



HAL
open science

Etude des raisonnements d'étudiants sur la mesure en TP de physique de première année universitaire : Influence du contexte et effet de rétroaction

Clément Maisch

► **To cite this version:**

Clément Maisch. Etude des raisonnements d'étudiants sur la mesure en TP de physique de première année universitaire : Influence du contexte et effet de rétroaction. Education. Université de Grenoble, 2010. Français. NNT: . tel-00469464

HAL Id: tel-00469464

<https://theses.hal.science/tel-00469464>

Submitted on 1 Apr 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE GRENOBLE
Ecole Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement

Thèse de Doctorat

Spécialité

Ingénierie de la Cognition, de l'Interaction, de l'Apprentissage et de la Création

présentée par

Clément MAISCH

**Etude des raisonnements d'étudiants sur la mesure
en TP de physique de première année universitaire :
Influence du contexte et Effet de rétroaction**

Thèse dirigée par :

Nicolas BALACHEFF, CNRS, directeur
Muriel NEY, CNRS, co-directrice

Présentée et soutenue publiquement le mercredi 10 février 2010 devant le jury composé de :

Rapporteurs :

Mme. Angélique DIMITRACOPOULOU, University of the Aegean, Grèce
M. Ludovic MORGE, Université Blaise Pascal, Clermont II,
IUFM d'Auvergne

Examineurs :

Mme. Claudine KAHANE, Université Joseph Fourier-Grenoble 1
M. Wouter Van JOOLINGEN University of Twente, Pays-Bas
M. Nicolas BALACHEFF CNRS
Mme. Muriel NEY CNRS

Invités :

M. Jean-Louis LEVIEL Université Joseph Fourier-Grenoble 1

Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG)

Remerciements à ...

... Aux membres de mon jury d'avoir bien voulu passer du temps sur ce travail et me fournir des analyses critiques, m'ouvrant de nouveaux champs de réflexions.

... Muriel Ney, pour sa présence depuis mon stage de master 2 jusqu'à maintenant, que ce soit dans les coups durs ou les moments de découvertes.

... Nicolas Balacheff, pour ses commentaires et ses analyses de mes productions pas toujours très lisibles.

... L'équipe enseignante des TP de physiques de l'UE PHY110 de l'UJF pour m'avoir accueillis pour effectuer mes expérimentations ainsi que pour leur retour sur cette expérience.

... Ton de Jong et Wouter van Joolingen avec qui j'ai pu construire une autre vision de mes recherches et définir mes expérimentations et mon analyse des données. Je remercie aussi toute l'équipe du département Instructional Technology de l'université de Twente pour son accueil.

... Toute l'équipe MeTah avec qui j'ai passé ces 4 ans, pour leurs discussions longues et fructueuses, leurs retours, leur bonne humeur et surtout pour leur soutien durant tout ce temps.

... A Sarah Goury qui, lors de son mémoire de Master 2, a pu explorer plus en avant une partie de mes données. Et à Baptiste Mertens, qui a bien voulu me prêter un peu de son temps pour tester mon système classification.

... A famille pour avoir supporté mes coups de nerfs, d'angoisse, de joie lors de toute cette aventure (surtout à toi, maman, pour avoir relu avec patience mes différents documents).

... A tout mes amis, qui de près (voir de très près) ou de loin m'ont permis d'achever ce travail, que ce soit en s'impliquant directement dans le sujet ou juste en me permettant de me reposer.

Table des matières

Remerciements	1
Table des matières	3
Préambule	9
A. INTRODUCTION.....	10
B. CADRE THEORIQUE ET ETAT DE L'ART	14
B.1. <i>Métrologie, science de la mesure, savoir expert</i>	14
B.1.1. Généralité sur la mesure	14
B.1.2. Un savoir expert : la métrologie	15
<i>B.1.2.1. Vue globale de la métrologie</i>	16
<i>B.1.2.2. Définition du vocabulaire</i>	16
<i>B.1.2.3. Deux approches de la mesure dans le cadre métrologique</i>	17
B.1.2.3.a. L'approche « erreur »	17
B.1.2.3.b. L'approche « incertitude »	17
<i>B.1.2.4. Deux thèmes de la métrologie.</i>	18
B.1.2.4.a. L'étude des unités et des étalons	18
B.1.2.4.b. La méthode du Guide de l'expression de l'Incertitude d'une Mesure (GUM).....	19
B.2. <i>Enseignement et apprentissage de la mesure, les raisonnements des étudiants</i>	20
B.2.1. L'enseignement de la mesure	20
<i>B.2.1.1. Une histoire du mesurage dans l'enseignement dans les Travaux Pratiques de physique depuis un siècle</i>	20
<i>B.2.1.2. L'enseignement de la mesure dans le bulletin officiel</i>	22
B.2.2. Les raisonnements communs.....	24
B.2.3. Les thèmes de la recherche sur l'enseignement de la mesure.....	25
<i>B.2.3.1. La mesure comme activité transversale aux sciences : son rôle dans la vision de la Nature des Sciences</i>	26
<i>B.2.3.2. Problèmes des étudiants dans l'apprentissage de la mesure</i>	27
B.2.3.2.a. Problèmes généraux	27
B.2.3.2.b. Mesurage et vocabulaire	28
B.2.3.2.c. Raisonnements des étudiants à propos de la mesure.....	28
<i>B.2.3.3. Besoin de placer les étudiants dans un cadre probabiliste</i>	29
B.2.4. Conclusion sur les études portant sur l'enseignement de la mesure.....	31
B.3. <i>Théorie des situations didactiques et élaboration de protocoles</i>	32
B.3.1. La théorie des situations didactiques et les rétroactions.....	32
<i>B.3.1.1. Théorie des situations didactiques dans l'enseignement de la mesure</i>	32
<i>B.3.1.2. Rétroactions</i>	34
B.3.2. Elaboration de protocoles et un outil d'aide à l'élaboration.....	36
<i>B.3.2.1. Utilité des situations d'enseignement en laboratoire par rapport aux situations en salle de TD</i>	36

