences, de les laisser échouer, puis de les aider à comprendre ce qu'ils ont mal fait et de les guider vers de meilleurs résultats. »

La mise en œuvre de laboratoires par enquête s'accompagne d'une série de défis que les éducateurs doivent surmonter pour créer des expériences d'apprentissage efficaces. Comme l'a remarqué franchement un éducateur, « Ce n'est pas la tradition, soyons honnêtes, la majorité des laboratoires qui sont donnés, qui sont publiés, qui sont partagés, sont des laboratoires de vérification la plupart du temps. » Ainsi, la nécessité de localiser et de modifier les laboratoires existants pour les adapter au format par enquête constitue un défi significatif auquel de nombreux éducateurs sont confrontés. Les nouveaux professeurs nécessitent un soutien particulier, car « on ne peut pas simplement jeter un nouveau professeur dans ce type de laboratoire s'ils ne l'ont jamais fait ». D'où l'importance du mentorat et du soutien pour les éducateurs novices dans l'enseignement par enquête. De plus, « les étudiants [devraient] avoir le temps d'essayer et de faire des erreurs », ce qui peut entraîner des délais plus longs pour atteindre les résultats souhaités. Il existe une tension entre l'autonomie des étudiants et le temps nécessaire dans les laboratoires par enquête. « Surmonter ces défis est crucial pour créer des expériences d'apprentissage par enquête efficaces et captivantes pour les étudiants. »

L'objectif est de concevoir un parcours d'apprentissage ayant un impact significatif : « Nous voulons que les étudiants sortent de notre programme capables de faire de la recherche, donc nous avons intégré cela dans le programme », ou encore : « Il est de notre responsabilité de nous assurer que les étudiants ont une bonne expérience avec différents types de projets, même s'ils ne conduisent pas tous aux mêmes conclusions », ce qui conduit à des parcours d'apprentissage diversifiés et qui tiennent compte des forces et des préférences variées des étudiants. Ceci est également important pour le bien-être des enseignants : « Nous changeons toujours des choses pour plusieurs

raisons... trouver un moyen de faire ce qui doit être amélioré, c'est-à-dire avoir une santé mentale plus raisonnable pour donner un cours qui a du sens tant pour les étudiants que pour les professeurs. »

#### 7.4.4 Intégration et impact des laboratoires par enquête au sein du département

Le département a délibérément introduit des laboratoires par enquête, ce qui représente un écart significatif par rapport aux laboratoires de vérification traditionnels. Ces laboratoires ne sont pas simplement un ajout; ils représentent plutôt un changement fondamental dans l'approche pédagogique, initialement en réponse à la réforme du programme scientifique de 1998, qui a été interprétée comme exigeant un projet par enquête final. Un membre du corps enseignant a souligné cette transformation, affirmant : « Nous avons réellement transformé la façon dont nous enseignons les laboratoires pour offrir de plus en plus d'activités où les étudiants avaient plus de choix à faire dans le laboratoire, donc ils étaient préparés pour leur projet final. » Par conséquent, même s'il y avait des motivations internes pour le changement, la révision du programme représentait une motivation externe et également une structure dans laquelle le changement pouvait être mis en œuvre.

L'essentiel de l'entretien visait à déterminer comment les laboratoires par enquête en particulier étaient un moteur du cadre pédagogique du département. « Pourquoi faisons-nous des laboratoires comme celui-ci? Eh bien, parce qu'il a été démontré qu'avec des laboratoires comme celui-ci, les étudiants apprennent quelque chose. Alors qu'avec les laboratoires que je fais traditionnellement, cela prend peut-être moins de temps, mais qu'est-ce que les étudiants en retirent? Donc l'effort investi, l'apprentissage, est toujours meilleur avec ce que nous faisons. » Ces laboratoires sont perçus comme des éléments transformateurs qui non seulement améliorent les expériences d'apprentissage des étudiants, mais exigent également une ré-imagination des méthodologies d'enseignement et de la conception du programme. De plus, l'innovation pédagogique implique de favoriser l'autonomie et l'agence dans les expériences d'apprentissage des étudiants. L'adoption de laboratoires par enquête donne aux étudiants le pouvoir de prendre en charge leur éducation. Comme l'a souligné un membre du corps enseignant, « Les laboratoires par enquête encouragent l'autonomie chez les étudiants, et ils deviennent responsables de leur propre apprentissage. » Cette approche pédagogique cultive non seulement un sentiment d'appropriation, tant pour les enseignants que pour les étudiants, mais développe également des compétences indispensables pour l'apprentissage tout au long de la vie.

Les laboratoires par enquête nécessitent une planification minutieuse et une adaptation, impliquant souvent une collaboration entre les membres du corps professoral tout au long du semestre. Cette planification collaborative garantit que les laboratoires sont alignés sur les objectifs d'apprentissage et offrent aux étudiants des expériences pratiques et significatives. Un membre du corps enseignant a partagé son expérience, disant : « mais ce qui est important de savoir, c'est que lorsque nous travaillons en équipe sur le même cours, ... généralement chaque semaine, donc nous parlons de toutes sortes de choses, nous parlons d'évaluations, de laboratoires, nous partageons les tâches, nous donnons des retours sur ce qui a été fait auparavant par les autres, donc c'est vraiment, euh – c'est certainement plus facile »

Une partie de la préparation à l'apprentissage par enquête concerne le rôle de l'échafaudage pendant le temps de classe régulier : « ... le labo par enquête, on imagine quand on est en labo avec notre cerveau et tout ça, mais le labo par enquête ça ne commence pas là, ça commence beaucoup en classe où on est guidé aux questionnaires, c'est là que les étudiants s'apprennent à la préparation, ils vont poser des questions à ce moment-là. Une ressemblance, je pense que quand on a des labos comme ça, des labos par enquête, pas les mini-projets mais vraiment les labos par enquête, ça commence en classe, puis tout le monde, on est capable de libérer un peu de temps de classe pour le faire, tu sais, parce que on trouve que c'est important. Dans d'autres cégeps, c'est fait différemment, le labo par enquête c'est donné en devoir par exemple, en préparation à la maison, mais ici je pense qu'on fait beaucoup ça en classe parce que ça nous évite un peu d'avoir à vérifier les protocoles de tout le monde après qu'on les ait tous vus au moins commencer à concevoir quelque chose, ça nous enlève un peu de pression »

L'impact des laboratoires par enquête va au-delà de la salle de classe. Ces laboratoires mettent au défi à la fois les étudiants et les enseignants de penser différemment et de s'engager profondément avec le matériel. Les membres du corps enseignant ont noté que les laboratoires par enquête échafaudés (ou mini-projets) nécessitent une approche dynamique de l'enseignement, où les instructeurs doivent prendre des décisions en temps réel et s'adapter en fonction de l'engagement des étudiants. Un membre du corps enseignant a expliqué : « Donc c'est le même type de décision [pour orchestrer les laboratoires par enquête], sauf que cela nécessite de l'expérience pour y arriver. Être capable de prendre les bonnes décisions au bon moment » et « Je trouve que les mini-projets sont une nouvelle façon de préparer les étudiants aux projets de fin d'année, mais aussi pour les enseignants... Je ne peux pas simplement passer à la supervision du projet de fin d'année sans avoir écouté les étudiants dans les... projets avant de commencer »

Ainsi, les laboratoires par enquête favorisent une culture d'amélioration continue et d'expérimentation, dans laquelle les activités planifiées plus tôt dans le programme (mini-projets) préparent à la participation au projet par enquête final, tant pour les enseignants que pour les étudiants. Les membres du corps enseignant sont ouverts à la révision et à l'amélioration de ces laboratoires en fonction des commentaires des étudiants et de l'évolution du paysage éducatif. Un membre du corps enseignant a utilisé la propriété d'une maison comme une analogie de la nature itérative de ce processus, déclarant : « Eh bien, je dirais que lorsque vous avez une maison que vous pouvez rénover, vous pouvez la maintenir minimalement et, soudainement, vous devez tout refaire d'un coup, ou vous apportez des améliorations de manière progressive, pas rapidement, et j'ai l'impression que nous sommes beaucoup plus dans le deuxième scénario. Nous changeons toujours des choses pour plusieurs raisons, vous savez, parce que cela élimine le mécontentement, parce que cela nous permet de maintenir le feu allumé... Je trouve cela stimulant... »

#### 7.4.5 Intégration et impact des laboratoires par enquête au-delà du département

L'adoption des laboratoires par enquête par le département ne se limite pas à ses propres frontières. L'impact transformateur de ces laboratoires résonne au-delà du département, influençant les pratiques pédagogiques dans d'autres disciplines également. Les membres du corps enseignant sont sollicités pour des idées et des collaborations par des collègues d'autres départements, mettant en lumière l'influence plus large du département sur l'innovation éducative. Un membre du corps enseignant a raconté : « Nous le faisons et la biologie ne le faisait pas, mais ensuite ils ont fini par regarder ce que nous faisons et maintenant ils le font, ils ne voulaient pas arrêter de le faire, ils aiment vraiment [ça]. »

### 7.5 Atouts particuliers de la culture départementale favorisant le transfert

#### 7.5.1 Culture du partage de ressources et amélioration continue

La culture de l'amélioration continue se reflète dans la réceptivité du département au changement et à l'expérimentation. Les membres du corps enseignant s'engagent activement à réévaluer les méthodes d'enseignement traditionnelles et les structures curriculaires. Ils reconnaissent que le processus d'innovation implique des étapes progressives et des choix délibérés. Comme l'a décrit un membre du corps enseignant, « Nous continuerons de le faire tout le temps... trouver un moyen de faire ce qui doit être amélioré... cela reste stimulant sans être trop épuisant. »

Cela inclut le développement et le maintien de matériaux partagés : « Dans cette culture d'amélioration, les membres du corps enseignant assument la responsabilité de contribuer aux ressources collectives du département. Mais, en même temps, je pense que ce qui est unique, peut-être pour vous donner un peu de contexte également... il y a une culture dans le département qui consiste essentiellement à tout partager. Quand quelqu'un dans le département manque de quelque chose, disons un matériel, eh bien, généralement le point de départ est aussi le

labo. Nous partageons des cahiers de laboratoire, nous les déposons systématiquement dans un espace partagé, mais aussi du matériel pédagogique, vous mettez du matériel pédagogique, les gens le développent ensemble... il y a un partage de matériel en cours, et un développement continu du matériel. Même lorsque nous ne sommes pas une équipe au cours d'un semestre donné, c'est comme si nous étions une équipe continue. »

L'amélioration continue ne se limite pas à la salle de classe, mais s'étend aux pratiques du département dans son ensemble. L'entretien révèle que les membres du corps enseignant s'engagent activement dans des discussions et des évaluations, tant en interne qu'avec des collègues d'autres départements et des conseillers pédagogiques. Ce dialogue collaboratif facilite le partage des meilleures pratiques et l'intégration d'innovations réussies. Les membres du corps enseignant ne cherchent pas seulement l'inspiration les uns auprès des autres, mais participent également à un apprentissage mutuel. Un membre du corps enseignant a partagé son expérience de collaboration avec des collègues d'autres départements, notant : « Nous leur enseignons plus de choses qu'ils ne nous enseignent. »

La culture de l'amélioration continue est une caractéristique déterminante de l'approche pédagogique du département, tout en précisant que l'autonomie des enseignants et le respect de l'expérimentation sont des aspects importants : « Nous changeons toujours nos cours, en fait, parce que nous évoluons constamment, la clientèle évolue, les conceptions évoluent, donc nous n'enseignons pas le même cours deux fois. » Les membres du corps enseignant font preuve d'un esprit proactif et collaboratif pour embrasser le changement, affiner les pratiques d'enseignement et participer au partage des connaissances interdépartementales. Cet engagement envers la croissance améliore non seulement les expériences d'apprentissage des étudiants au sein du département, mais positionne également le département en tant que leader dynamique de l'innovation éducative dans l'institution, voire dans le réseau collégial, et permet des réponses robustes au changement.

### 7.5.2 Culture du changement comme opportunité

Le département adopte une approche proactive du changement, cherchant continuellement des moyens d'améliorer ses pratiques pédagogiques. Les membres du corps enseignant reconnaissent la nécessité de l'adaptation, car le domaine de l'éducation et les besoins des étudiants sont dynamiques. Un membre du corps enseignant observe : « Les temps ont changé, le programme a changé, le contenu a peut-être changé... peut-être plus... sera ajouté. »

Le département n'est pas seulement ouvert au changement, mais l'embrasse comme une opportunité d'amélioration. Cette adaptabilité est particulièrement évidente dans le contexte de l'introduction des laboratoires par enquête. Les membres du corps enseignant ont discuté des défis et des subtilités de l'incorporation de l'apprentissage par enquête, reconnaissant l'importance de peaufiner et de personnaliser ces méthodes pour une participation optimale des étudiants. Un membre du corps enseignant partage : « Nous ne devrions pas les laisser dans les manuels de laboratoire simplement parce que nous n'avions pas le temps de les changer... nous devons encore nous demander lesquels sont toujours pertinents et pourquoi. »

Les membres du corps enseignant voient le changement comme une opportunité de croissance, affinant constamment leurs approches et tirant parti des idées de diverses sources pour garantir que leur pédagogie reste pertinente et efficace :

« Il y a un bel équilibre entre travailler de manière collaborative et la place de l'innovation individuelle... lorsque nous avons de nouvelles idées, nous voulons apporter des changements,... trouver un équilibre en apportant vraiment des changements et en leur donnant une certaine permanence. Par exemple, chacun fait l'idée par enquête et nous essayons de nouvelles choses chaque semestre, donc lorsque nous trouvons de bonnes idées, nous essayons de les intégrer mais sans précipitation, sans faire sentir aux gens qu'ils sont contraints... nous sommes réceptifs aux idées de chacun, et nous sommes capables de les mettre en œuvre lorsque... nous sommes capables de mettre en œuvre le changement. Ce n'est pas chacun pour soi, donc... nous trouvons un équilibre entre les deux. »

De plus, « de ce que nous faisons collectivement, mais chaque fois que quelqu'un fait individuellement quelque chose, puis... mais ici pour ce qui est de nos pratiques pédagogiques, je trouve qu'il y a un effet [boule de neige] où quelqu'un personnellement étudie quelque chose en parle au département puis... c'est arrivé en plein moment où dans le département on se posait des questions donc ça contribue aussi et chacun de nous apporte quelque chose. »

Ainsi, cet espace pour l'individu au sein du collectif favorise une culture d'innovation et d'amélioration continue au sein du département.

### 7.5.3 Culture des ressources partagées et des responsabilités partagées

L'entretien a souligné l'engagement du département à traiter tous les membres du corps enseignant de manière égale, indépendamment de leur ancienneté ou de leur expérience. Cette éthique égalitaire se reflète dans la répartition des tâches, où les membres du corps enseignant se voient confier des responsabilités en fonction d'un sentiment d'équité et d'expertise, plutôt que de la hiérarchie. Comme l'a déclaré un membre du corps enseignant :

« Et, en fait, cela commence par des choses très simples, vous savez, assez fondamentales dans le travail d'un professeur, comme lorsque nous répartissons les tâches, nous sommes tous égaux. Il n'y a pas d'ancienneté, il n'y a personne qui a priorité sur un cours. »

Le département a en réalité au moins quelques comités pédagogiques structurés qui se réunissent régulièrement :

« Je pense qu'il n'y a pas beaucoup de départements au Québec qui ont des comités qui travaillent sur des enjeux pédagogiques... nous avons deux comités et ce ne sont pas les mêmes professeurs qui sont sur les deux comités. Il y en a un qui s'appelle le comité d'approche programme et il y a un qui s'appelle le comité sur l'évaluation, et ce sont des gens qui se rencontrent régulièrement. On a une réunion demain sur le comité d'approche programme. »

Les responsabilités partagées vont au-delà de la répartition des tâches et s'étendent aux processus décisionnels collaboratifs. Les membres du corps enseignant participent à des discussions significatives sur les changements de programme, les méthodologies d'enseignement et les stratégies d'évaluation, tout en conservant une autonomie individuelle.