B.3.2.2. L'élaboration de protocoles expérimentaux	38
B.4. Conclusion de l'état de l'art.....	41
C. PREMIERE EXPERIMENTATION : cohérence des raisonnements des étudiants par rapport à l'acte de mesurage dans différents contextes	43
C.1. Problématique.....	43
C.2. Questions.....	43
C.3. Méthodologie d'expérimentation.....	44
C.3.1. Justification de la méthodologie et description de l'expérimentation	44
C.3.2. Echantillon d'étudiants	45
C.3.3. Conditions expérimentales.....	45
C.3.3.1. Organisation temporelle	45
C.3.3.2. Types de données recueillies.....	45
C.3.4. Description de l'expérimentation.....	46
C.3.4.1. Objectif.....	46
C.3.4.2. Description.....	47
C.3.5. Méthodologie d'analyse.....	49
C.4. Analyse a priori	51
C.4.1. Variables de la situation.....	51
C.4.1.1. Formes des situations.....	51
C.4.1.2. Destinataire du protocole	53
C.4.2. Les variables didactiques du TP d'optique	53
C.4.3. Deux contextes différents	59
C.4.4. Protocoles à exécuter dans la situation d'évaluation	59
C.5. Résultats.....	60
C.5.1. Raisonnements des étudiants dans les trois situations	60
C.5.2. Indépendance des raisonnements selon les situations.....	61
C.6. Discussion	62
C.6.1. P, M, S : un modèle suffisant pour classer les raisonnements ?	62
C.6.2. Différents raisonnements dans différentes situations	63
C.6.3. Dépendance des raisonnements	64
D. DEUXIEME EXPERIMENTATION : influence de l'introduction de rétroactions facilitatrices pour améliorer les raisonnements des étudiants	66
D.1. Problématique	66
D.2. Questions.....	67
D.3. Méthodologie	68
D.3.1. Organisation de la collecte des données	69

D.3.1.1. Echantillon d'étudiants.....	69
D.3.1.2. Organisation temporelle.....	70
D.3.1.3. Types de données recueillies.....	70
D.3.2. Description de l'expérimentation	70
D.3.2.1. Questionnaire (T0).....	70
D.3.2.2. Protocole d'optique (T1, T2)	71
D.3.2.3. Protocole de mécanique (T3).....	74
D.3.3. COPEX dans l'expérimentation	74
D.3.3.1. Missions dans les deux cas	75
D.3.3.2. Espace « Exploration ».....	76
D.3.3.3. Espace « Résultats »	72
D.3.3.4. Espace « Elaboration » de protocole	78
D.3.4. Méthodologie d'analyse	79
D.3.4.1. Modèle de raisonnement et méthodologie de classement.....	81
D.3.4.2. Analyse de l'expérimentation.....	83
D.3.4.3. Raisonnements dans les protocoles	84
D.3.4.3.a. Utilisation des raisonnements en fonction des groupes, des situations et des étapes du protocole.....	84
D.3.4.3.b. Analyse par score	85
D.3.4.3.c. Analyse par score en fonction des étapes.....	85
D.3.4.3.d. Recherche des actions classées comme Ensemble-Bayésien.....	86
D.4. Analyse apriori.....	86
D.4.1. Connaissances requises.....	86
D.4.2. Domaines	86
D.4.2.1. Expérience d'optiques.....	86
D.4.2.2. Expérience de mécanique	91
D.4.2.3. Des domaines différents, un acte de mesurage similaire	93
D.4.3. Rétroactions	96
D.4.3.1. Liste d'indices et de masses volumiques.....	96
D.4.3.2. Liste de résultats	97
D.4.3.3. Un protocole de qualité moyenne	98
D.4.4. Stratégies attendues	100
D.4.4.1. Evolution des stratégies du groupe ne recevant pas de rétroaction spécifique	100
D.4.4.2. Evolution des stratégies du groupe recevant une liste de résultat	100
D.4.4.3. Evolution des stratégies du groupe recevant un protocole de type Mixte-Approché	101
D.5. Résultats.....	101
D.5.1. Résultats bruts.....	101
D.5.1.1. Raisonnements utilisés par les étudiants dans cette expérimentation	101
D.5.1.2. Raisonnements utilisés par les trois groupes selon les situations	102
D.5.1.3. Raisonnements utilisés dans les 7 étapes.....	103
D.5.1.3.a. Sur l'ensemble des situations	103
D.5.1.3.b. Selon les 3 situations.....	104
D.5.2. Scores	105
D.5.2.1. Evolution du score des trois groupes en fonction des différentes Situations	105
D.5.2.1.a. Evolution des scores au long des trois situations	105

D.5.2.1.b. Test de Kruskal-Wallis sur les scores	106
D.5.2.2. <i>Evolution des variations des scores des trois groupes entre les trois Situations</i>	107
D.5.3. Scores en fonction des étapes	107
D.5.3.1. <i>Étapes 1 et 3 : principe et schématisation de l'expérimentation</i>	108
D.5.3.2. <i>Étapes 2 et 7 : choix du matériel, interprétation du résultat et prise de décision</i>	108
D.5.3.2.a. Etape 2	108
D.5.3.2.b. Etape 7	110
D.5.3.3. <i>Étapes 4, 5 et 6 : réglage des instruments, recueil et analyse des données</i>	111
D.5.3.3.a. Etape 4	111
D.5.3.3.b. Etape 5	112
D.5.3.3.c. Etape 6	115
D.5.4. La classification Ensemble-Bayésien	117
D.6. Discussion	117
D.6.1. Les raisonnements des étudiants dans l'expérimentation	117
D.6.1.1. <i>Les raisonnements et les groupes</i>	117
D.6.1.2. <i>Les raisonnements et les étapes</i>	118
D.6.1.2.a. Trois groupes d'étapes	119
D.6.1.2.b. Scoring des étapes	120
D.6.1.3. <i>Les raisonnements et les thèmes</i>	120
D.6.1.3.a. Dépendance entre les scores et les thèmes	121
D.6.1.3.b. Thèmes majeurs	121
D.6.2. Les outils de diagnostic	122
D.6.2.1. <i>Le modèle des raisonnements</i>	122
D.6.2.2. <i>Les situations</i>	123
D.6.2.2.a. Du point de vue de la méthodologie	123
D.6.2.2.b. Spécificités des situations	123
D.6.3. Des rétroactions pour faire évoluer les raisonnements	124
D.6.3.1. <i>Impact sur les raisonnements dans l'expérimentation</i>	124
D.6.3.2. <i>Effet du contenu des rétroactions</i>	125
D.6.3.2.a. Selon leur forme	125
D.6.3.2.b. Effet sur les thèmes utilisés	125
D.6.3.3. <i>Timing des rétroactions</i>	126
D.6.3.4. <i>Caractérisation des rétroactions utilisées</i>	126
E. CONCLUSION	129
E.1. <i>Résultats</i>	129
E.1.1. Différents raisonnements selon le contexte	129
E.1.2. Effet des rétroactions	130
E.1.3. L'élaboration d'un protocole de mesurage	130
E.1.3.1. <i>Les étapes</i>	130
E.1.3.2. <i>Les thèmes</i>	131
E.1.4. Le raisonnement Ensemble-Bayésien	132
E.2. <i>Comparaison entre la première et la seconde expérimentation</i>	132

E.3. Validité de l'outil de diagnostic.....	133
E.4. Influence des variables didactiques utilisées dans les rétroactions.....	134
E.5. Perspectives	134
F. BIBLIOGRAPHIE	137
G. ANNEXES	141
G.1. Annexe 1 : Vocabulaire métrologique (JCGM-VIM, 2008)	141
G.2. Annexe 2 : Première expérimentation	143
G.2.1. Situation Q : questionnaire	143
G.2.2. Situation D et E.....	148
G.2.2.1. Situation D : élaboration de protocole.....	153
G.2.2.2. Situation E : exécution et évaluation	158
G.2.3. Protocole introduit pour la situation E, l'Evaluation.....	163
G.2.3.1. Protocole relatif au raisonnement « Point »	163
G.2.3.2. Protocole relatif au raisonnement « Mixte ».....	164
G.2.3.3. Protocole relatif au raisonnement « Set »	166
G.2.4. Les schèmes de codages dans la situation Q	169
G.2.4.1. Pour la question RD	169
G.3. Annexe 3 : Deuxième Expérimentation	174
G.3.1. la situation T0	174
G.3.2. Exemple de grille d'analyse	184
G.3.3. Rétroaction pour le groupe C : Un protocole insuffisant suivant un raisonnement Mixte-Approché	190

Préambule

La discussion qui suit a eu lieu lors du rangement du local d'une association. L'objectif de cette association est de fournir à ses adhérents les moyens de réparer par eux-mêmes leur vélo. Durant ce rangement, une amie classait des rayons de roue selon leur taille. Cet exercice est compliqué car la lecture de la longueur du rayon nécessite une bonne exactitude ($\pm 3\text{mm}$). Si le rayon est trop long il risque de percer la chambre à air, s'il est trop court il risque de ne pas pouvoir être fixé correctement. Après avoir passé sa journée à trier les rayons, je m'approche d'elle et entame une petite conversation :

«

- Ben ça à l'air de t'avoir pris du temps à trier tout ça !
- Ouais, mais bon c'est pas bien facile. C'est compliqué de faire le tri. Leurs longueurs sont vraiment proches et avec la règle [en montrant un double-décimètre en fer], c'est pas facile de bien repérer leur bonne longueur.
- Ah j'imagine bien. Mais t'as fait comment alors pour les classer [en montrant les différents pots dans lesquels reposaient les rayons selon leur taille, indiquée par une étiquette] ?
- Ben, je les ai mesurés puis je les ai répartis selon leur taille, pourquoi ?
- Non, mais je veux dire que chacun des rayons ne devait pas forcément correspondre à chacune des tailles que tu avais fixées à l'avance.
- Oh oui ! Au début je ne gardais que ceux qui tombaient exactement sur la graduation et je mettais les autres de côtés.
- Ah ok ... Mais ça a dû te faire un tas important de non-classés ?
- Ben oui.
- Alors tu as fait comment ?
- Ben, je les ai remesurés
- Et ?
- Ben je regardais ceux qui étaient les plus proches d'une des tailles que je classe [en montrant les pots et le double-décimètre].
- Ah ok. Mais tu as définis comment que ce soit proche ou pas ?
- Oh ben à deux ou trois millimètres près.
- Tu as réussi à le lire sur la règle ?
- Ben, c'est pas facile, c'est pour ça que je me suis mise sous la lumière. Puis pour la lecture c'est un peu à la louche au niveau de la graduation du millimètre. Je t'ai dit, deux ou trois millimètres près. Des fois c'est moins, des fois c'est plus.
- Ouais pas bien facile... et sur la manière dont tu prenais ta décision ça se recoupait pas ?
- non, ça va. Pis je laisse un peu plus de marge quand le rayon est plus petit. C'est moins grave, s'il est trop long tu crèves, donc c'est plus gênant.
- Ouais je comprends. Tu t'es quand même bien creusée la tête pour ton classement, en fait.
- Ouais un peu, mais j'ai pas trop le choix. Si je le fais mal il faudra le refaire. Donc autant le faire bien. Pis ça aidera les gens pour choisir parce que c'est toujours compliqué de choisir le bon.

»

A. Introduction

La mesure existe sous de nombreuses formes selon son utilisation dans la vie courante, dans les sciences humaines et sociales, dans les sciences expérimentales ou alors dans le monde industriel. Dans notre cas, nous nous intéressons à la mesure dans le cadre des sciences expérimentales. Plus exactement, notre attention se porte sur la mesure utilisée par les étudiants durant leurs études en sciences expérimentales et, comme l'explique Perdijon (2004, p.1), « *Nous nous limiterons à la mesure physique des objets matériels* ». Dans ce cadre, les mesures portent sur des propriétés, des caractéristiques d'un phénomène ou d'un corps, c'est-à-dire des grandeurs physiques.

L'histoire des sciences montre une évolution allant d'une science basée sur une observation empirique des phénomènes, vers celle recherchant une quantification exacte de ceux-ci, pour terminer par une estimation probabiliste. Cette transformation a été permise par l'évolution et l'amélioration des instruments d'observation rendus possibles par l'amélioration des techniques et des théories sous-jacentes.

La mesure utilisée par le scientifique, par exemple le physicien, a pour objectif de permettre d'établir un diagnostic, de déterminer une loi, de démontrer la véracité d'un raisonnement.

Le premier aspect que la mesure revêt est celui d'un outil relié au domaine dans lequel le scientifique effectue ses observations à l'aide d'instruments appropriés. Cet outil, la science de la mesure, est donc pluridisciplinaire en soi, mais sa spécificité est définie sous le nom de métrologie.

Le second aspect concerne le fait de définir une grandeur réelle sous la forme d'un nombre, autrement dit : « *de passer d'un espace continu du Réel à l'espace discret du Connu.* » (Perdijon, 2004, p.2). Cette science est donc constituée d'outils mathématiques, tels que les statistiques ou les calculs de probabilité, qui prennent une place importante dans la question de la validité des méthodes utilisées.

Enfin, le troisième et dernier aspect se retrouve dans la position de l'acte de mesurage. Celui-ci est un lien entre la réalité et la théorie, c'est-à-dire entre la grandeur que le scientifique tente de modéliser et celle qui existe dans la réalité. Cette réalité peut être considérée, ici, comme le monde des objets et des phénomènes observables. L'observation de cette grandeur doit permettre de valider, de corriger ou d'abandonner le modèle proposé. L'acte de mesurage correspond à l'exploration de la réalité à l'aide d'instruments permettant de l'observer. Cet acte ne peut donc que se situer dans l'expérimental. Il décrit des actions à effectuer, qu'elles soient théoriques (application du modèle, utilisation d'outils mathématiques) ou pratiques (liées à l'utilisation de l'instrumentation), de manière à répondre à une question initialement posée mettant en jeu une grandeur à mesurer.

Je suppose que l'enseignement de la mesure doit recouvrir ces trois aspects pour permettre aux étudiants de comprendre l'acte de mesurage.