Par exemple, la planification des cours est une entreprise collaborative et approfondie : « Même pour les plans de cours, il y en a deux d'entre nous, un professeur enseignant et un autre professeur, et nous examinons ensemble le plan de cours pour approbation. » Cette collaboration garantit que diverses perspectives et expertises contribuent à la conception du cours.

Le processus de planification des cours met également l'accent sur l'amélioration continue et la réflexion. Les éducateurs sont encouragés à réfléchir à ce qui peut être amélioré pendant le semestre et à intégrer les commentaires des instructeurs de cours précédents : « Le questionnaire d'approbation du plan de cours comporte également des questions sur ce que vous prévoyez d'améliorer dans le cours ce semestre. »

Ce dialogue ouvert favorise un environnement où les membres du corps enseignant contribuent collectivement à façonner le paysage pédagogique du département. Comme l'a exprimé un membre du corps enseignant : « Nous participons tous ensemble pour apporter notre propre couleur, ce qui fait que si nous avons une belle mosaïque dans le département – disons qu'il y en a certains qui sont plus orientés vers la recherche et d'autres qui sont plus réfléchis, et d'autres qui sont plus orientés vers les règles, cela fait en sorte qu'à la fin, nous avons tous notre place, et c'est amusant. » Cette approche collaborative mais complémentaire permet à tous les membres du

corps enseignant de contribuer leurs idées et leurs perspectives, ce qui favorise un sentiment d'unité et de but partagé.

Cette mentalité coopérative garantit que les défis liés à l'introduction de nouvelles méthodes pédagogiques, telles que les laboratoires par enquête, sont relevés avec le soutien et l'assistance des collègues : « Nous avons des réunions... nous parlons d'évaluations, de laboratoires, nous partageons les tâches... c'est certainement plus facile lorsque nous accueillons un nouveau professeur dans ce contexte. »

#### 7.5.4 Culture du mentorat et du soutien pour les enseignants et les étudiants

Tout au long de l'entretien, le concept de mentorat émerge comme un aspect pivot de la culture du département. Les nouveaux membres du corps enseignant sont chaleureusement accueillis et bénéficient d'une orientation pour comprendre leurs rôles et responsabilités. Ce système de soutien se reflète dans les expériences partagées par les membres du corps enseignant, comme lorsqu'un nouvel arrivant a commencé à enseigner un cours de chimie générale et a été soutenu par des collègues plus expérimentés : « J'ai vraiment été soutenu... ils ont joué ce rôle. »

La culture du mentorat s'étend également aux étudiants, les membres du corps enseignant investissant du temps et des efforts pour les guider tout au long de leur parcours académique. L'entretien a révélé comment les membres du corps enseignant travaillent étroitement avec les étudiants pendant les projets, fournissant des conseils, répondant à leurs questions et favorisant un environnement d'apprentissage collaboratif : « Donc, nous avons travaillé ensemble, j'ai été accueilli dans ce groupe, donc j'ai été soutenu, guidé, j'ai posé les questions que je devais poser et j'ai obtenu mes réponses, donc j'ai vraiment été soutenu. »

De plus, la culture du mentorat se caractérise par un fort sentiment d'apprentissage mutuel. Les membres du corps enseignant sollicitent des conseils et des idées les uns des autres, exploitant l'expertise individuelle de chacun pour améliorer collectivement leurs pratiques pédagogiques. Cette approche est illustrée par la volonté de s'adapter et d'apprendre les uns des autres, un membre du corps enseignant reconnaissant ainsi : « Nous leur enseignons plus de choses qu'ils ne nous enseignent... les gens discutent avec nous de ce que nous faisons. »

De plus, la nature collaborative du département s'étend au partage de stratégies d'enseignement et d'idées. Les membres du corps enseignant échangent librement des réflexions sur les méthodes pédagogiques, les évaluations et les laboratoires, contribuant à un environnement de croissance continue et d'apprentissage mutuel : « Nous avons des réunions chaque semaine... nous parlons d'évaluations, de laboratoires, nous partageons les tâches, nous donnons des commentaires sur ce qui a été fait précédemment par d'autres. »

Les membres du corps enseignant assument leurs rôles de mentors envers les nouveaux membres du corps enseignant et les étudiants, fournissant des conseils, favorisant la collaboration et créant un environnement d'apprentissage mutuel. Cette approche renforce non seulement l'autonomisation des membres du corps enseignant et des étudiants, mais favorise également un sentiment de communauté et de croissance partagée au sein du département.

#### 7.5.5 Culture de la pratique fondée sur des données probantes

Tout au long de l'entretien, les membres du corps enseignant ont discuté de la manière dont leurs choix pédagogiques sont éclairés par la recherche et les données, basant leurs décisions sur des preuves plutôt que sur des hypothèses.

L'engagement du département envers la pratique fondée sur des données probantes est particulièrement évident dans son introduction de laboratoires par enquête. Les membres du corps enseignant reconnaissent l'importance d'aligner ces laboratoires sur les conclusions de la recherche et les bonnes pratiques pédagogiques. Ils

ont souligné la nécessité d'intégrer l'apprentissage par enquête d'une manière qui améliore l'engagement et les résultats des étudiants. Un membre du corps enseignant l'articule ainsi : « Pourquoi faisons-nous des laboratoires comme ça? Eh bien, parce qu'il a été démontré qu'avec des laboratoires comme ça, les étudiants apprennent quelque chose. »

Mais la mise en œuvre est une pratique authentique : « Mais c'est une pratique innovante, je pense. Donc, la pratique innovante est validée par des projets de recherche, des études supérieures ou, parfois, nous faisons régulièrement des présentations pour des conférences sur les choses que nous faisons, et nous étayons ce que nous savons avec la littérature. C'est comme faire une mini-recherche, parfois il faut valider les pratiques que nous faisons dans le département, donc je dirais que cela commence par, pour moi, cela commence par ce que nous faisons collectivement. »

### 7.5.6 Culture d'équilibre entre la charge de travail et l'innovation

Il a été reconnu l'équilibre délicat nécessaire entre l'adoption d'approches pédagogiques innovantes et la gestion des charges de travail existantes : « Il ne s'agit pas seulement d'enseigner les cours, il s'agit de réfléchir aux méthodes et à la manière d'intégrer de nouvelles choses, mais il s'agit aussi de maintenir un équilibre », c'est-à-dire un équilibre entre l'innovation et la pratique.

Les membres du corps enseignant expriment leur engagement envers l'excellence en enseignement tout en reconnaissant leurs limites : « Nous voulons tout rendre parfait, mais il est vrai que nous ne pouvons pas le faire car nous n'avons pas le temps de lire tout ce que nous aimerions. »

L'approche pragmatique des membres du corps enseignant est évidente lorsqu'il s'agit de délibérer sur l'intégration de laboratoires par enquête et reconnaît la nécessité d'aligner l'innovation sur leur charge de travail : « Il y a beaucoup de situations qui sont tellement différentes que, vous savez, c'est difficile de superviser quelqu'un et de lui dire, d'accord, dans cette situation pouvez-vous faire ceci, dans cette situation, je fais cela, c'est ce qui rend difficile de le déléguer à quelqu'un d'autre. »

Il a été reconnu qu'une approche étape par étape est nécessaire pour garantir que les innovations soient gérables dans le temps : « Cela a commencé lentement, en effet. Ce n'est pas arrivé tout d'un coup. C'est un élément à la fois qui s'est ajouté. »

Il y avait une compréhension pragmatique de la nécessité d'intégrer des innovations sans se surcharger.

### 7.5.7 Pratiques de recrutement dans le département

Les pratiques de recrutement du département de chimie se caractérisent par un engagement à maintenir un environnement académique collaboratif et innovant, en mettant l'accent sur la formation formelle en éducation antérieure : « c'est lorsque nous classons les CV, en tenant compte de cela, lorsque vous avez un diplôme en pédagogie, vous êtes classé plus haut ».

L'intention semble aller au-delà de l'expertise en la matière et cherche des individus qui peuvent enrichir la culture du département par leurs contributions innovantes. Bien que cela n'ait pas été explicitement déclaré pour ce département, des commentaires ont été faits sur les pratiques de recrutement d'un département externe, avec approbation : « ... est connu pour être innovant. Mais cela ne commence pas par l'innovation, vous savez, ils établissent une norme plus élevée, vous savez, en recrutant des personnes avec des politiques favorables à l'innovation. Vous savez, cela émerge de certains départements ».

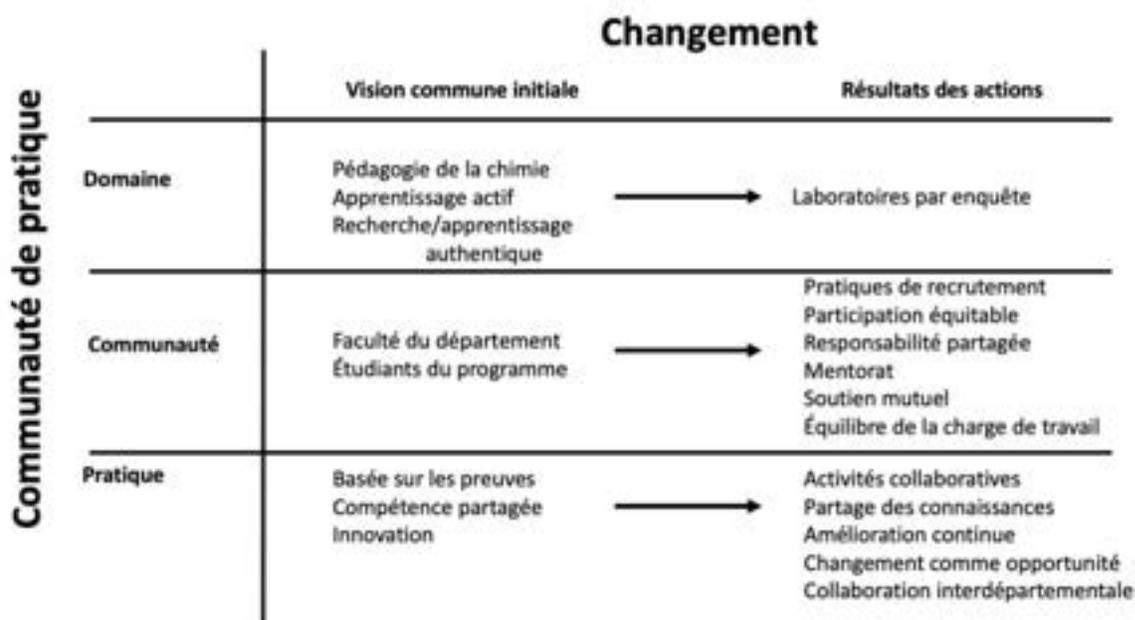
Il semble que les pratiques de recrutement du département de chimie mettent l'accent sur la recherche de personnes innovantes et collaboratives qui peuvent contribuer aux objectifs pédagogiques et interdisciplinaires du département, souvent en ayant une certaine connaissance formelle en pédagogie.

## 7.6 Conclusion

La figure 7.1 offre une représentation visuelle des thèmes récurrents qui ont émergé des discussions le long des axes identifiés précédemment, soit le domaine, la communauté et la pratique pour la communauté de pratique, et la vision partagée conduisant au changement pour le changement organisationnel. Beaucoup de ces thèmes, tels que les projets départementaux communs, les réunions fréquentes de comités, le mentorat, la collaboration, etc. sont à prévoir et ne sont pas rares dans d'autres départements, ce qui soulève la question intrigante : qu'est-ce qui rend ce département exceptionnellement réussi dans la mise en œuvre de nouvelles initiatives?

**Figure 7.1**

Sommaire qui montre comment des dimensions de la communauté de pratique (domaine, communauté, pratique) ont abouti à un ensemble particulier de caractéristiques culturelles, partant d'une vision commune partagée se manifestant dans des résultats d'actions réelles.



Pendant les entretiens, malgré la pression, les membres du département ont hésité à reconnaître un design délibéré pour le changement. Cependant, il est devenu évident que les membres plus anciens du département possédaient une vision claire et robuste de la trajectoire future du département et offraient un leadership informel. Ces membres plus anciens sont à la fois attentifs à la littérature de recherche, mais, parce qu'ils sont aussi praticiens, ils ont la confiance de leurs pairs pour introduire des initiatives bonnes et valables dans le département. Ainsi, ils agissent comme des agents de transfert en médiatisant à différents niveaux entre la recherche et la pratique ainsi que les pressions internes et externes. (voir la section 6.2.1 Les difficultés du transfert des connaissances, et Becheikh et al., (2010), pour plus de détail).

Leur vision englobait des éléments qui étaient intégrés par d'autres membres de l'équipe, aboutissant à une compréhension unifiée et co-construite des objectifs du département. Cette vision partagée était en outre renforcée

par les pratiques de recrutement sélectives du département, qui servaient à préserver et à renforcer cette culture distinctive plutôt qu'à la diluer.

En tant que thème, il y avait aussi une certaine tension (ou harmonie?) entre la vision cohésive ou la culture du département et l'encouragement envers les membres individuels d'essayer de nouvelles choses.

- Prof. 1 : Vous savez, je pense que nous pouvons dire que nous avons beaucoup d'autonomie, mais nous avons quand même...
- Prof. 2 : un consensus.
- Prof. 1 : ... Oui, c'est ça, nous avons quand même un consensus sur les techniques qui doivent être enseignées dans chacun des groupes, et il y a une quantité minimale de temps de laboratoire allouée dans chaque groupe. Donc, nous avons des contraintes communes, mais chacun a la possibilité de changer le programme de laboratoire chaque semestre.

Cette interaction entre la culture du département et les initiatives individuelles est décrite par Mintzberg et Westley (1992) comme étant soit inductive (partant des personnes) soit déductive (partant de la culture), voir la figure 7.2. Ils décrivent un « processus de changement informel » qui implique ces processus inductifs et déductifs interagissant de manière informelle. Cela peut également être comparé à la figure dans le chapitre 6 (figure 6.1), dans laquelle l'information peut circuler à la fois des idées de recherche conceptuelle vers le bas et des personnes concrètes pratiquant l'art de l'enseignement vers le haut, médiatisée par des agents de transfert. En fait, la même figure 6.1 présente des similitudes avec le modèle de « gestion du haut vers le bas » décrit par Nonaka (1988).

Le changement déductif est une approche de haut niveau. Il est souvent dirigé par un individu ou un petit groupe pour qui la vision globale est délibérée, mais les détails spécifiques de sa mise en œuvre sont souvent émergents, car, pour gagner en traction, il doit impliquer d'autres praticiens.

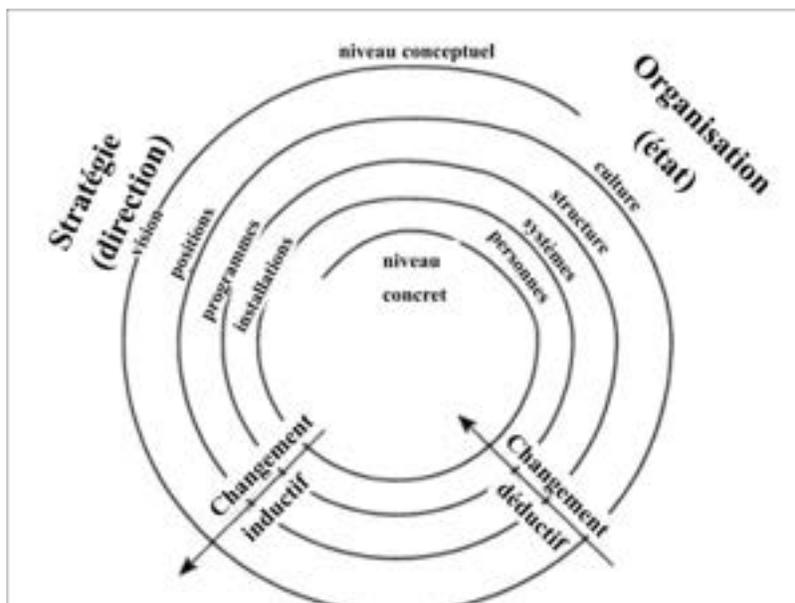
En revanche, le changement inductif, plus ascendant, est souvent informel et imprévisible. Il émerge de manière organique, sans destination prédéfinie. Ce processus de changement peut englober des changements isolés et mineurs ou des transformations globales et complètes. Par exemple, un enseignant individuel peut découvrir et adopter une nouvelle approche de sa pédagogie, qui affecte initialement seulement son propre travail, puis est largement adoptée.