En France, l'enseignement de la mesure sous sa forme scientifique, c'est-à-dire la métrologie, n'est officiellement exprimé qu'à partir du niveau universitaire (Cotteret, 2003). Durant les années qui précèdent, cet enseignement existe mais est intégré dans les enseignements de mathématiques et de sciences expérimentales. Lors de l'examen final du secondaire (baccalauréat), les étudiants sont censés avoir maîtrisé la mesure sous ses trois enjeux (Séré, 2008) : les activités de mesurages (liées à l'instrumentation, entre autre, et à sa manipulation), le traitement de la mesure effectuée (l'utilisation d'outils mathématiques pour obtenir des informations), et l'utilisation de la mesure pour répondre à un problème (vérifier une loi, induire un modèle, répondre à une question technique).

Dans ce document, une première partie me permet de détailler le cadre expert, c'est-à-dire la métrologie, en expliquant son vocabulaire spécifique et certains de ses thèmes de travail. Deux approches (erreurs et incertitudes), qui permettent de mieux comprendre les raisonnements utilisés par les étudiants, sont aussi explicitées. Puis je décris les différentes études menées par d'autres chercheurs sur ce thème, en commençant par l'enseignement de la mesure lors du dernier siècle et dans l'enseignement primaire et secondaire. La suite concerne les problèmes rencontrés par les étudiants à propos de la mesure, les relations qui existent entre leurs vues de la science et la mesure, et les différentes manières dont les raisonnements des étudiants ont pu être classés. Pour terminer, je détaille les éléments théoriques qui me permettent d'élaborer mes situations expérimentales telles que la théorie des situations didactiques et les rétroactions, ainsi qu'un exposé sur l'intérêt de faire élaborer des protocoles expérimentaux par les étudiants.

Dans l'enseignement français, l'expérimentation liée à l'acte de mesurage est tout d'abord utilisée pour illustrer des problèmes mathématiques. Puis, lors des trois dernières années de l'enseignement secondaire, elle permet de présenter les problèmes liés aux erreurs ainsi que l'utilisation de l'instrumentation telles que les variabilités des mesures. L'enseignement des travaux expérimentaux utilise la mesure mais ne la décrit pas comme un domaine de connaissances spécifiques. Je m'interroge donc sur les connaissances que les étudiants ont de l'acte de mesurage, ainsi que de son possible apprentissage dans un contexte de Travaux Pratiques en première année universitaire.

Tout d'abord, je me demande (1) comment les étudiants utilisent leurs connaissances en fonction des contextes d'apprentissage dans lesquels ils se trouvent : lorsqu'ils ont à répondre à un questionnaire en TD, ou lorsqu'il ont à élaborer un protocole de mesurage de manière autonome en TP.

En effet, différentes études ont abordé le problème de l'apprentissage de la mesure. Certaines ont relevé les problèmes auxquels les étudiants sont confrontés lorsqu'ils ont à se pencher sur l'acte de mesurage. Ces études ont décrit différentes manières de faire travailler les étudiants sur la mesure, que ce soit lors d'exercices pratiques impliquant des manipulations ou durant des exercices théoriques en répondant à des questionnaires. Les auteurs ont aussi décrit différentes manières de classer les raisonnements utilisés par les étudiants ainsi que les problèmes qu'ils rencontrent.

Mais dans la majorité des cas, ces études n'ont observé les stratégies des étudiants qu'à l'aide d'outils (tels que des questionnaires) ne les engageant pas dans des situations de résolution expérimentale.

Afin d'élargir l'étude des raisonnements à l'ensemble des situations de mesurage, nous avons élaboré une première expérimentation mettant en jeu des problèmes impliquant la pratique de l'acte de mesurage. Celle-ci est décrite dans la seconde partie de ce document. Dans cette première expérimentation, je compare les stratégies utilisées par les étudiants quand ils répondent à un questionnaire et quand ils élaborent de manière autonome un protocole de mesure pour une expérience d'optique (basée sur la loi de Snell-Descartes). Nous avons conçu cette expérience avec l'objectif de permettre aux étudiants de s'intéresser aux problèmes de la mesure. Afin de pouvoir comparer les stratégies utilisées par les étudiants, nous les avons classées selon un modèle de raisonnement définissant trois raisonnements :

- un raisonnement *Point* : il existe une vraie valeur qui peut-être obtenue à l'aide d'une seule mesure,
- un raisonnement *Mixte* : quelques mesures sont suffisantes pour obtenir une valeur proche d'une valeur de référence,
- un raisonnement *Ensemble* : recueil d'un ensemble de valeurs suffisamment large pour

effectuer un traitement statistique des données et définir un intervalle de valeurs qui puisse prendre en compte les incertitudes associées.

D'autre part, les études précédentes ont décrit différents raisonnements majoritaires suivant que les étudiants résolvaient des problèmes de traitement des données ou des problèmes liés à l'utilisation de la mesure. Ainsi, dans certaines de ces études, les étudiants suivaient des raisonnements proches d'un raisonnement expert alors que dans d'autres, ils s'approchaient d'un raisonnement commun. Ces raisonnements semblent être influencés par l'enjeu de la mesure sous-jacent à la tâche à effectuer. Pour cette raison, je me suis demandé (2) si les étudiants étaient capables de développer des stratégies identiques dans les différentes étapes de l'acte de mesurage lorsqu'ils élaborent un protocole. De plus, je me suis interrogé (3) sur la capacité des étudiants à s'intéresser aux trois enjeux de la mesure décrits par Séré (2008). Une autre question (4) a été posée dans laquelle je me suis demandé si les étudiants étaient capables d'améliorer leurs stratégies en recevant des rétroactions épistémiques spécifiques lors de leur élaboration de protocole.

Afin de répondre à ces questions, nous avons élaboré une seconde expérimentation. Celle-ci est présentée dans la troisième partie. Les étudiants ont eu à élaborer un protocole de mesure portant sur une expérience d'optique (similaire à celle de la première expérimentation) dans laquelle ils pouvaient manipuler le matériel mis à leur disposition. Ensuite, ils avaient à élaborer un protocole de mesurage portant sur une expérience de mécanique (sur le principe d'Archimède) sans pouvoir manipuler les instruments. Cette expérience se différencie de l'expérience d'optique par son domaine mais le problème de mesurage est similaire.

Pour cette expérimentation, les stratégies des étudiants ont été classées à partir d'un modèle de raisonnement proche de celui utilisé dans la première expérimentation. Dans ce nouveau modèle, les trois raisonnements existent encore, mais leur définition s'est étoffée de caractéristiques liées à la vision qu'ont les étudiants de la nature de la valeur mesurée et du résultat obtenu. Les étapes du protocole à élaborer correspondent aux différents enjeux de l'acte de mesurage.

D'autre part, le fait que les étudiants modifient leur raisonnement en fonction du contexte, m'a encouragé à explorer les effets que pourraient avoir la forme du contexte dans lequel les étudiants évoluent pour leur apprentissage de nouvelles connaissances. Pour cela, je me suis appuyé sur la théorie des situations didactiques décrite par Brousseau (1998), ainsi que les travaux effectués sur les rétroactions; (Shute, 2007, Luengo, 2009). Dans ces études, l'environnement dans lequel l'étudiant évolue l'amène à repenser et modifier ses connaissances afin de pouvoir dépasser un obstacle à l'aide d'une nouvelle stratégie. Cet obstacle, appelé rétroaction, peut être décrit de diverses manières, selon l'intention de l'utilisateur, la manière de transmettre le message, les conséquences dues à la rétroaction, ... Dans cette seconde expérimentation, deux rétroactions épistémiques (portant sur les connaissances) ont été introduites.

Pour répondre aux questions 2 et 3, nous avons observé la manière dont les étudiants remplissent les différentes étapes du protocole. Ainsi nous avons pu distinguer les enjeux que les étudiants privilégiaient et la manière dont ils les traitaient selon notre modèle de raisonnement.

Pour répondre à la question 4, nous avons examiné l'impact des deux rétroactions, notamment en observant si elles permettaient aux étudiants d'améliorer le raisonnement de la stratégie qu'ils utilisent pour élaborer leur protocole de mesurage et les conditions qui rendaient cette amélioration possible ou difficile.

B. Cadre théorique et Etat de l'art

Afin de pouvoir situer l'apprentissage de la mesure dans les TP de physique en première année universitaire, je m'intéresse à la littérature traitant de ce sujet. Pour cela je décris tout d'abord la mesure de manière générale (son histoire et sa présence dans la vie quotidienne), puis sous son aspect scientifique, celui de la métrologie (son vocabulaire, ses différentes approches et ses activités). Ensuite je regarde les enseignements des différents problèmes engendrés par l'acte de mesurage et la position qu'ont les apprenants par rapport à ces problèmes. Ces problèmes sont principalement liés à la mise en place d'un acte de mesurage, la mise en œuvre de cet acte, l'obtention d'un résultat et son interprétation. Enfin, je décris la théorie didactique des situations définissant les relations entre l'apprenant et le milieu, ainsi que les types de rétroaction qui peuvent être donnés aux apprenants (c'est à dire les informations qui permettent de modifier leurs comportements ou réflexions). Puis j'expose l'intérêt de situations de travaux de laboratoire dans l'enseignement scientifique et met en avant la démarche d'élaboration de protocoles expérimentaux mise en pratique par les apprenants.

B.1. Métrologie, science de la mesure, savoir expert

B.1.1. Généralité sur la mesure

« *Du monde de l'à-peu-près à l'univers de la précision* », titre d'un article d'Alexandre Koyré (1948), évoque, en une formule rapide, le rôle de la mesure et de son instrumentation dans le développement de la physique. La mesure est l'un des socles de la vie sociale, politique et économique. Elle permet les échanges, la gestion des ressources, l'expression d'un pouvoir par le contrôle sur les instruments et le choix des unités (Jedrejewski, 1998). Cependant, si elle naît avec les premières activités organisées des communautés humaines, elle ne prendra sa signification moderne en physique qu'assez tard, à la fin du XVI^e siècle, pour répondre à des questions d'astronomie et d'optique soulevant des problèmes à la fois d'instrumentation et de confiance dans les résultats obtenus (par exemple les premiers travaux de Galilée sur la vitesse de la lumière). C'est à la fin du XVIII^e siècle, sous l'impulsion d'une convergence d'intérêts économiques, politiques et scientifiques, que sont posés des problèmes de référence pour lesquels les scientifiques apporteront les premières réponses. La question de la mesure, sa conceptualisation et ses pratiques, est regardée pour elle-même, donnant naissance à ce que l'on appellera plus tard la *métrologie*. Ce rôle des scientifiques s'accroît jusqu'à leur permettre de prendre le contrôle des unités et de fixer un système d'unités qui sera organisé et défini durant le XX^e siècle par l'organisation internationale de normalisation (*International standard organisation*, ISO).

Perdijon (2004) note aussi que dans la pratique actuelle, il existe deux caractères mesurés : les grandeurs physiques et les grandeurs d'opinions. La mesure va donc interroger ces grandeurs de deux manières différentes : à l'aide d'appareils basés sur des lois de la physique, ou à l'aide de questionnaire à base de langage. Trois catégories de

procédés sont définies par l'auteur : les instruments, les indicateurs et les enquêtes. Ces trois catégories peuvent permettre d'étudier une même grandeur mais aussi d'en tirer des conclusions différentes. Les différents domaines des sciences en général utilisent plus spécifiquement une de ces catégories. Ainsi les indicateurs et enquêtes vont plus être des outils des sciences humaines alors que les instruments (ou à défaut les indicateurs) seront plus utilisés par les sciences dures.

Dans l'étude présentée ici, je m'intéresse exclusivement à la mesure dans le cadre de la physique, c'est-à-dire la mesure de grandeurs physiques à l'aide d'instruments et de lois de la physique.

La mesure tient une place importante en physique. Permettant la quantification des interactions et relations entre les objets de l'observation, elle participe à la construction de modèles manipulables par des outils mathématiques et, par là, à la possibilité de déterminer une qualité à partir d'une quantité (Perdijon, 2004). Effectuer une mesure produit un nombre dont la signification dépend à la fois de la qualité d'un modèle et des théories qui le sous-tendent, et de la qualité des instruments et de leur manipulation. Théorie, mesure et instrument sont indissociables. Les exemples historiques sont nombreux. Ainsi, la controverse entre Descartes et Fermat sur la vitesse de la lumière selon la densité du milieu (Dioptrique, 1637) ne pourra être tranchée qu'après un progrès des théories de l'optique (notamment Fresnel) et la disponibilité d'instruments appropriés (Foucault, en 1850, donnera finalement raison à Fermat). La mesure réalisée dans un cadre expérimental contrôlé peut permettre d'apporter une « preuve », ce que le débat théorique ne pouvait faire à lui seul. L'intérêt de cette preuve passe par l'exactitude, la reproductibilité et la confiance dans la mesure qui a permis de l'obtenir. Ces trois aspects de la mesure sont donc des aspects importants des expériences scientifiques.

B.1.2. Un savoir expert : la métrologie

Dans la vie de tous les jours, la mesure dans toutes ses formes est omniprésente. Que ce soit dans des sondages d'opinion, des références à des indicateurs boursiers, ou simplement dans l'utilisation d'une balance pour mesurer le poids de la tranche de bœuf que l'on va payer, elle nous fournit des informations sur notre environnement en nous permettant de le quantifier. La nécessité d'une mesure précise dépend essentiellement du problème posé par la transaction effectuée ou plus exactement, de la crédibilité de l'information obtenue par cet acte de mesurage. Mais d'un point de vue scientifique la mesure d'une même grandeur peut être effectuée différemment afin de répondre de manière plus exacte à différents problèmes. Cet acte de mesurage nécessite d'avoir un avis critique sur la grandeur mesurée et le phénomène auquel elle est liée. Comme le dit Nota (2002), « *Il faut beaucoup de physique pour mesurer en physique et beaucoup de mesure pour construire un instrument de mesure.* » Il décrit la mesure comme « [...] *une organisation de savoirs et de savoir-faire [...] destinée à rendre possible le mesurage et son résultat.* » Les savoirs et savoir-faire liés à la mesure sont étudiés dans le cadre de la science qui lui est dédié : la métrologie.