Au cours du processus inductif-déductif, une vision actuelle influence les idées des individus et certaines idées sont naturellement écartées dans un scénario de « survie du plus apte », tandis que d'autres sont préservées jusqu'à ce qu'elles s'alignent, convergent et soient synthétisées dans une nouvelle perspective ou vision évoluée. Bien que le succès des initiatives de changement ne dépende pas exclusivement du leadership visionnaire, il dépend souvent de cette nouvelle vision comme élan.

Bien que cela ne soit pas une description parfaite de ce qui se passe dans ce département de chimie, cela sert de cadre conceptuel pour un mécanisme qui relie une vision aux résultats d'actions décrits lors de l'entretien.

**Figure 7.2**

La relation entre les processus de changement inductif et déductif. Tiré de Mintzberg, H., & Westley, F. (1992).



Une autre caractéristique, en contraste avec d'autres départements, était la grande quantité de soutien communautaire et de renforcement d'équipe signalée par le département. En effet, les équipes efficaces jouent un rôle central en tant qu'agents de changement au sein d'un département. La recherche [Burrell et al. (2015), Voogt et al. (2011)] indique que l'interaction entre les membres de l'équipe, entre différentes équipes et avec les collègues peut jeter les bases de changements transformateurs dans l'attitude du département envers la conception des programmes. Cette transformation peut être facilitée par divers moyens, tels que des discussions informelles entre collègues et des équipes de programmes. Les participants à ces initiatives ont souligné l'environnement positif et favorable que les équipes peuvent fournir. Un tel environnement leur permet de s'éloigner des modèles traditionnels et d'aborder les unités de programme différemment, remettant en question les normes établies (Drew, 2002). Lorsque les équipes passent d'une approche de travail en tant qu'entités individuelles à une approche plus collaborative, où chaque membre peut toujours apporter sa perspective unique, la production collective a le potentiel d'apporter un changement culturel au sein du département. La croissance au sein d'une équipe, d'un département ou d'un programme est souvent déclenchée lorsque les membres de l'équipe travaillent collectivement et persuadent ainsi les autres de considérer de nouvelles approches et mentalités. Le changement dans la culture et les pratiques de quelques individus peut donc progressivement se répandre au reste de l'organisation et les retours mutuels peuvent considérablement faciliter cette transition.

Le département de chimie démontre le rôle essentiel du travail d'équipe efficace pour initier un changement transformateur, tant en termes de qualité que de quantité de leurs interactions. Ces processus dynamiques impliquent l'interaction des membres de l'équipe parmi divers groupes de travail et collègues, jetant les bases pour remodeler l'approche de conception des programmes du département. Simultanément, dans cet environnement collaboratif, ces processus de changement (inductifs) sont situés à l'intérieur et interagissent avec la vision partagée du département (déductifs). De plus, ces processus sont facilités par des agents de transfert de changement qui excellent particulièrement dans la navigation de la frontière entre la recherche et la pratique et qui ont gagné la confiance des autres membres du département.

## 7.7 Références (chapitre sept)

- Al-Haddad, S., & Kotnour, T. (2015). Integrating the organizational change literature: a model for successful change. *Journal of organizational change management*, 28(2), 234-262.
- Becheikh, N., Ziam, S., Idrissi, O., Castonguay, Y. et Landry, R. (2010). How to improve knowledge transfer strategies and practices in education? Answers from a systematic literature review. *Research in Higher Education Journal*, 7, 21.
- Burrell, A. R., Cavanagh, M., Young, S., & Carter, H. (2015). Team-based curriculum design as an agent of change. *Teaching in Higher Education*, 20(8), 753-766
- Corbo, J. C., Reinholz, D. L., Dancy, M. H., Deetz, S., & Finkelstein, N. (2016). Framework for transforming departmental culture to support educational innovation. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010113.
- Drew, L., & Vaughan, S. (2002). The course team as the focus for contextualized professional learning. *Innovations in Education and Teaching International*, 39(3), 183-195.
- Goold, M., & Campbell, A. (2002). *Designing effective organizations: How to create structured networks*. John Wiley & Sons.
- Jarvenpaa, S. L., & Ives, B. (1994). The global network organization of the future: Information management opportunities and challenges. *Journal of management information systems*, 10(4), 25-57.
- Mercieca, B. (2017). What is a community of practice?. *Communities of practice: Facilitating social learning in higher education*, 3-25.
- Mintzberg, H., & Westley, F. (1992). Cycles of organizational change. *Strategic management journal*, 13(S2), 39-59.
- Nonaka, I. (1988). Creating organizational order out of chaos: Self-renewal in Japanese firms. *California management review*, 30(3), 57-73.
- K. Real and M. S. Poole, *Innovation implementation: Conceptualization and measurement in organizational research*, in *Research in Organizational Change and Development*, edited by R. Woodman, W. Pasmore, and A. B. Shani (Emerald Group Publishing Limited, Bingley, 2005), Vol. 15
- Reinholz, D. L., Corbo, J. C., Dancy, M. H., & Finkelstein, N. (2017). Departmental action teams: Supporting faculty learning through departmental change. *Learning Communities Journal*, 9(1).
- Voogt, J., H. Westbroek, A. Handelzalts, A. Walraven, S. McKenney, J. Pieters, and B. de Vries (2011). "Teacher Learning in Collaborative Curriculum Design." *Teaching and Teacher Education* 27: 1235–1244.
- Wenger, E. (2005). *La théorie des communautés de pratique: Apprentissage, sens et identité* (traduit par F. Gervais). Presses de l'Université Laval.
- Wilkinson, A., Kupers, R., & Mangalagiu, D. (2013). How plausibility-based scenario practices are grappling with complexity to appreciate and address 21st century challenges. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(4), 699-710.
- Xu, W., & Zammit, K. (2020). Applying thematic analysis to education: A hybrid approach to interpreting data in practitioner research. *International Journal of Qualitative Methods*, 19, 1609406920918810.

## CHAPITRE HUIT : Conclusion

---

La démarche scientifique est un ensemble complexe de compétences et d'attitudes qui repose sur l'intégration de connaissances conceptuelles, procédurales et épistémologiques. Il est bien reconnu que l'enseignement de la démarche scientifique est un défi fondamental. Des études récentes sur l'apprentissage actif montrent le potentiel évident des innovations pédagogiques qui peuvent améliorer le développement des connaissances conceptuelles dans les disciplines STIM. Cependant, peu de recherches ont été consacrées au problème de l'apprentissage de la démarche scientifique par l'expérimentation et l'observation, qui sont des outils de base pour toutes les sciences naturelles. Une solution s'agit de l'utilisation d'une pédagogie basée sur enquête, où les étudiant·e·s sont plus ou moins guidés, en fonction du format pédagogique choisi par les enseignant·e·s. Le laboratoire par enquête engage les étudiant·e·s dans un processus d'enquête scientifique au sein d'un écosystème soigneusement encadré afin de les préparer à prendre des décisions complexes par eux-mêmes. L'orientation implique une certaine forme d'étayage, l'interaction planifiée avec l'enseignant, la discussion guidée avec les pairs, etc. Le niveau d'étayage est une question essentielle, car une activité trop guidée ne laisse aucune place à l'exploration, tandis qu'une activité trop ouverte est souvent trop complexe et compliquée pour les apprenants novices. En outre, on ne sait pas si l'étayage est nécessaire pour intégrer les trois formes de connaissances scientifiques (conceptuelles, procédurales et épistémologiques). Cette étude de trois ans s'est penchée sur la question de l'étayage des laboratoires par enquête et a abordé ces quatre objectifs.

### 8.1 Objectif 1 : portrait de l'enseignement

Dans le chapitre 2 nous avons présenté un portrait de l'enseignement avec le laboratoire par enquête, en commençant par le résultat d'un sondage développé par notre équipe – le Questionnaire de caractérisation des activités de laboratoire (QCAL). Ce sondage nous a permis de répertorier ce que les enseignants de plusieurs cégeps font en termes de mise en œuvre de ce qu'ils considèrent comme des laboratoires basés sur l'enquête et quelles formes d'étayage ils ont envisagé d'utiliser. En conclusion, l'analyse des classes latentes d'un échantillon de 406 activités de laboratoire obtenues auprès de 59 enseignants qui déclarent s'engager dans des pédagogies fondées sur l'investigation dans les programmes de sciences des cégeps a permis d'identifier deux types distincts d'activités de laboratoire, correspondant à des laboratoires traditionnels de type « vérification » qui impliquent peu ou pas de prise de décision de la part des étudiant·e·s, et des activités de laboratoire expressément conçues autour de la prise de décision par les étudiant·e·s. Cette dernière classe d'activités correspond à l'ensemble des laboratoires fondés sur l'investigation, mais les « niveaux d'investigation » hiérarchiques signalés par Buck et al. Cette dernière catégorie d'activités correspond à l'ensemble des laboratoires fondés sur l'enquête, mais les « niveaux d'enquête » hiérarchiques signalés par Buck et coll. (2008) et Blanchard et coll. (2010) ne sont pas explicitement observés dans cet échantillon.

En outre, la prévalence de ces activités de laboratoire par enquête est faible (26,44 % de notre échantillon), bien que les enseignants de l'échantillon se soient déclarés engagés dans les pédagogies par enquête. Nous interprétons cela comme signifiant que les laboratoires plus traditionnels sont toujours appréciés par ces enseignants, peut-être pour aider les étudiant·e·s à développer les compétences nécessaires pour s'engager efficacement et prendre des décisions significatives dans la réalisation des explorations plus profondes inhérentes aux activités de laboratoire basées sur l'investigation.

### 8.2 Objectif 2 : portrait de la démarche scientifique par les étudiant·e·s

Le chapitre 3 a présenté un portrait de la trajectoire de la compréhension de la démarche scientifique par les étudiant·e·s et si elle évolue en raison de l'engagement dans une approche de laboratoire par enquête. Nous avons commencé cette étude par adapter un instrument (« La crème glacée de George ») qui nous a permis de mesurer le

développement du raisonnement scientifique des étudiant·e·s. Le plan expérimental se compose d'une recherche orientée par conception (ROC) pour élaborer l'instrument et d'un plan quasi-expérimental qui nous a permis d'examiner l'efficacité de l'approche en laboratoire basée sur l'enquête par rapport à l'enseignement traditionnel. Bien que la question sur la crème glacée de George ait été utile pour le prétest, nous avons finalement dû élaborer une série de questions entièrement nouvelles pour le post-test. Ce nouvel instrument post-test a été affiné et a fait l'objet d'itérations sur trois semestres et utilisé dans le cadre de notre quasi-expérience étude finale (l'année 3), qui portait sur 499 étudiants, dans les classes de 23 enseignant·e·s, de nos quatre collèges, trois anglophones et un francophone, couvrant trois disciplines et incluant des étudiants des deux années, première et deuxième année.

Nous avons procédé à une analyse de contenu de ces résultats qui a révélé des différences entre l'enseignement traditionnel et les laboratoires par enquête. Plus précisément, les résultats de l'analyse de contenu ont montré que le programme de Sciences de la nature permet aux étudiant·e·s de mieux comprendre les problèmes de conception d'expérience, sur la base de l'analyse de résultats expérimentaux, comme dans le pré-test. En revanche, une pédagogie incluant des laboratoires par enquête guidée permet aux étudiant·e·s de mieux apprendre à formuler des suggestions pour l'amélioration d'une conception expérimentale déficiente, comme dans le post-test. Toutefois, ces différences étaient subtiles et pouvaient être influencées par le codage a priori développé par les chercheurs. C'est pourquoi nous nous sommes tournés vers une approche plus statistique, l'application de la LDA (Analyse Latente de Dirichlet).

L'allocation de Dirichlet latente appliquée à ces réponses a permis de détecter et de quantifier de manière fiable des caractéristiques valables dans les réponses des étudiant·e·s associées à l'expertise (T02) et à l'absence d'expertise (T05), ainsi que d'autres caractéristiques qui distinguent les réponses aux différents guides et reflètent les choix stylistiques de l'auteur. En outre, en utilisant cette optique pour examiner comment les interventions en laboratoire par l'enquête affectent l'apprentissage des étudiant·e·s, nous notons des améliorations significatives dans les réponses des étudiant·e·s résultant de l'inclusion accrue de sujets de type expert et de la diminution de la dépendance à l'égard de sujets de type novice.

### 8.3 Objectif 3 : la conception des étayages

Les chapitres 3 et 4 présentent le résultat de nos efforts pour répondre aux questions concernant la conception de l'étayage qui est une composante majeure de l'approche de l'enseignement par l'enquête. Dans les deux cas, nous avons utilisé une approche de partenariat chercheur-praticien pour nous assurer que la conception des interventions était conceptuellement solide et authentique pour le contexte du programme de sciences naturelles concerné. Ce point s'est avéré important pour nos résultats, comme nous le verrons plus loin. Plus précisément, le chapitre 3 s'est penché sur la conception de ces étayages et sur ce qu'il fallait faire pour développer un programme d'études qui soutiendra l'apprentissage des étudiant·e·s de cette manière autonome. Ce faisant, nous avons abordé des questions précises telles que : Comment le contexte (par exemple, en salle de classe ou au laboratoire) et le choix du moment dans la session pour la mise en œuvre de l'intervention d'étayage ont-ils un impact sur le développement de la démarche scientifique ? Le chapitre 4 présente nos cas d'étude, nos efforts pour concevoir un nouveau type de séquence de laboratoire par enquête. Ce faisant, nous avons abordé des questions précises telles que : Parmi les instances de la démarche scientifique sur lesquelles l'étayage peut porter dans un laboratoire par enquête (par exemple, sur la question de recherche à poser, sur la méthode à développer ou sur la façon d'analyser les résultats), sur laquelle ou lesquelles l'étayage constitue le meilleur support pour le développement de la démarche scientifique chez les étudiant·e·s (dans les sphères conceptuelles, procédurales et épistémologiques) ? Nous présentons les conclusions de chacune de ces études.

Dans le chapitre 3, nous avons présenté une étude de recherche orientée par la conception sur deux ans qui nous a permis de retracer la production (le processus) et le programme (le produit) d'un laboratoire orienté par la conception pour un cours de physique (ondes et physique moderne, NYC). En conclusion, notre étude ROC a confirmé que si les connaissances pédagogiques sont nécessaires aux équipes de conception, elles ne sont pas suffisantes. Notre équipe laboratoire par enquête avait également besoin d'une compréhension approfondie du

contenu, c'est-à-dire d'une connaissance du contenu et d'une compréhension de l'interprétation des concepts clés du sujet sur lequel vous travaillez. Cela est d'autant plus important dans le cadre d'un enseignement basé sur l'enquête, car une grande partie du travail qu'on demande aux étudiant·e·s dépend des tâches qu'on leur demande d'accomplir.

La compréhension de la conception expérimentale dans les laboratoires de physique n'implique pas seulement la mise en place des expériences, mais aussi la compréhension de la signification des données collectées. Cette compréhension est considérée comme la pierre angulaire des expériences menées. La capacité à relier les points au-delà du simple tracé des données, mais à reconnaître les implications, comme mentionné précédemment, est cruciale. Bien que les étudiant·e·s soient capables de réaliser les expériences, la représentation graphique des données reste un problème. La capacité à raisonner avec la démarche scientifiquement pourrait être améliorée, mais dans l'ensemble, la compréhension par les étudiant·e·s de la conception expérimentale, via la crème glacée de George, a été jugée suffisante. Cependant, les difficultés rencontrées par les étudiant·e·s pour représenter les données sous forme de graphiques démontrent l'importance de cette compétence dans les laboratoires de physique actuels.