B.1.2.1. Vue globale de la métrologie

La métrologie s'intéresse à la mesure pour elle-même, dans ses aspects conceptuels et pratiques (et non du point de vue d'un domaine spécifique tel que l'optique, la mécanique, etc...). Sur son site internet¹, la métrologie française explique que :

« [...] la métrologie scientifique se préoccupe d'effectuer des recherches amont pour de nouvelles références, mais aussi de la réalisation, la conservation, l'amélioration et le transfert des références métrologiques. Cette activité qui est celle des laboratoires nationaux de métrologie, est en amont de toute application technologique. Elle implique donc de se tenir à l'écoute des évolutions incessantes dans le domaine des processus industriels ou dans celui des applications, notamment celles qui sont liées à la santé ou à l'environnement. » (la métrologie française, intérêt de la métrologie, consulté le 8 octobre 2009).

La métrologie permet le développement des sciences expérimentales en définissant des unités, des étalons et des protocoles assurant la compréhension d'un résultat et sa reproductibilité par la communauté scientifique. Les métrologistes travaillent essentiellement sur trois domaines de la mesure. Le premier domaine concerne l'amélioration des définitions des unités et des étalons afin de les rendre plus stables en utilisant des améliorations techniques et théoriques (par exemple en remplaçant le mètre-étalon en platine par la distance parcourue par la lumière en $1/299\,792\,458$ s, dans le vide). Le second domaine correspond à l'élaboration d'outils théoriques afin d'améliorer l'estimation d'une grandeur au travers d'un protocole de mesure. Le troisième domaine porte sur la définition de protocoles de référence permettant à un opérateur d'obtenir la meilleure estimation de la grandeur mesurée à l'aide des erreurs et des incertitudes (le choix du protocole de mesure, la définition des sources d'erreurs, le type d'erreurs, la manière de les estimer et la manière de les représenter à l'aide de fonction de densité de probabilité).

B.1.2.2. Définition du vocabulaire

La troisième édition du « Vocabulaire International de Métrologie – concepts fondamentaux et généraux et termes associés », a été établie par le « Joint Committee for Guides in Metrology » (JCGM, composé de huit organisations représentatives²). D'après le JCGM : « Ce vocabulaire se propose d'être une référence commune pour les scientifiques et les ingénieurs — y compris les physiciens, chimistes et biologistes médicaux — ainsi que pour les enseignants et praticiens, impliqués dans la planification ou la réalisation de mesurages, quels que soient le domaine d'application et le niveau d'incertitude de mesure. Il se propose aussi d'être une référence pour les organismes

¹ <http://www.metrologiefrancaise.fr/fr/histoire/interet-metrologie.asp> , consulté le 15 octobre 2009

²Bureau International des poids et mesures (BIPM),
International Electrotechnical Commission (IEC),
International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (IFCC),
International Organization for Standardization (ISO),
International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC),
International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP),
International Organization of Legal Metrology (OIML),
and International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

gouvernementaux et intergouvernementaux, les associations commerciales, les comités d'accréditation, les régulateurs et les associations professionnelles. » (JCGM-VIM, 2008, p. 1)

Les principaux concepts de la mesure utilisés dans cette étude sont décrits en annexe (voir Annexe 1). Ce vocabulaire permet de définir des objectifs de mesurage à l'aide d'une terminologie de référence :

« The objective of a measurement is to determine the value of the measurand that is, the value of the particular quantity to be measured. A measurement therefore begins with an appropriate specification of the measurand, the method of measurement, and the measurement procedure. » (JCGM-GUM, 2008, p. 4)

B.1.2.3. Deux approches de la mesure dans le cadre métrologique

Selon le JCGM, il existe différentes philosophies et descriptions de la mesure. Les deux principales approches sont liées à l'incertitude de mesure.

B.1.2.3.a. L'approche « erreur » (aussi appelée approche traditionnelle ou approche de la valeur vraie):

Dans cette approche, l'objectif du mesurage est de déterminer une estimation de la valeur vraie aussi proche que possible de cette valeur vraie. Les imperfections dans un mesurage sont appelées erreurs. Les erreurs sont composées de deux éléments. L'un est l'erreur aléatoire, due à des changements imprévisibles et non connus dans l'expérimentation. Ce type d'erreur ne peut pas être compensé mais peut être réduit en augmentant le nombre d'observations (par exemple, le décalage due au temps de réaction d'un opérateur manipulant un chronomètre). L'autre est l'erreur systématique, qui peut être éliminée mais pas réduite (par exemple, lorsque le zéro d'un appareil n'est plus à la bonne place). Le manipulateur doit donc reconnaître les effets systématiques influençant le résultat et déterminer des facteurs de correction pour compenser ces effets. Ainsi pour l'opérateur, *« On ne peut pas établir de règle indiquant comment les combiner [les types d'erreur] pour obtenir l'erreur totale caractérisant un résultat de mesure donné, celui-ci étant en général l'estimation. »* (JCGM-VIM, 2008b, p. ix).

B.1.2.3.b. L'approche "incertitude"

« Le concept d'incertitude, vu comme un élément quantifiable, est relativement nouveau dans l'histoire de la mesure, même si l'erreur et l'analyse d'erreur ont longtemps fait parti de la pratique de la science des mesures et la métrologie. » (JCGM-GUM, 2008b, p. vii).

Le JCGM définit les objectifs de l'incertitude de mesure de la manière suivante :

« L'objectif des mesurages dans l'approche « incertitude » n'est pas de déterminer une valeur vraie le mieux possible. On suppose plutôt que l'information obtenue lors d'un mesurage permet seulement d'attribuer au mesurande un intervalle raisonnable de valeurs, en supposant que le mesurage a été effectué correctement. »(JCGM-VIM, 2008b, pp.ix-x).

Cette approche suggère que :

« les composantes de l'incertitude de mesure soient groupées en deux catégories, type A et type B, selon qu'elles sont évaluées par des méthodes statistiques ou par d'autres méthodes, » (JCGM-VIM, 2008b, pp.ix-x).

Il est important de remarquer que ces deux types d'évaluations ne sont pas substitués aux erreurs aléatoires et systématiques, principalement parce que ces évaluations de la grandeur sont fondées sur des distributions (tel que les fonctions de densité de probabilité, fdp). Plus exactement, les fdp de type B sont basées sur le degré de croyance qu'un événement ait lieu.

L'objectif de la mesure peut être illustré par la figure suivante (Bindi, 2006, p.153) :

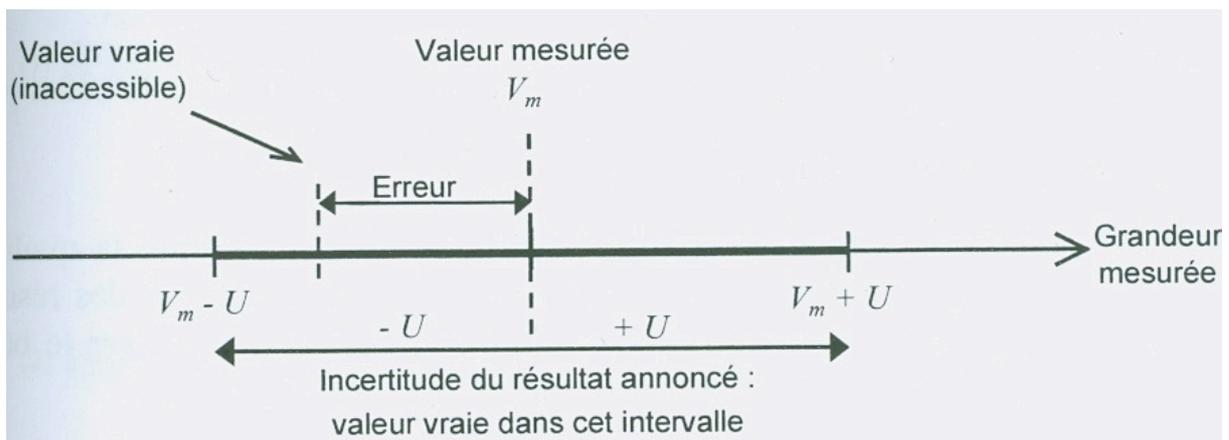


Figure 1. Résultat de mesure et incertitude associée (Bindi, 2006, p. 153)

Bindi (2006) explique que les incertitudes de type A sont basées sur des méthodes expérimentales et statistiques de séries d'une ou plusieurs observations, alors que les incertitudes de type B sont utilisées dans le cas où les incertitudes ne peuvent pas être évaluées avec des données expérimentales. Dès lors elles sont estimées à l'aide de toutes les informations disponibles sur le mesurande et le système de mesurage, tel que des résultats de mesures antérieures, spécification du fabricant d'instrument, des grandeurs d'influence, des étalonnages, par exemple.

B.1.2.4. Deux thèmes de la métrologie

Parmi l'activité des métrologues, deux thématiques peuvent être rapprochées de l'apprentissage de la mesure. La thématique des unités de mesure et des étalons est prédominante dans les travaux des métrologues et existent dans de nombreuses recherches sur l'apprentissage des sciences. La seconde thématique concerne la définition de procédures de référence de l'acte mesurage et, plus exactement, celle du guide de l'expression de l'Incertitude d'une Mesure (GUM).

B.1.2.4.a. L'étude des unités et des étalons

Les recherches sur l'étalonnage et la redéfinition d'unité, a pour objectif d'obtenir des références les plus stables possibles. La question de l'unité est essentielle dans la mesure

car elle est l'élément référent qui donne son sens à la valeur du résultat obtenu. L'étalon va permettre la stabilité de cette référence en fixant physiquement, théoriquement et socialement une valeur à l'unité pour une certaine grandeur.

Cet aspect de la mesure sera présent dans les expérimentations développées dans mon travail de thèse, mais ne sera pas étudié selon son aspect d'enseignement. La première des raisons est que les étudiants connaissent les problèmes d'unité depuis qu'ils ont commencés à étudier les sciences ainsi que dans leur environnement habituel. La seconde réside dans le fait que les problèmes d'étalonnages sont des problèmes spécifiques à la métrologie et sont fortement liée à des problèmes plus industriels ou de spécialité des domaines.

B.1.2.4.b. La méthode du Guide de l'expression de l'Incertitude d'une Mesure (GUM) :

Cette méthode se base sur quatre points afin d'être uniforme pour l'évaluation et l'expression des incertitudes partout dans le monde, ces quatre points sont : (1) d'être applicable à tous les types de mesures, et tous les types de grandeurs d'entrée, (2) d'être transférable et la grandeur utilisée doit être (3) dérivable de toutes ses composantes et (4) indépendante de leur structure,

La méthode GUM, publié par l'Organisation International de Standardisation (ISO), définit la manière de composer les incertitudes et leur propagation dans les calculs. Elle permet d'évaluer et d'exprimer les incertitudes associées à l'analyse de l'élaboration conceptuelle et théorique des expérimentations et des méthodes de mesure (JCGM-GUM, 2008). Elle s'appuie sur une approche dans laquelle la mesure peut être reconnue comme un problème de déduction où les probabilités sont utilisé pour construire des preuves à propos du mesurande en fonctions des données qui peuvent être obtenues (Pillay et al., 2008). Pillay, Buffler, Lubben et Allie (2008) mettent en avant de cette méthode, la notion de bilan d'incertitude (« uncertainty budget ») pour lister les sources d'erreur influençant la valeur du résultat, et les fonctions de densité de probabilités qui permettent de représenter les informations disponibles sur le mesurande. Ils concluent que l'utilisation d'éléments de cette méthode dans le cas du traitement des données permet d'améliorer la compréhension des incertitudes par les étudiants.

B.2. Enseignement et apprentissage de la mesure, les raisonnements des étudiants.

Dans cette partie de l'état de l'art, je me centre sur la manière dont les étudiants reconnaissent les problèmes de la mesure tels que la mise en place d'un acte de mesurage, son utilisation afin d'obtenir un résultat et son interprétation pour répondre au problème.

B.2.1. L'enseignement de la mesure

B.2.1.1. Une histoire du mesurage dans l'enseignement dans les Travaux Pratiques de physique depuis un siècle.

Séré (2008) retrace l'évolution de l'enseignement du mesurage au cours du vingtième siècle dans l'éducation secondaire à partir d'articles parus dans le Bulletin de l'Union des Physicien (BUP). Tout d'abord, elle décrit les principales démarches expérimentales qui ont encadrées le développement de la mesure. Ainsi la vision du lien entre la théorie et l'expérimentation a évolué, en passant d'une démarche où les enseignants concluent leur cours par une démonstration tenant lieu de preuve expérimentale, à une démarche où les étudiants manipulent les instruments dans des contextes de Travaux Pratiques (TP). Concernant l'évolution de cet enseignement dans le siècle précédent, Séré définit les principaux enjeux du mesurage à l'aide d'un schéma triangulaire :