Dans cette étude, les chercheur·e·s ont identifié plusieurs sous-pratiques que les enseignants mettaient en œuvre à la fois au sein du laboratoire et dans le cadre des cours magistraux associés. L'une de ces sous-pratiques consistait à encourager les étudiant·e·s à documenter leur travail et à en prendre note, ce qui permettait la réflexion et la réutilisation. Les chercheurs affirment que cette pratique de valorisation des artefacts des étudiant·e·s a permis d'établir un ensemble de pratiques incluant la réutilisation des artefacts à différentes fins. La culture de réflexion et de réutilisation de l'enseignant est considérée comme « la sauce secrète » qui permet aux étudiant·e·s de reconnaître les artefacts comme des ressources et de les utiliser dans des activités ultérieures. Les chercheurs ont noté que pour amener les étudiant·e·s à s'engager dans une activité de représentation graphique, les enseignants devaient non seulement concevoir l'activité en tenant compte du défi à relever, mais aussi prendre en considération les ressources créées par chacune de leurs activités. De cette manière, les artefacts créés ont servi d'échafaudage pour les activités suivantes, et la culture de réflexion et de réutilisation de l'enseignant a été la clé de cette réussite.

## 8.4 Objectif 3 : l'enchaînement des échafaudages

L'étude de cas réalisée pour le chapitre 5 nous a permis d'explorer les hypothèses relatives à l'enchaînement et à l'échafaudage des tâches liées à la démarche scientifique. Plus précisément, il a produit un modèle de laboratoire par enquête avec un séquençage que nous appelons « progression conceptuelle ». Cette étude a comporté une phase de pilotage et une phase de mise en œuvre, les deux phases dans le contexte d'un cours de biologie générale de NYA.

Les documents finaux étaient de grande qualité, indiquant au moins que les étudiant·e·s étaient capables de mener à bien une tâche scientifique complexe exigeant qu'ils fassent de nombreux choix tout au long de la démarche scientifique. Il est important de noter que les étudiant·e·s semblent également avoir été raisonnablement confiants dans leur capacité à le faire, bien qu'ils aient perçu une augmentation progressive du défi associé à chaque module successif et un degré élevé du défi. Ces résultats semblent indiquer que nos nombreux échafaudages ont non seulement réussi à soutenir les étudiant·e·s tout au long du semestre, mais qu'ils ont également favorisé l'apprentissage des pratiques et des démarches scientifiques, étant donné que la plupart des échafaudages ont été supprimés pour la tâche finale (le module 5).

Compte tenu de la nature de ce projet praticien-chercheur, il est important de noter que les différentes parties prenantes perçoivent les résultats différemment. L'instructeur, fort de ses années d'expérience, a conclu que les étudiant·e·s n'auraient pas pu produire les articles de haute qualité soumis pour le module final simplement en suivant une recette. Du côté des chercheurs, nous avons également constaté que les étudiant·e·s étaient capables de s'exprimer de manière sophistiquée. Comme nous n'avions pas de groupe témoin, dans ce cas un groupe qui a suivi un programme d'études traditionnel en laboratoire, nous ne pouvons pas affirmer que l'intervention a influencé la qualité du travail final, qui était un laboratoire par enquête (c'est-à-dire le laboratoire sans échafaudage).

En résumé, d'après les données collectées et analysées à ce jour, il semble que donner aux étudiant·e·s la possibilité de prendre des décisions pour toutes les étapes de la démarche scientifique, à l'exception de la formulation d'une question de recherche, soit un défi et nécessite la conception d'étayages supplémentaires. De l'avis de nos deux enseignants, leurs étudiant·e·s ont effectivement montré leur capacité à relever le défi, évaluée par la qualité de leurs rapports de laboratoire finaux, respectivement. Ainsi, du point de vue du praticien, cette approche du laboratoire par enquête peut être considérée comme une réussite et pourrait servir de modèle à d'autres enseignants de physique et biologie au niveau collège. Du point de vue du chercheur, cette ROC en physique et l'étude de cas en biologie, donne des indications sur le processus de conception et d'étayage pour l'autonomie des étudiant·e·s et la libération de l'agence.

## 8. 5 Objectif 4 : la diffusion des connaissances

Dans les chapitres 6 et 7, nous présentons les résultats d'une recherche-action qui a suivi deux modèles de changement de pratiques centrés sur la diffusion des connaissances sur les laboratoires par enquête. Le chapitre 6 présente notre approche, axée sur le développement de communautés de pratique (CdP) à travers des ateliers, en mettant particulièrement l'accent sur les communautés existantes. Le chapitre 7, a été une étude de cas approfondie d'un département qui a mis en place des laboratoires par enquête ; il montre comment la culture départementale peut influencer le climat d'innovation pédagogique, et comment ce climat d'innovation peut, en retour, contribuer au développement de la démarche scientifique chez les étudiant·e·s.

Si on peut considérer les préoccupations exprimées lors des CdP comme étant indicatives de celles à venir, il semble que les enseignant·e·s continueront d'être intéressé·e·s dans les moyens pour favoriser le développement de l'autonomie de leurs étudiant·e·s en contexte de laboratoire. Les pratiques évoquées au cours des entretiens, résumés dans le chapitre 6, indiquent que ces préoccupations se concrétisent, chez certaines personnes, par la mise en place de laboratoires par enquête. Il est donc plausible de penser que lors de la mise en œuvre du nouveau programme de Sciences de la nature, ces préoccupations resteront pertinentes et que les initiatives de laboratoires par enquête seront reconduites, malgré, pourrait-on dire, les orientations ministérielles. En fournissant une occasion d'accompagnement et de partage pour les enseignants, les CdP ont peut-être ainsi contribué à sensibiliser, à mettre en œuvre et à faire reconnaître la valeur des laboratoires par enquête guidée. Pour un résumé des six principaux aspects de cette recherche-action sur le développement des Communautés de Pratique, veuillez vous référer au chapitre 6 (pages suivantes).

En résumé, les implications de ce que nous avons appris au cours de cette expérience revêtent une grande importance pour toute éventuelle mise en œuvre de laboratoires par enquête dans le contexte du système des cégeps du Québec. Au cours des rencontres des CdP, nous avons eu des échos de certains cégeps qui mettaient en place des laboratoires par enquête guidée, comme nous les décrivons dans notre atelier intitulé « Changer un labo ». Afin de documenter ces retombées et de recueillir les impressions des membres des CdP, nous avons mené des entrevues très ouvertes avec cinq d'entre eux, qu'ils soient professeurs de chimie, de physique ou conseillers pédagogiques, provenant de cinq établissements collégiaux. Sans dresser un portrait systématique de tous les membres des CdP, les impressions et expériences décrites par cet échantillon sont pertinentes et mettent en évidence les retombées de la mise en place des CdP.

Certains participants ont confirmé que, depuis leur adhésion aux CdP, leur département avait officiellement mis en place des laboratoires par enquête guidée dans le cursus. Les modifications impliquaient des ajustements aux plans-cadres ou aux textes de laboratoire. Certains cégeps attendent l'arrivée du nouveau programme, tablant sur le fait que ce sera l'occasion de revoir l'ensemble des cours. Cependant, à l'inverse, d'autres départements ont indiqué que le changement devait être envisagé en amont de la mise en œuvre du nouveau programme, afin que cela ne soit pas négligé dans l'effervescence de l'actualisation du programme.

Dans un collège, l'objectif ultime de la mise en place des laboratoires par enquête, c'est-à-dire le développement de l'autonomie scientifique, a été inscrit dans les plans-cadres de toutes les disciplines des sciences expérimentales, dans les orientations pédagogiques. Dans un autre collège, à travers son comité d'élaboration de programme, la décision a été prise d'intégrer le choix de la méthode expérimentale (un aspect central du laboratoire par enquête) dans les critères de performance pour l'évaluation de l'atteinte de la compétence d'intégration. Dans ce même collège, une décision départementale en chimie a officialisé l'intégration des laboratoires par enquête, et les modifications aux textes de laboratoire sont en cours depuis 2022.

Il est pertinent de mentionner que ces modifications sont actuellement « en cours » car plusieurs membres des CdP nous ont indiqué que ces ajustements ne sont pas définitifs dès la première tentative. Les textes des laboratoires par enquête guidée nécessitent plusieurs itérations pour atteindre l'optimalité. Divers problèmes techniques liés aux expériences ou au travail demandé aux étudiant·e·s ont été soulignés, nécessitant ainsi une retravailler des textes de laboratoires ou même la conception même de l'expérience. De manière intéressante, ce processus continu n'était pas perçu comme un obstacle par les enseignant·e·s. Il semble que l'obstacle principal réside dans l'immobilisme de la tradition, et une fois que les laboratoires par enquête commencent à être expérimentés, les ajustements nécessaires ne sont pas considérés comme une raison suffisante pour revenir en arrière vers les laboratoires traditionnels.

Les obstacles les plus importants qui nous ont été partagés demeurent les mêmes que ceux qui font partie du portrait tracé par le questionnaire QCAL, présenté dans le chapitre 2 : il est difficile de faire changer les habitudes implantées depuis longtemps. Les profs l'expliquent de diverses façons. Certains émettent l'hypothèse que c'est parce que peu d'entre eux – y compris celles et ceux qui ont répondu à notre entrevue – n'avaient de formation pédagogique. Un prof nous a même raconté une expérience négative, vécue il y a quelques années par son département, où une tâche relative à la gestion de programme leur avait été confiée. Il nous a dit : « on a dû se prononcer sur le devis, mais on n'avait jamais réfléchi à ces questions, on était mal outillés ». Ce sentiment de méconnaissance du domaine des sciences de l'éducation et de son vocabulaire propre pourrait pousser certain·es profs de cégep à ne pas vouloir s'impliquer dans le développement pédagogique, et à plutôt rester plus près de leurs habitudes, sur la connaissance du contenu.

Du même souffle, ce prof nous a mentionné que de participer à la CPECC (Communauté de pratique en enseignement de la chimie au collégial) pouvait aider les profs, spécialistes de leur contenu, à s'approprier des notions d'éducation. La discussion lui permettait d'être mis en contact avec des concepts pédagogiques dont il ignorait l'existence, donc sur lesquels il n'aurait jamais pu chercher d'information auprès de ressources, parce que, dans ses mots « des fois, nommer les choses, ça permet au concept d'exister ».

Le chapitre 7 montre les enseignements tirés de notre étude de cas ethnographique d'un seul département scientifique. Ce cas a joué un rôle crucial dans la réalisation d'un portrait sur la manière d'encourager la diffusion des connaissances et l'adoption de laboratoires par enquête. L'étude de cas de ce département illustre le rôle essentiel du travail d'équipe efficace dans l'initiation d'un changement transformateur, tant en termes de qualité que de quantité de leurs interactions. Ces processus dynamiques impliquent l'interaction des membres de l'équipe parmi divers groupes de travail et collègues, jetant les bases pour remodeler l'approche de conception des programmes du département. Simultanément, dans cet environnement collaboratif, ces processus de changement (inductifs) sont situés à l'intérieur et interagissent avec la vision partagée du département (déductifs). De plus, ces processus sont facilités par des agents de transfert de changement qui excellent particulièrement dans la navigation de la frontière entre la recherche et la pratique et qui ont gagné la confiance des autres membres du département.

Enfin, nous présentons la réponse à notre question de recherche Q4.a : En quoi le contenu disciplinaire particulier à chaque discipline a-t-il un impact sur la façon dont l'étayage est implanté et ultérieurement sur le développement de l'apprentissage scientifique ? Cette question a été au centre de nos conversations en raison de la composition interdisciplinaire de notre équipe - 3 professeurs de chimie, 3 professeurs de physique, 1 professeur de biologie et 1 chercheur en sciences de l'apprentissage. Notre capacité à répondre à cette question découle donc

de ces conversations, de nos efforts pour concevoir des laboratoires par enquête dans les deux disciplines (physique et biologie), tout en les comparant aux laboratoires par enquête conçus par nos cochercheurs chimistes. Les réponses proviennent également de notre travail avec les CdP et des conversations avec ces enseignants des trois disciplines. En discutant de l'autonomie scientifique avec nos membres des CdP, plusieurs thèmes sont ressortis :

- Les professeur·es de physique et de biologie se préoccupent surtout de la compréhension, la présentation et l'analyse des données, tandis que les professeur·es de chimie les connaissances procédurales.
- Les biologistes indiquent que la compréhension de la nature de la science est une composante essentielle au développement de l'autonomie scientifique, un aspect moins valorisé par les chimistes et physiciens.
- Globalement, les professeur·e·s de sciences estiment que les étudiant·e·s doivent être capables de choisir leurs sources et d'en évaluer la fiabilité pour être des scientifiques autonomes.

Ils ont identifié·e·s comme objectifs pouvant être développés en collaboration avec d'autres disciplines, a) l'attitude propre au travail expérimental et b) la prise en charge d'un protocole expérimental. Cependant, ces aspects étaient moins valorisés que dans le contexte disciplinaire. Ces résultats mettent en évidence les différences entre les disciplines, ce qui peut poser des défis pour la mise en œuvre de laboratoires basés sur l'enquête, surtout dans le cadre d'une approche par programme. Pour surmonter ces défis, nous suggérons la formation de communautés de pratique locales et interdisciplinaires capables d'identifier les concepts transversaux en laboratoire, de résoudre les conflits interdisciplinaires et de proposer des solutions. Selon nos discussions avec des collègues, de tels groupes semblent se former dans certains cégeps. Les échanges entre les membres des CdP et notre équipe de recherche renforcent l'idée qu'au niveau collégial, l'implantation des laboratoires par enquête nécessite des moyens d'étayage pour guider les étudiants. Cependant, la mise en œuvre d'une pédagogie utilisant le laboratoire par enquête exige plusieurs itérations pour déterminer les bons niveaux d'étayage, d'orientation et de contraintes, afin que les étudiants puissent bénéficier de l'expérience. Dans cette optique, il est également crucial d'accompagner les professeurs tout au long des étapes du développement de nouvelles pédagogies. Nos CdP, avec les membres de notre équipe de recherche agissant non seulement comme chefs de groupe mais aussi comme agents de transfert, ont pu fournir les ressources sociales, pédagogiques et temporelles nécessaires pour soutenir les éducateurs tout au long de la mise en œuvre d'une pédagogie impliquant les laboratoires par enquête.

# ANNEXES

---

Liste des annexes

A : Questionnaire QCAL à destination des enseignants

B : Questionnaire QCAL Excel, un complément plus détaillé du questionnaire QCAL

C : Guide d'entrevue, à la suite du questionnaire QCAL

D : Les graphiques des résultats de la QCAL

E : Les exemples des réponses typiques pour le cas d'étude en biologie

## A : Questionnaire QCAL

Ce questionnaire a été distribué en ligne, via l’outil Forms de Microsoft, à tous les enseignants et toutes les enseignantes de biologie, de chimie et de physique des cégeps participants à la recherche. La version française des questions est présentée ici ; une version en anglais a été utilisée pour les cégeps anglophones.

### Préambule

Ce questionnaire a été élaboré par un groupe de recherche pour recueillir des données concernant les pratiques en enseignement des sciences au niveau collégial. Il comporte 5 sections portant sur:

- Le consentement à participer à la recherche,
- L'identification des participantes et des participants,
- La culture de votre département,
- Vos méthodes d'enseignement
- La poursuite de votre participation. Y répondre devrait nécessiter environ 15 minutes.

Il n'y a pas de « bonnes » ou de « mauvaises » réponses. L'objectif du questionnaire est de comprendre comment vous enseignez, et non d'évaluer votre enseignement.

### Consentement

J'ai lu le formulaire d'information reçu par courriel et j'ai disposé de suffisamment de renseignements et du temps nécessaire pour prendre ma décision.

- Je consens volontairement à participer à ce projet de recherche, aux conditions énoncées.
- Je ne souhaite pas participer à ce projet de recherche.

### Identification des participantes et participants

Veuillez indiquer votre nom. Soyez assuré(e) que vos informations personnelles seront exclusivement utilisées pour ce projet de recherche et que les données vous concernant ne seront pas diffusées de façon à ce qu'on puisse vous identifier.

1. À quel cégep enseignez-vous?

### Culture départementale

2. Quelle est votre discipline d'enseignement?
  - Biologie
  - Chimie
  - Physique
  - Autre discipline (précisez)
3. Depuis combien d'années enseignez-vous au niveau post-secondaire ?
4. Enseignez-vous généralement à temps plein?
  - Oui
  - Non, je suis souvent libéré pour d'autres tâches
  - Non, je suis employé à temps partiel
5. Quels sont les cours que vous enseignez habituellement (titre et numéro du cours)?
6. Combien y a-t-il d'étudiants inscrits dans un groupe de théorie pour un cours typique?
7. Combien y a-t-il d'étudiants inscrits dans un groupe de laboratoire pour un cours typique?
8. Dans le programme de Sciences de la nature, donnez-vous des cours en co-enseignement, c'est-à-dire un cours pour lequel la théorie et le laboratoire sont donnés par des enseignants différents?

- Oui
  - Non
  - À l'occasion
9. Comment sont prises la plupart des décisions concernant les activités de laboratoire pour un cours que vous offrez dans le programme de Sciences de la nature?
- Je prends la majorité des décisions
  - Je fais partie d'une équipe qui prend la plupart des décisions.
  - Quelqu'un d'autre que moi prend la plupart des décisions.
10. Dans votre discipline, les activités de laboratoire doivent-elles être les mêmes pour tous les enseignants donnant le même cours du programme de Sciences de la nature?
- Oui, c'est obligatoire pour tous les cours
  - Oui, c'est obligatoire pour certains cours
  - Oui, mais ce n'est pas une obligation
  - Partiellement, la majorité des activités de laboratoire sont les mêmes, mais il y a une petite marge de manoeuvre.
  - Non, chaque enseignant fait ce qu'il souhaite.
11. Dans votre discipline, à quelle fréquence remplacez-vous certaines expériences de laboratoire dans chaque cours du programme de Sciences de la nature?
- Jamais
  - Très rarement
  - À chaque session
  - À chaque année
12. Dans votre discipline, qui propose des idées nouvelles concernant les activités de laboratoire pour le programme de Sciences de la nature?
- Un seul enseignant (moi ou un collègue)
  - Un petit groupe d'enseignants
  - Tous les enseignants
  - Quelqu'un d'externe au département (conseiller pédagogique, directeur adjoint, etc.).
13. Dans votre discipline, lorsque des changements sont proposés par des enseignants aux expériences de laboratoire pour Sciences de la nature, comment pensez-vous que vos autres collègues (enseignants et techniciens) perçoivent ces changements?
14. Estimez-vous que les activités de laboratoire dans les cours que vous enseignez sont suffisamment en lien avec le contenu abordé en classe? Dans l'affirmative, veuillez expliquer et préciser dans quelle mesure ces activités sont liées au contenu abordé en classe. Si non, veuillez expliquer et indiquer dans quelle mesure ces activités ne sont pas liées à au contenu abordé en classe. Dans les deux cas, n'hésitez pas à donner des exemples pour expliquer votre point de vue.
15. Selon vous, quels sont les principaux obstacles à la modification des activités de laboratoire dans votre discipline ? (Cochez tout ce qui s'applique)
- Le budget
  - La capacité d'accueil des laboratoires
  - Les collègues
  - Le devis ministériel
  - La logistique pour les techniciens (préparation, montage, encadrement, etc.)
  - Le matériel disponible
  - Le nombre d'étudiants par groupe
  - La taille du département
  - Le temps/la surcharge de travail
  - Autre (précisez)

## Méthodes d'enseignement

Veillez répondre aux questions en pensant à vos méthodes d'enseignement dans un cours que vous avez donné dans les deux dernières années. Ce cours doit être choisi parmi les cours :

- Biologie : 101 ou le deuxième cours dans le programme de Sciences de la nature (code variable selon les cégeps)
- Chimie : NYA, NYB ou le cours de chimie organique (code variable selon les cégeps)
- Physique : NYA, NYB ou NYC

Veillez lire chaque énoncé, puis indiquer dans quelle mesure il est descriptif de votre enseignement en général (et non uniquement pour les activités de laboratoire) tel qu'il était avant la pandémie de COVID-19.

[1. Pas du tout représentatif de mon enseignement à 5. Très descriptif de mon enseignement]

16. Je structure mes cours pour que les étudiants critiquent de manière constructive les idées des autres.
17. Je structure mes cours pour que les étudiants discutent régulièrement entre eux des concepts vus dans le cours.
18. Je structure mes cours de manière à donner aux étudiants de nombreuses occasions d'obtenir de la rétroaction de ma part.
19. Je donne de la rétroaction dans les travaux des étudiants sans leur attribuer une note officielle.
20. J'utilise fréquemment des activités d'apprentissage actif centrées sur l'étudiant dans mes cours.
21. Je travaille fréquemment avec d'autres collègues pour concevoir des activités d'apprentissage actif centrées sur l'étudiant.

## Poursuite de votre participation

Nous aimerions en savoir plus sur les activités de laboratoire d'un cours que vous avez donné dans les deux dernières années dans le programme Sciences de la nature.

22. Accepteriez-vous de poursuivre votre participation à notre recherche en complétant un tableau Excel portant sur les activités de laboratoire pour un cours? Remplir ce tableau devrait nécessiter environ 20 minutes.
  - Oui, vous pouvez me le faire parvenir par courriel.
  - Oui, mais j'aimerais qu'un membre de l'équipe de recherche le complète avec moi.
  - Non, je ne souhaite pas participer à cette phase de la recherche.
23. Quelle est votre adresse courriel? [Si répondu Oui à la question précédente]
24. Accepteriez-vous de poursuivre votre participation à notre recherche en discutant avec nous de vos activités de laboratoire, dans une entrevue ou un groupe de discussion? Cette discussion devrait nécessiter environ une heure, et elle serait réalisée au moment de votre choix.
  - Oui, j'accepte que vous me contactiez pour fixer un rendez-vous pour une discussion sur mes activités de laboratoire.
  - Non, je ne souhaite pas participer à cette phase de la recherche.
25. Quelle est votre adresse courriel? [Si répondu Oui à la question précédente]

## B : Questionnaire QCAL Excel

Ce questionnaire suivait le questionnaire QCAL présenté à l'annexe précédente. C'est ce questionnaire qui était envoyé aux participant·e·s qui répondaient «oui » à la question 22 du Questionnaire QCAL. Comme il s'agit d'un tableur Excel, une saisie d'écran est présentée ici. Les questions sont dans les colonnes A et B, et les réponses des participant·e·s vont dans les colonnes C et suivantes (une colonne par expérience de laboratoire). Les consignes ci-dessous accompagnaient le tableur:

### Consignes

Dans cette section, vous devrez décrire les activités de laboratoires d'un cours que vous avez donné dans les deux dernières années. Répondez en pensant à votre cours tel qu'il était avant la pandémie de COVID-19. Pour remplir le tableau, vous aurez peut-être besoin de : votre plan de cours, le recueil de textes de laboratoire destiné aux étudiants (ou l'équivalent), les consignes, annexes et autres documents destinés aux étudiants, et tout autre document départemental ou personnel qui décrit les activités de laboratoire et les consignes données aux étudiants à propos de ces activités de laboratoire.

Dans le cas où le cours est donné en co-enseignement, répondez à la question selon ce que vous feriez si vous enseigniez le cours seul.

Le cours doit être choisi parmi un des cours du programme de Sciences de la nature :

Chimie: NYA, NYB ou Chimie organique

Biologie: NYA ou le deuxième cours du programme de Sciences de la nature

Physique: NYA, NYB ou NYC

Remplissez le formulaire en considérant uniquement les activités qui impliquent une expérimentation pratique. Il n'est pas nécessaire d'inclure dans le formulaire les ateliers, les simulations, les démonstrations, les examens de laboratoires ou tout autres activités similaires.

	A	B	C
1	<b>Cours choisi</b>		
2	<b>Session/année du portrait tracé ici</b>		
3			
4	Laboratoire (voir la feuille de consignes pour savoir ce qui est considéré comme un laboratoire)		1
5	Titre abrégé (ou sujet - référence utile pour vous seulement)		
6	La question de recherche est (sélectionnez):		
7	La méthode (procédure expérimentale) est (sélectionnez):		
8	La méthode (procédure expérimentale) est (sélectionnez):		
9	La façon d'analyser les données est (sélectionnez):		
10	Les résultats escomptés sont (sélectionnez):		
11	Les concepts théoriques liés au labo sont vus en classe (sélectionnez):		
12	<b>Quel est l'objectif de ce laboratoire?</b> (sélectionnez un ✓ dans toutes les cases qui s'appliquent)	Fournir aux étudiants la possibilité de s'exercer à suivre un protocole	
13		Fournir aux étudiants la possibilité de pratiquer une technique, d'utiliser des instruments ou des appareils spécialisés	
14		Fournir l'occasion de prendre des décisions, faire des choix ou adapter ses pratiques au niveau expérimental	
15		Donner aux étudiants la possibilité d'explorer ou de découvrir de nouveaux concepts	
16		Servir de support pour enseigner un concept	
17		Permettre aux étudiants à apprendre à mener un projet de recherche	
18		Donner aux étudiants la possibilité de rédiger telle ou telle section de rapport de laboratoire	
19		Autre (veuillez préciser)	

## C : Guide d'entrevue avec les enseignantes et enseignants

### Partie 1 : Séquence entourant les laboratoires par enquête

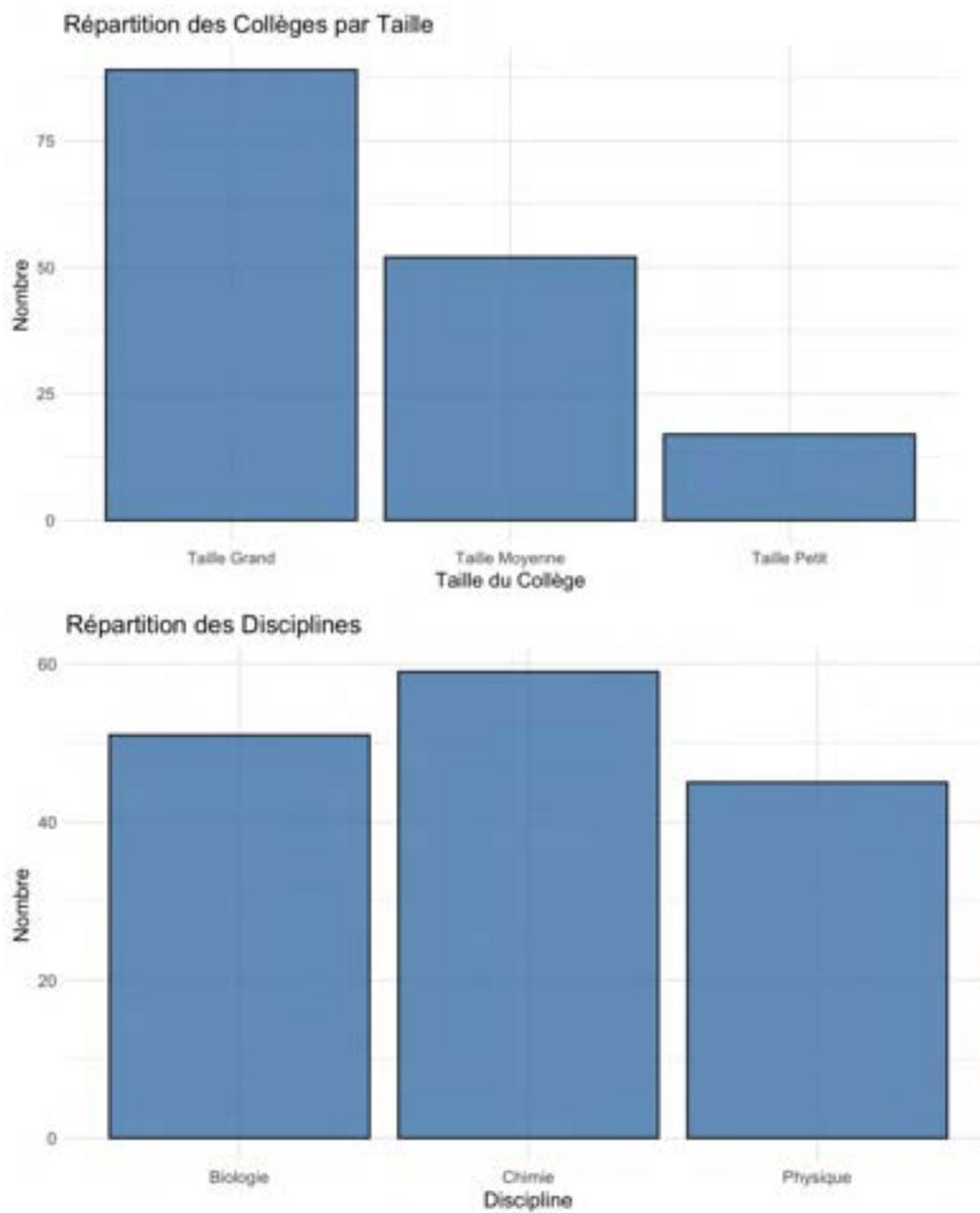
Buts	Questions	Exemples ou commentaires
Les questions suivantes portent sur le laboratoire [écrire ici le numéro, la lettre ou le nom donné au laboratoire par enquête] décrit dans le fichier Excel. Rappeler ici quelle(s) portion(s) sont laissée(s) ouverte(s)		
	1. À quel moment dans la session ce laboratoire est-il effectué?	
Connaître la séquence d'apprentissage entourant un laboratoire par enquête Identifier les formes d'étayages issues de la séquence	2. Pouvez-vous me décrire la séquence d'apprentissage pour ce laboratoire. (Avant à pendant à Après) 2.1. Quel est l'objectif d'apprentissage pour ce laboratoire? 2.2. Quels sont les apprentissages préalables nécessaires pour réaliser ce laboratoire? 2.3. Est-ce qu'il y a du temps consacré en classe pour la préparation de ce laboratoire? 2.4. Y a-t-il du travail tangible généré par les étudiants pendant ce labo? 2.5. Comment ce laboratoire est-il évalué?	
Identifier les objectifs d'apprentissage des laboratoires enquête	3. Est-ce qu'il y a une raison particulière pour laquelle le labo X est avant le labo Y	Uniquement s'il y a plusieurs expériences d'enquête

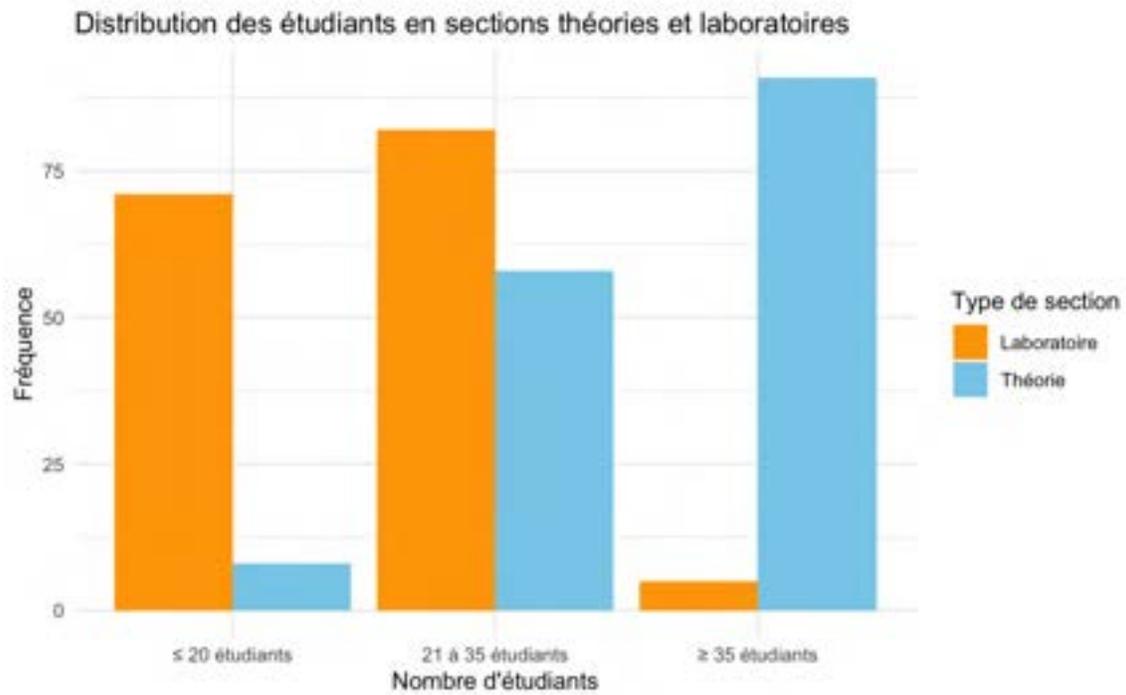
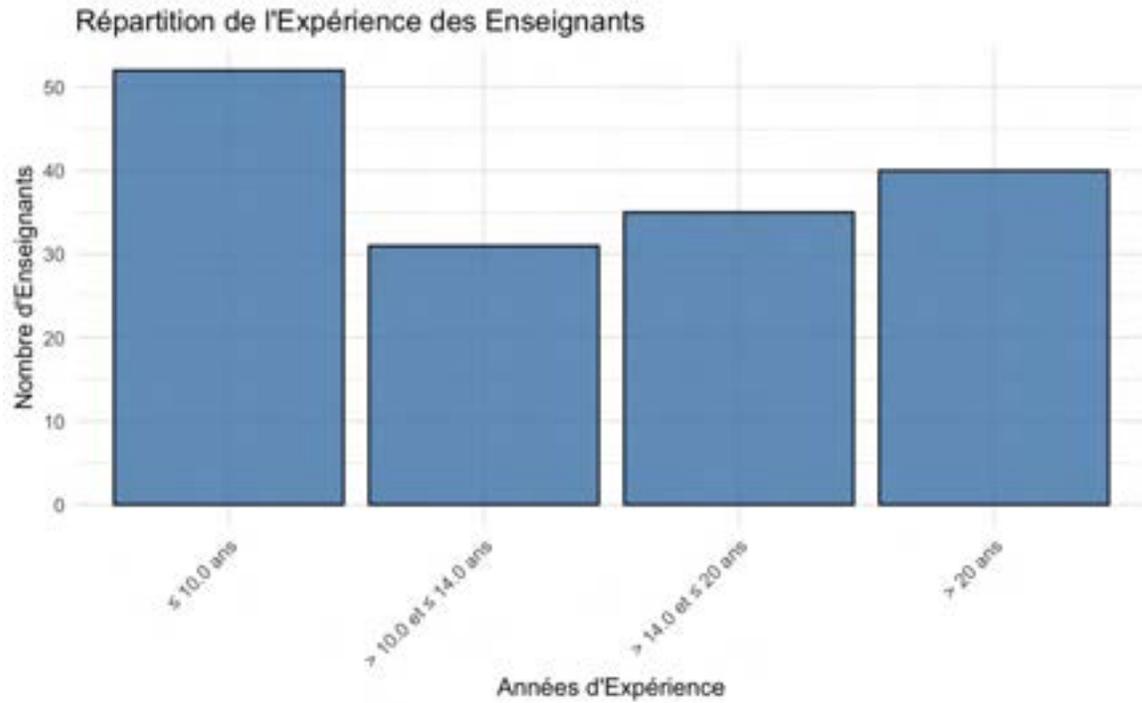
### Partie 2 : Étayage lors des laboratoires par enquête

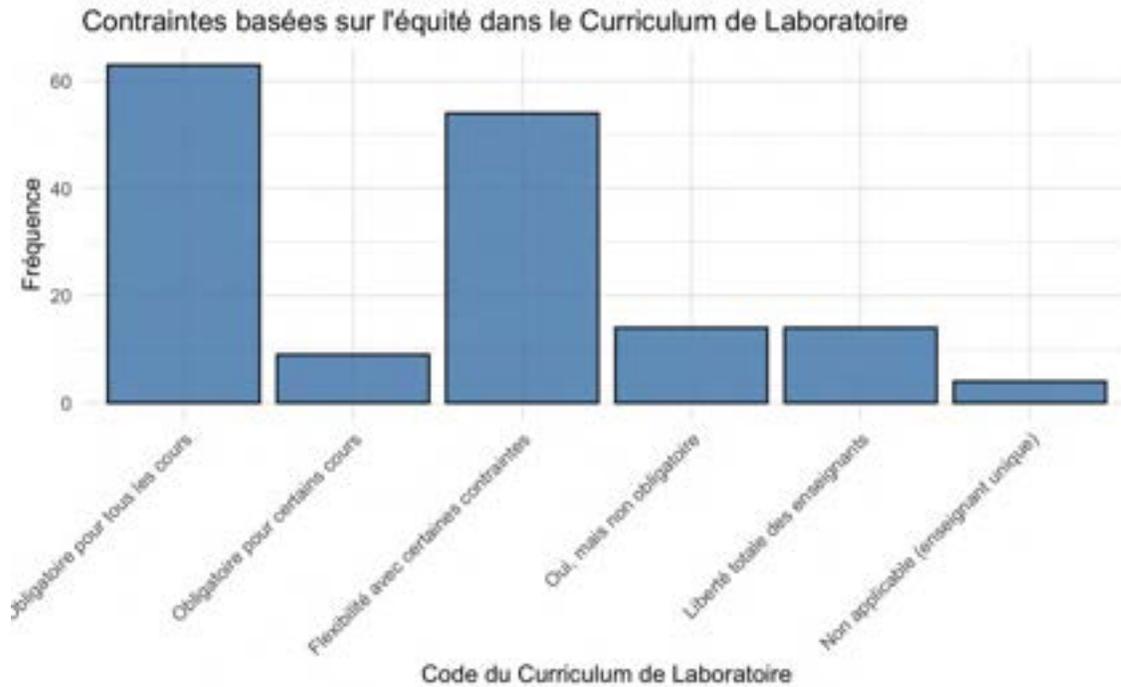
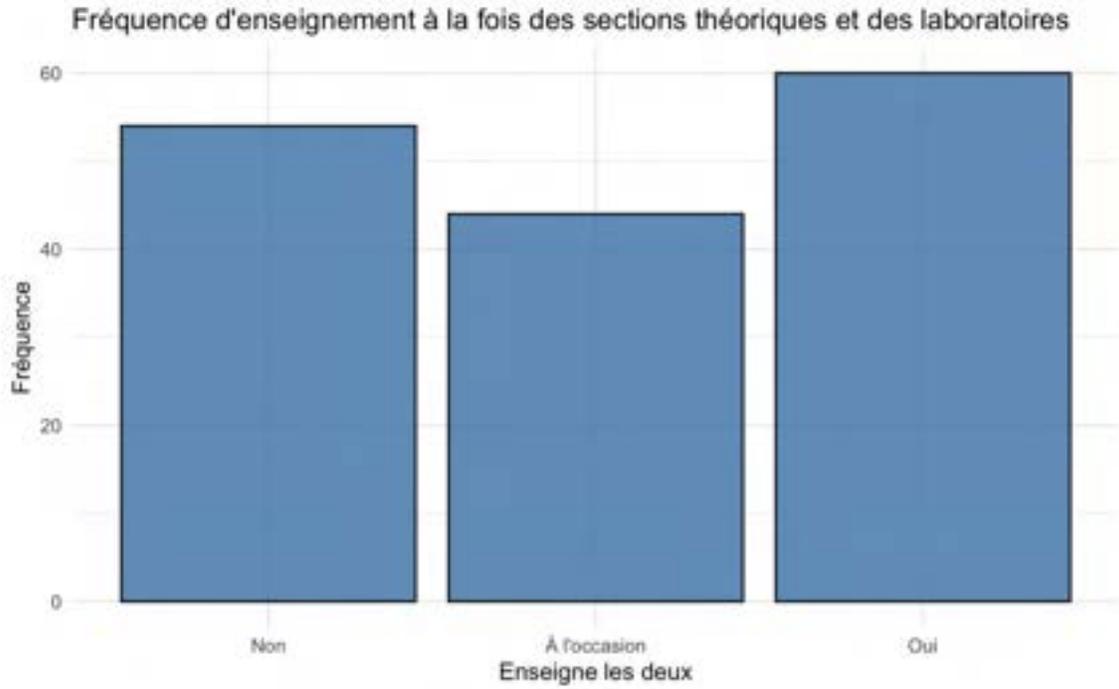
Buts	Questions	Exemples ou commentaires
Les questions suivantes portent sur le laboratoire [écrire ici le numéro, la lettre ou le nom donné au laboratoire par enquête] décrit dans le fichier Excel.		
Identifier les formes d'étayage	1. Avez-vous conçu quelque chose ou des moyens (méthodes, stratégies, outils) qui pourraient aider les élèves à réaliser ce laboratoire avec succès ? 1.1. Fournissez-vous une feuille de travail avec des questions aux étudiants? 1.1.1. Si oui, demander à l'enseignant de montrer et d'expliquer le document. 2. Comment les étudiants sont-ils accompagnés (formes d'étayage) pour ce type de labo? Exemples au besoin : Travail en classe, texte de labos, labos précédents, réponses aux questions (ouvertes ou directives), devoirs, discussion de groupes en classe, démonstration, etc. 2.1. Que dites-vous aux étudiants au début du laboratoire? 2.2. Comment guider vous les étudiants avec les variables/les contrôles? (si applicable) 2.3. Comment aidez vous les étudiants à identifier les mesures à prendre au laboratoire pour répondre à la question de recherche?	

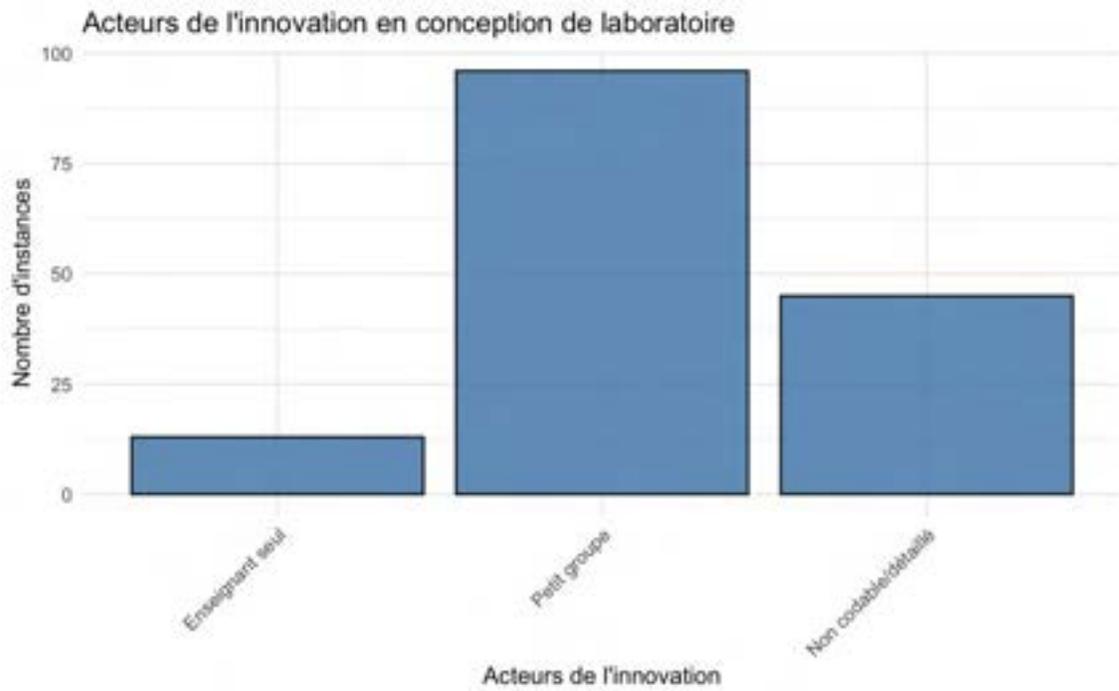
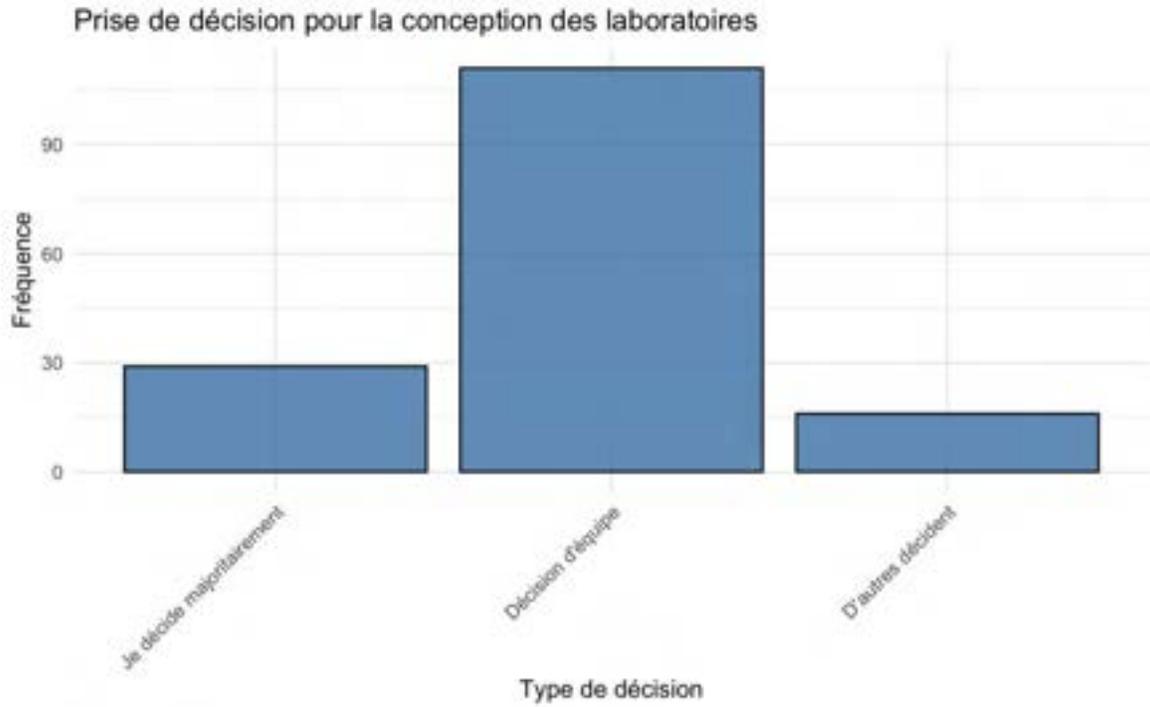
	<p>2.4. Est-ce qu'un des laboratoires précédents peut aider les étudiants avec celui-ci?</p> <p>3. À quel moment l'accompagnement a-t-il lieu (avant, pendant, après le laboratoire)?</p>	
<p>Identifier les formes d'étayage</p> <p>Savoir ce que les enseignants font lorsque les étudiants</p>	<p>4. Dans le cas où les étudiants ont des difficultés à accomplir la ou les tâches, que faites-vous généralement ?</p> <p>4.1. Comment avez-vous géré les efforts de vos étudiants pour résoudre un problème lié à l'expérience (ou un obstacle à la résolution du problème) ?</p> <p>4.2. Quand et comment intervients-tu?</p> <p>5. Que faites-vous avec les étudiants qui proposent une méthode que vous savez vouée à l'échec.</p> <p>5.1. Soulignez-vous les erreurs ou laissez-vous les étudiants expérimenter?</p> <p>5.2. Si vous soulignez les erreurs, à quel moment le faites-vous et comment?</p>	
<p>Identifier les formes d'étayage</p>	<p>6. Est-ce que votre accompagnement est différent pour l'expérience X et Y? Pourquoi?</p> <p>6.1. Si oui, comment est-ce différent?</p>	<p>Uniquement s'il y a plusieurs expériences d'enquête</p>

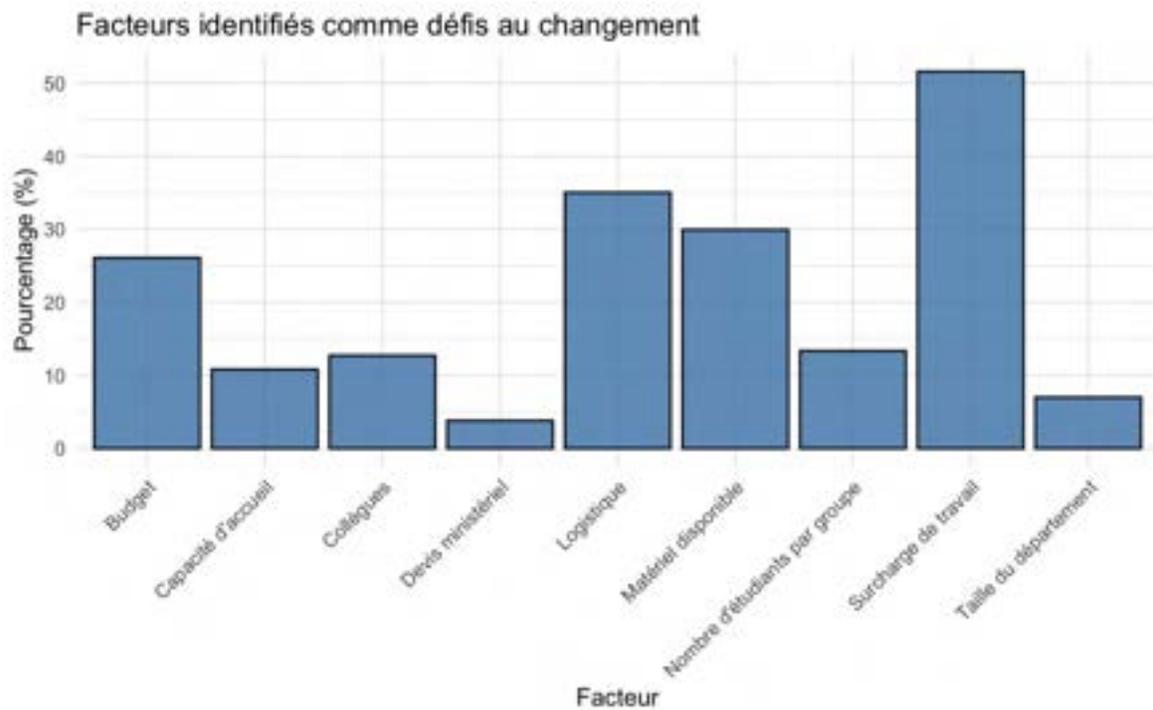
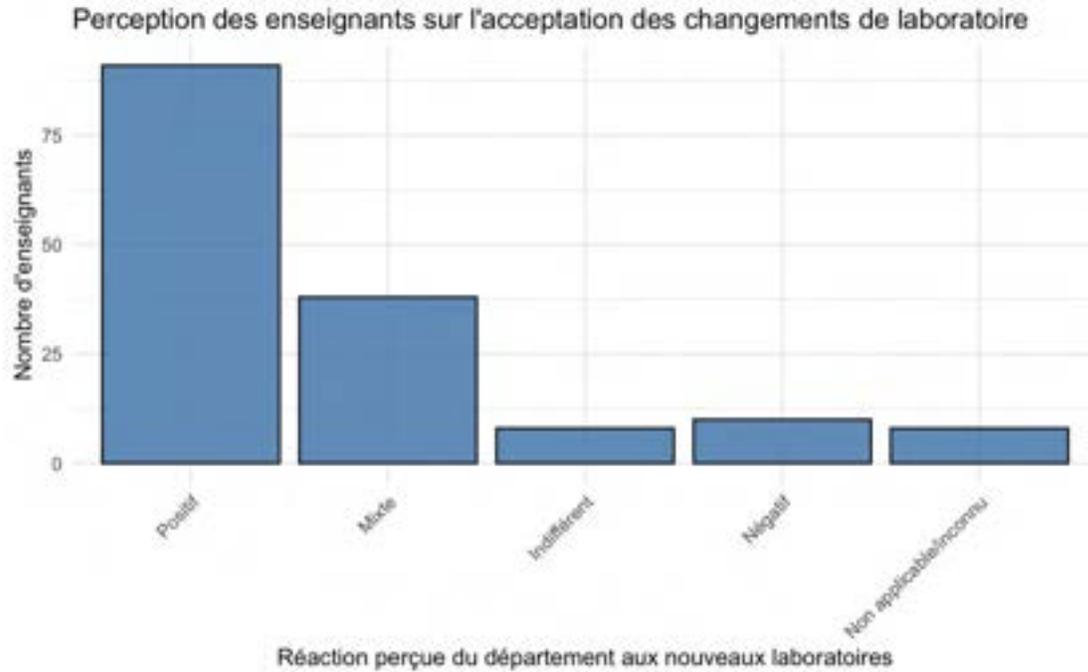
## D : Les graphiques des résultats de la QCAL (les 16 figures)

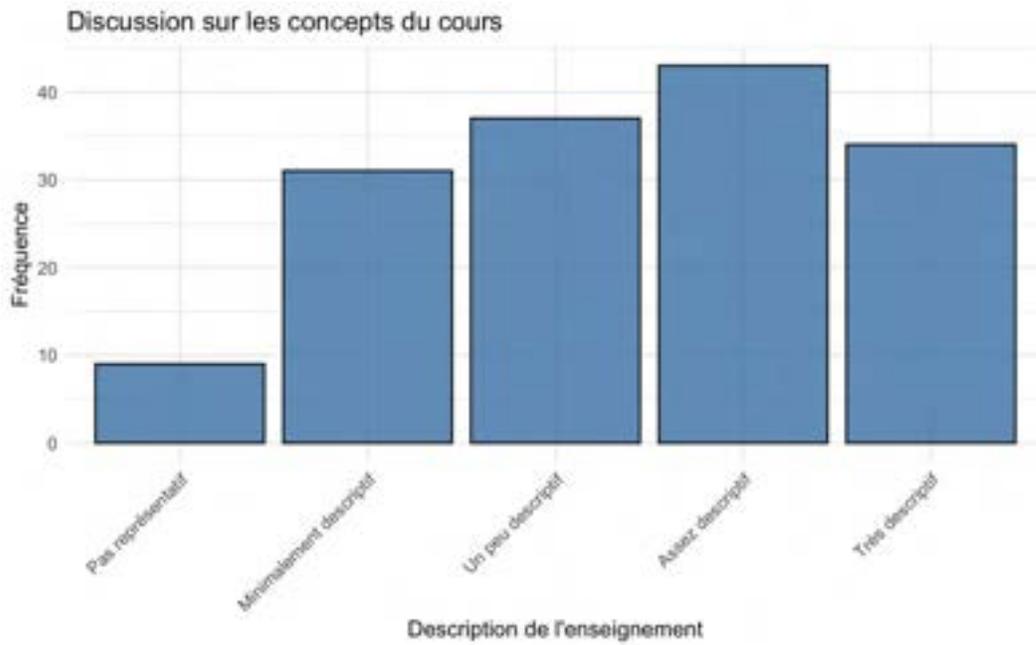
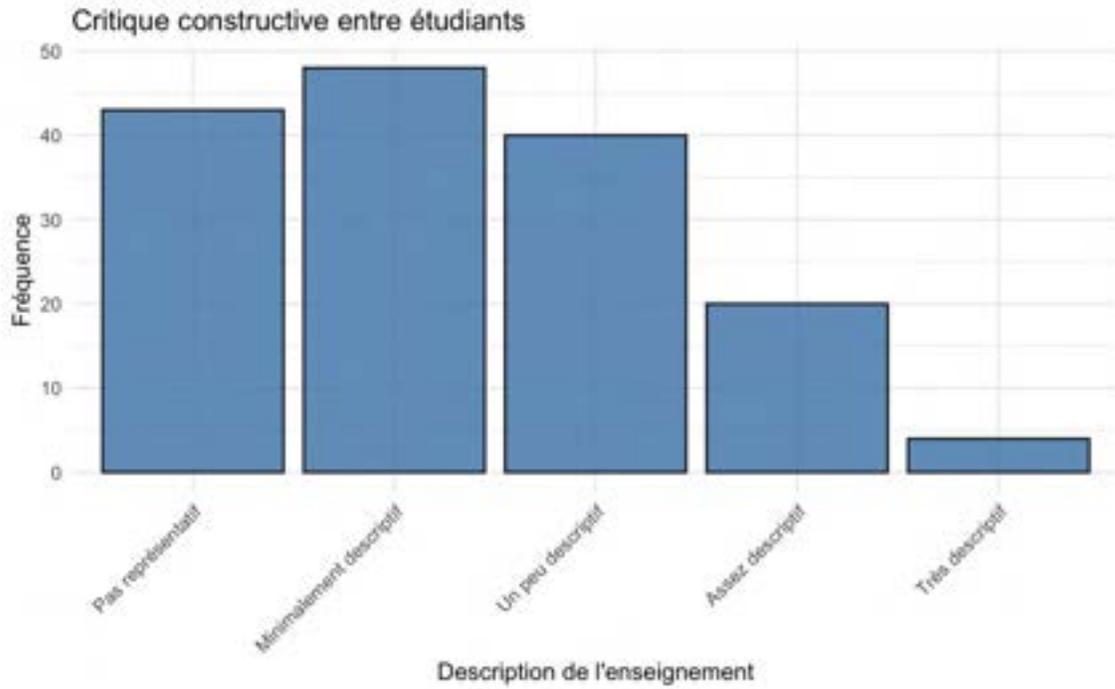


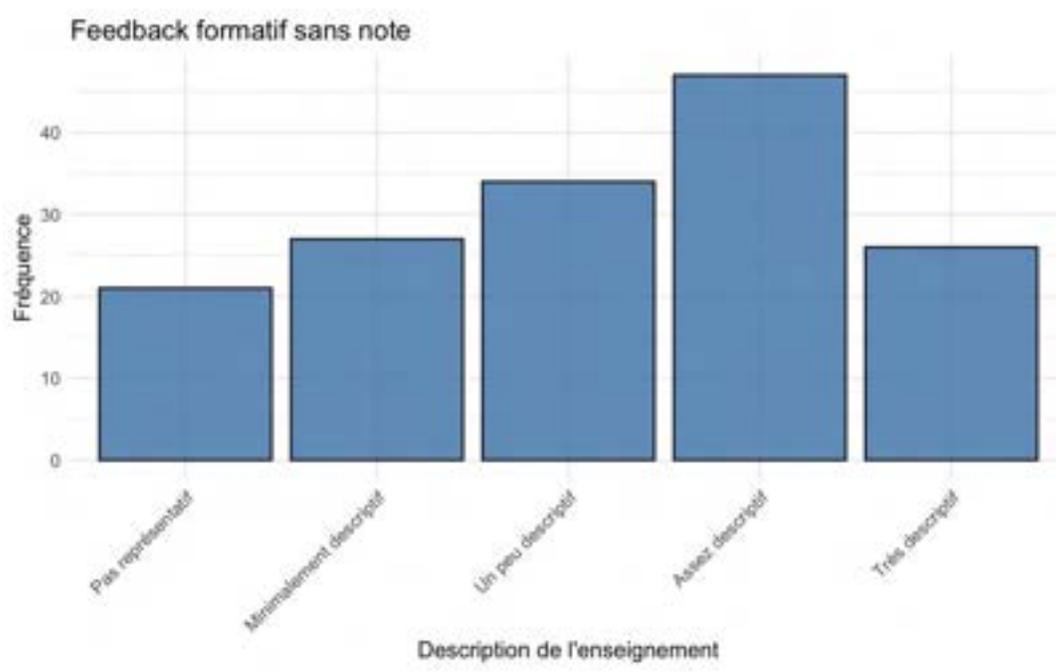
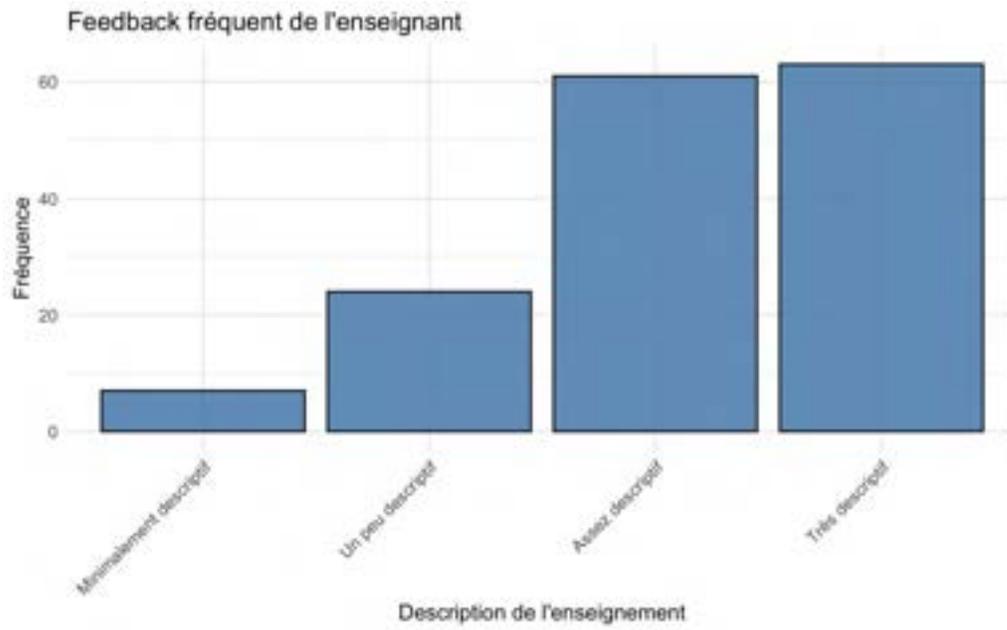


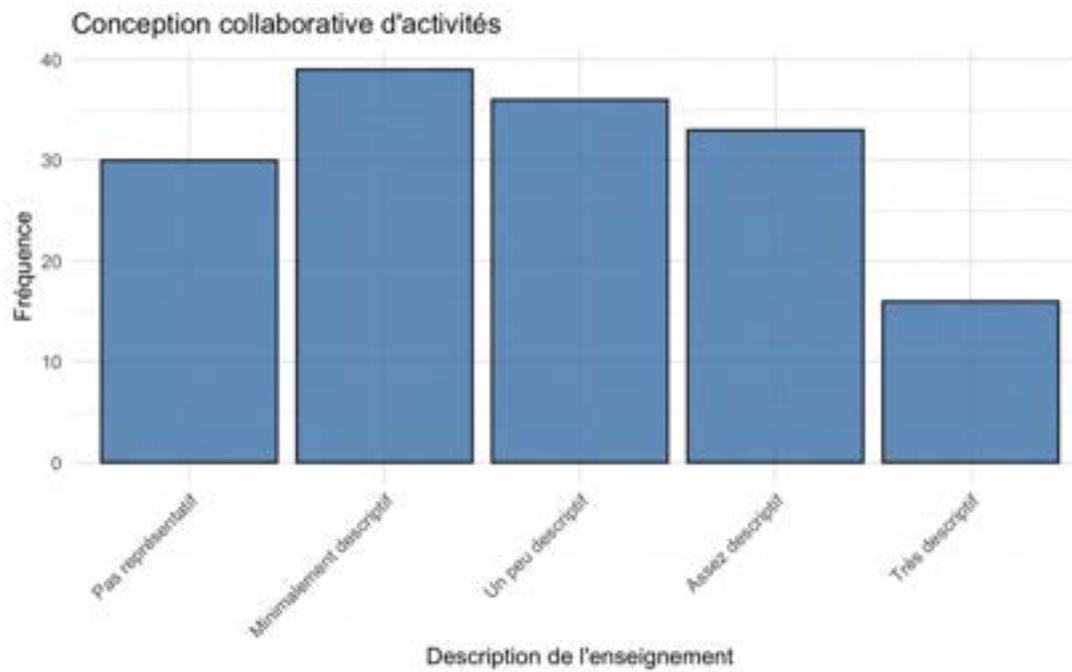
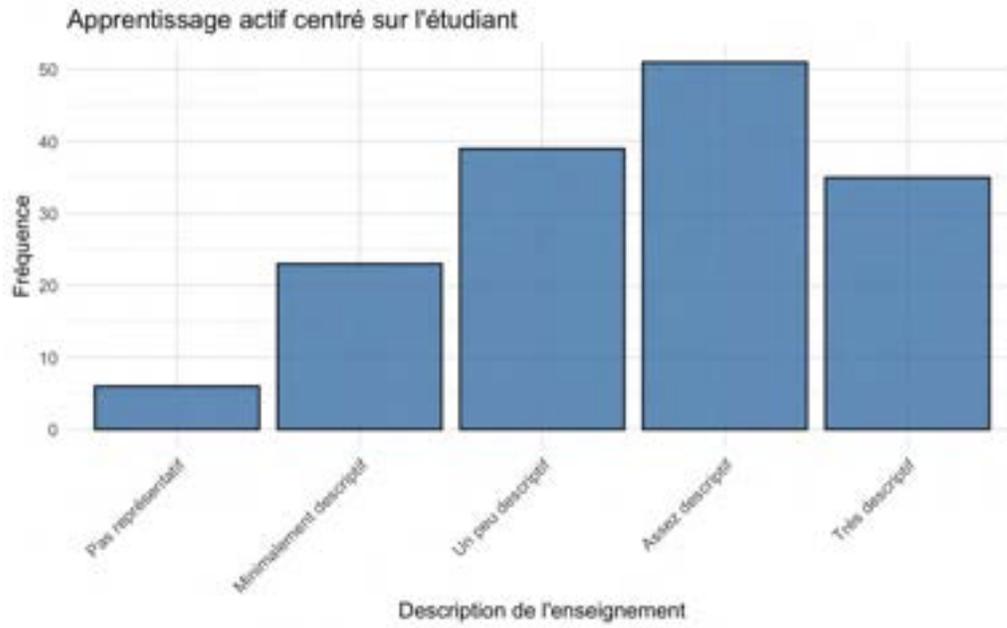












## E : Les exemples des réponses typiques pour le cas d'étude en biologie

*Exemple de changement positif au cours du semestre dans les réponses d'un étudiant aux tests pré/post crème glacée de George et aux post-tests différés.*

	Student's Responses	Score and Explanation
Pre-Test (GIC)	According to George's test and measurements, the color of the ice cream's wrapper does affect the melting time. The chocolate ice cream wrapped in a green wrapper melted the fastest at an average rate of 16.7 g/min. The ice cream wrapped in a yellow wrapper is the second fastest to melt at an average rate of 13.3 g/min. The ice cream wrapped in blue is the third fastest to melt at an average rate of 10.9 g/min. Finally, the last three ice creams to melt are the ones wrapped in white, brown and black and they all melted at an average rate of 10 g/min. Using a green wrapper affects the melting time the most, followed by the yellow one, then the blue one.	1/5 The response is incorrect. It is not possible to draw a reasonable conclusion from George's experiment due to design flaws. The answer does consider data and possibility of an effect, part marks for this.
Isomorph Post-Test	The data collected from this experiment is not conclusive enough to determine whether the average temperature in a particular location affects the reducing sugar in peaches. The biochemist should improve his experiment design for better results. First of all, the <b>confounding variables</b> are not held constant, with <b>systematic variation</b> of a single <b>independent variable</b> . There are white peaches and yellow peaches in this experiment, and type of peach may <b>have an effect</b> on amount of sugar. In order to arrive to a conclusion, only one type of peaches should be used. Also, the peaches come from many different countries. The location where the peaches have been grown may interfere with the results of the experiment because of many different factors. Therefore, the location grown should also remain constant in this experiment. Second of all, the experiment lacks <b>replication</b> . The biochemist did not repeat the experiment enough times. Most of the temperatures in the table only appear once expect for "16 degrees" which appears twice. A good experiment requires a lot of replication in order to come to definite results and not rare coincidences. With the data in the table, it is not possible to affirm whether the amount of sugar in peaches depends on the temperature.	4.5/5 (use of appropriate language bolded to highlight) The response is sound, identifying that it is not possible to draw a conclusion from the researcher's experiment. The response uses appropriate experimental design language encountered in the course. The student did not receive full marks because they did not review the data and consider any results that could suggest that more rigorous testing of the hypothesis would be warranted.
Delayed Post-Test Q1	So first of all, George, for your results to better answer your question and test your hypothesis you should have to control for confounding variables so that you can effectively see if the wrapper's colour has an effect on the ice cream's melting time. So you should for example use only one flavour (or one at a time), and the same amount of it for example 80g (or one size at a time), and then only vary the wrapper colour. You also need to increase your sample size to make sure you aren't just getting lucky results so make sure you have repeats of each wrapper colour. Finally, think about using a different method for heating up the ice creams to make sure that they all are in exactly the same situation and have some consistent way to measure how long until they melt.	5/5 The student provides reasonable suggestions for controlling confounding variables and systematically varying only wrapper colour. They also address the need for replicates of each wrapper colour. Finally, they address flaws in George's methodology, and, while not providing explicit suggestions for how to improve, at least indicates that more rigorous methods are required.
Delayed Post-Test Q2	So here, a research question that can be proposed would be if the special ingredients have an effect on the melting time for each of the ice creams. The hypothesis is that ingredient <b>has an effect</b> on melting time. Ingredient is the <b>independent variable</b> , melting time is the <b>dependent variable</b> . A method to test this question, I would run a different test for each flavor. I would start by creating a <b>control group</b> for each flavor. By doing so, I would run each flavor at one specific mass, with no special ingredients. I would freeze them solid, then take them out at room temperature, place them on a counter in a controlled environment with no <b>confounding variables</b> and record the time they are in room temperature until they melt and record it. Then I would run the same test for the flavor with their special ingredient. I would record their time they are at room temperature until they melt. I would also do about 10 bars for each test, control and special ingredient for each run as it is important to have <b>replication</b> in the experiment to reduce the idea that this is occurring by chance. From the results it would be possible to see whether special ingredients are affecting melting time. We could also get an idea about which ingredients are affecting the melting time the most, although that could also be affected by flavor. From there you can fix the ingredients to maximize your melting time by removing or adding special ingredients.	5/5 (use of appropriate language bolded to highlight) Appropriate research question and reasonable hypothesis. The experimental design seems to suggest creating new ice creams just for this research (i.e., ones without special ingredients), but this was left open as a possibility. The experimental design is sound, technically designing an appropriate multivariate study to systematically vary both special ingredients and flavour (although flavour and specific ingredients are linked). Controls for mass, and also indicates need to control for other confounding variables by performing experiment in controlled conditions. Identifies need for replication. Loosely indicates that this would be one step toward answering the broad research question.

*Exemples de sections initiales et finales de méthodes (module 2) et de discussion (module 4). Les exemples de méthodes et de discussions proviennent de différents étudiant·e·s.*

**Initial Methods Section**

In this experiment, cheek epithelial cells from three people at random and epithelial cells from three onions grown from the same garden will be collected and put into a wet microscope mount so that they can be analysed.

Before collecting the cheek cells a microscope slide will be prepared with a drop of 0.9% NaCl saline on it. The cheek cells will be collected by rubbing the inside of each random person with a toothpick, each specimen will be placed on a previously prepared slide. The saline is required to prevent the cells from drying out, water can not be used as a replacement as it would cause the cells to burst from osmotic pressure. To be able to see the cells properly, they need to be stained. To do so, first lower a cover slip over the sample and tap the slide to remove any air bubbles then Place a drop of methylene blue at one edge of the cover slip. Touch the opposite edge of the cover slip with a paper towel to draw the stain under the slip. The stain will help to see the organelles of the cell, mostly the nucleus, and make out the membrane from its surroundings.

For the onion cells the wet mount should be made using the same process without the saline and using iodine to stain the cells instead of methylene blue. In addition, the process to collect the cells is a bit different. The cells observed will come from the outside layer of an onion that was peeled off from it.

**10/15**

A few too many minor procedural details about producing wetmounts. Sample size not presented. Specifics of measurement unclear (no diameter for cheek cells), and assumptions about cell shapes also unclear. No description of statistical methodology.

**Final Methods Section**

In this experiment, cheek epithelial cells from two people at random and epithelial cells from two onions were collected and put into a wet microscope mount so that their volumes and SA/V ratio can be compared.

Before collecting the cheek cells a microscope slide were prepared with a drop of 0.9% NaCl saline on it. The cheek cells were collected by rubbing the inside of each random person with a toothpick, each specimen was placed on a previously prepared slide. The saline is required to prevent the cells from drying out, water can not be used as a replacement as it would cause the cells to burst from osmotic pressure. To be able to see the cells properly, they needed to be stained. To do so, first a cover slip was over the sample and any air bubbles should be removed. A drop of a chosen staining agent (methylene blue, iodine, etc.) was then placed at one edge of the cover slip. To draw the stain under the slip the opposite edge of the cover slip, a paper towel was helpful. The stain helped to see the organelles of the cell, mostly the nucleus, and make out the membrane from its surroundings.

For the onion cells the wet mount was made using the same process without the saline as plant cells are generally more robust than animal cells and don't need it. In addition, the process to collect the cells was different. The cells observed came from the outside layer of an onion that was peeled off from it.

To take the measurements of the cells a microscope was used, along with the software that comes with it. With these tools the length and width of each onion cell can be measured and the diameter of the cheek cells. The depth of the cells was measured with the help the fine focus knob on the microscope by watching when the image of the cells goes in and out of focus. The magnifications used were 400X for the cheek cells and 100X for the onion cells. To get significant enough results, the measurements of 10 cells from each sample was recorded.

The volume of the cells was calculated using the formula  $V=A*h$  because the onion cells were considered rectangular prisms and the cheek cells were considered cylinders as it is a more accurate description of what shape the cells are. The area of the cheek cells was measured by using the formula  $A=\pi*a*b$  and for the onion cells it was measured like a rectangle  $A=L*W$ . The Surface area of the cheek cells was calculated using the formula  $SA=2A+h*p$ , this is an approximation used to make the calculations simpler because they would require advanced calculus to get the true answer. For the onion cells the equation used was  $SA=2A+2(h*L)+2(h*W)$

An unpaired t-test was used to analyze the data seeing as the dimensions were taken from different sample groups. To verify the possibility of the null hypothesis, the independent variable having no effect on the dependent variable, being correct, the unpaired t-test was two-tailed. For the test, the  $\alpha$ -value is 0.05.

**14.5/15**

A few too many minor procedural details about producing wetmounts.

### Initial Discussion Section

This experiment shows that evolutionary mechanisms affect allele frequencies in the Bar gene of *Drosophila melanogaster*. The p-value of 0.0001 obtained from the Chi2 test is very low and therefore the null hypothesis can be discarded. Meaning the values differ from the expected values and thus it is concluded that they are not in Hardy-Weinberg equilibrium. These results are also supported by the literature which says that 5 assumptions must be made in order to use the H-W equation: 1. Large population size, 2. No mutations, 3. No migration, 4. Selection does not affect the trait observed, 4. Mating is random; however, out of all those assumptions only one is true thus it is expected for the genotypes found to differ from the H-W equilibrium.

The cause for such divergence, however, is caused by the wrong assumptions which mostly stem from evolutionary mechanisms. Particularly genetic drift, variation in the frequency of an allele in a relatively small population, and sexual selection, non-random mating. The first assumption is obviously false as the observed population only contained 36 flies. A small population size is directly affected by genetic drift, which is "random change in allele frequencies" (Laroche 24) and can lead to the disappearance of certain genes in the population. The second assumption is completely false as the Bar gene has multiple mutations and its presence in the *Drosophila*'s genome is a mutation itself. (Dobzhansky 1) The third assumption is the only correct one as during the experiment the observed population was cultivated in a small tight-sealed test tube not allowing for any migration in or out of it. The fourth and fifth assumption are, however, incorrect as the trait observed is directly affected by sexual selection; a "type" of natural selection which affects mating. Table 3 from Bixler (2005) shows that the copulation success of *Drosophila melanogaster* is linked to its phenotype: a couple of wild flies has a 46% success rate while a bar-bar reproduction has a 9% success rate, thus it affects the F1 generation which will contain much more heterozygous females and homozygous for the wild allele flies since they have a higher fitness. This is a direct result of the fact that Bar males have less eyes, thus cannot see very well, and end up spending a lot less time courting than wild males. In brief, genetic drift and sexual selection are the evolutionary mechanisms which affect the Bar allele frequency in *Drosophila melanogaster*.

Now looking into the experiment, itself, the very low p-value testifies the experiments quality, meaning it was well-done in good conditions. However, if it was to be done again it would be pertinent to look at a bigger population size since as mentioned above, a small observed population can make out genetic drift to have much more of an effect on allele frequency than it actually has in "real life".

12/20

Review of evolutionary mechanisms to identify why change occurred is unclear AND flawed. Drift was not a factor, and descriptor of what is "false", "correct", and "incorrect" is very unclear. Limited consideration of experiment and confidence, almost no discussion of significance and implications, no consideration of next research steps.

### Final Discussion Section

This experiment shows that evolutionary mechanisms affect allele frequencies in the Bar gene of *Drosophila melanogaster*. The p-value of 0.0001 obtained from the Chi2 test is very low and supports the hypothesis; the null hypothesis can be discarded. Meaning the values differ from the expected values and thus it is concluded that the Bar gene is not in Hardy-Weinberg equilibrium within the population of flies.

These results are also confirmed by the literature which says that the following 5 assumptions must be true in order to use the H-W equation: large population size, no mutations, no migration, selection must not affect the trait observed and mating must be random (ABLE 2005); however, out of all those assumptions only two are true thus it is expected that the genotypes found will differ from the H-W equilibrium.

The cause for such divergence is the wrong assumptions which mostly stem from evolutionary mechanisms. Particularly non-random mating. The first assumption is obviously not met as the observed population only contained 36 flies. However, genetic drift can be discarded as a factor in the results observed because the parent flies were all homozygous, meaning drift could not have occurred (Laroche 2020). The second assumption is met since, there has been no further mutations other than the one already present, the Bar gene itself is a mutation, (Dobzhansky 1928) thus it can be said that there was no mutation. The third assumption is also correct as during the experiment the observed population was cultivated in a small tight-sealed test tube not allowing for any migration in or out of it. The fourth and fifth assumption are, however, not met as the trait observed is has a direct effect on the ability to mate. A study by Bixler and Schnee shows that the copulation success of *Drosophila melanogaster* is linked to its phenotype: a wild male has a 46% copulation success rate while a bar male has a 9% copulation success rate (Bixler, A., and F. Schnee. 2005), thus it affects the F1 generation which will contain much more heterozygous females and homozygous for the wild allele flies since they will reproduce more. This is a direct result of the fact that Bar males have less eyes, thus cannot see very well, and end up spending a lot less time courting than wild males. In brief, random mating is the evolutionary mechanisms which affect the Bar allele frequency in *Drosophila melanogaster*. Natural selection is thus a factor for mating as well, because the bar males are selected against, although it's important to note that Bar doesn't have lethal effects (Bixler, A., and F. Schnee. 2005) and the flies had lots of food and no predators.

The purpose of this experiment was to permit to students to acquaint themselves with research on evolution and apply the theory learned in class to a real-life context. By doing this experiment the students were in fact able to do all of the above as well as deepen their comprehension of the subject and most importantly go beyond the scope of this course. Now, looking into the experiment, itself, the very low p-value testifies the procedure's quality, meaning it was well-done and in good conditions, but there were still a few sources of uncertainty in the data such as the fact that students could've easily miscounted the flies or miscategorized them. There was also quite a bit of flies stuck at the bottom of the vial which could've affected the results, but none of these things likely had a significant effect on the frequencies observed, so we remain confident in our conclusions. But, if it was to be done again it could be better to have multiple verifications of the count and phenotype of each fly could help reduce the errors in the results. This experiment opens up more questions such as would what kind of effect the environment in which the flies are mating will have on the resulting phenotypes of the F1 generation. Previous studies have already been done on the effects of temperature (Unknown 1928) but it would be an interesting component to add to this experiment for students to see how outside factors, such as temperature, can affect the microevolution of certain species.

19/20

Significance/implications could be more elaborate.