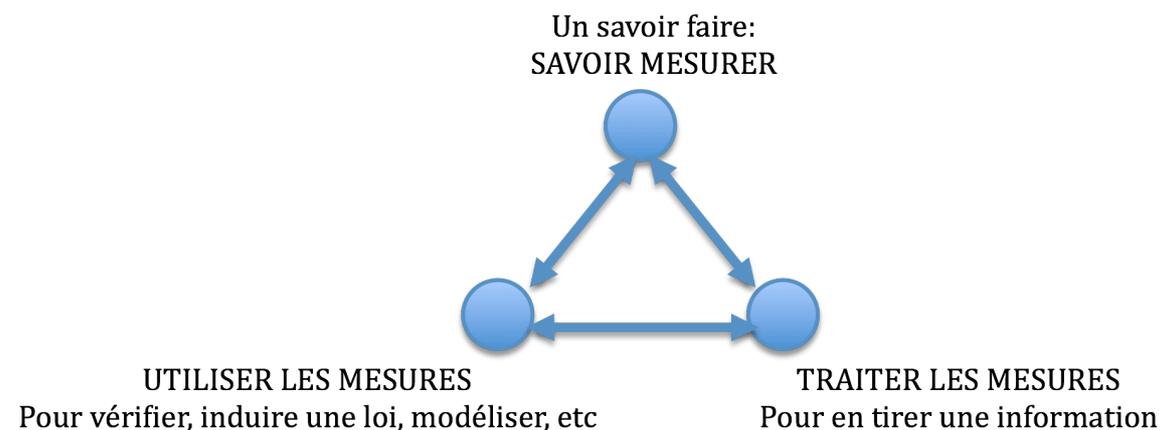


Figure 2. Les principaux enjeux du mesurage selon Séré.

Puis en étudiant les diverses productions du BUP, elle a décrit les différents thèmes sur lesquels les auteurs se sont focalisés selon les époques :

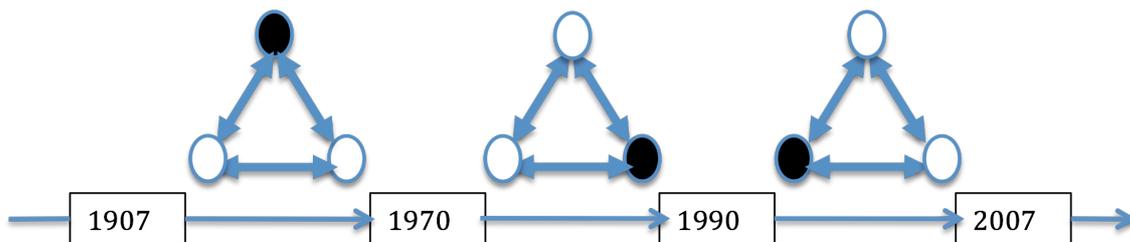


Figure 3. Evolution progressive des enjeux de mesurage privilégié dans les travaux pratiques.

Dans les enjeux du savoir-mesurer, les enseignants ont privilégié l'étude de l'instrument pendant la première moitié du vingtième siècle. L'étudiant avait à rechercher les causes des erreurs afin de pouvoir les corriger.

Le traitement des données est présent dans toutes les productions du BUP. Au début du siècle, liés à la définition de tableaux de données et de courbes, les discours des enseignants sont passés de discours sur les imperfections des résultats à des discours sur la qualité de la mesure dépendant de leurs représentations de la démarche expérimentale et de l'évolution technologique. Dans ce cadre, pendant longtemps l'utilisation des résultats ne remet pas en question les lois utilisées. Le mesurage permet de vérifier ces lois et de retrouver la valeur d'une quantité ou d'une constante. L'avènement de l'aide d'ordinateurs en TP va permettre de se focaliser sur la relation entre théorie et expérience grâce à l'automatisation de l'acquisition et du traitement des données.

L'auteur explique que l'utilisation du mesurage dans le TP dépend aussi des vues des enseignants sur ce sujet. Elle décrit alors trois grandes étapes avec les différentes vues sur le mesurage présentes dans le BUP.

Tout d'abord de 1907 à 1945, les enseignants semblent prendre peu de mesure et recherche la bonne mesure qu'ils qualifient de précise. Le « dogme des encadrements » (Gié et Moreau, 1987, cité par Séré 2008) est très présent et consiste à effectuer un encadrement à l'aide de deux bornes pour des mesures directes et pour traiter la propagation des erreurs.

Après la seconde guerre mondiale, la fin de l'idée de l'obtention d'une valeur exacte permet d'introduire de nouvelles méthodes, telle que la recherche de la valeur la plus probable et de l'erreur systématique liée à chaque méthode. Le terme erreur est aussi remplacé au fur et à mesure par le terme incertitude avec les calculs de propagation qui lui sont liés.

A partir de 1968, la mesure (la valeur de son résultat) prend le statut de variable aléatoire. Des fondamentaux théoriques des traitements des données tel que des outils mathématiques liés à l'incertitude, des raisonnements statistiques, l'introduction d'intervalles de confiance vont être utilisés jusqu'en 1987. En effet à cette date les aspects statistiques des traitements des données apparaissent dans les instructions officielles. Dans les années 1990, des chercheurs en didactiques s'intéressent aux difficultés rencontrées par les enseignants et les étudiants. Ainsi Coelho conclue sa thèse en suggérant « *la nécessité de restituer le problème du traitement des données dans une définition plus exigeante des rapports entre la théorie et l'expérience.* » (Séré, 2008)

Enfin, concernant la situation actuelle, Séré fait remarquer que les nouvelles notions métrologiques définissant des incertitudes de type A et B à la place des incertitudes aléatoires et systématiques devraient permettre de lever « [...] *la difficulté majeure des*

simplifications enseignées tout au long du siècle précédent : l'articulation des différentes sources d'incertitudes. » (Séré, 2008). Elle souligne aussi que l'utilisation de l'ordinateur permet de se rapprocher de la réflexion sur des modèles proches du travail des physiciens et chimistes quand ils utilisent des mesures, mais minimise les objectifs liés au mesurage dans les TP, tels que le savoir-mesurer.

Cette étude illustre une évolution de l'enseignement de la mesure qui est fortement liée à la vision du statut du résultat par rapport à la grandeur à mesurer. Le traitement des données ainsi que l'utilisation des instruments semblent être les thèmes sur lesquels les enseignants se basent pour travailler sur la mesure. La problématique des erreurs et des incertitudes suit l'évolution de la métrologie mais l'aspect probabiliste met du temps avant d'être introduit officiellement dans l'enseignement. Séré fait aussi remarquer que l'aspect de plus en plus technologique de l'instrumentation réduit la possibilité de l'apprentissage du savoir-mesurer voir même du traitement des données.

B.2.1.2. L'enseignement du mesurage dans le bulletin officiel :

En parallèle de mon étude, un travail de master de recherche a été effectué durant le printemps 2008 par Sarah Goury. Une partie de son travail a consisté à rechercher les traces de l'enseignement du mesurage dans le Bulletin Officiel depuis l'an 2000. La partie ci-dessous est tiré de cette analyse.

A l'aide d'une rapide analyse de programmes scolaires actuels, le thème de la mesure apparaît en conséquence dès les toutes petites classes et est étudié jusqu'à l'université.

En effet, déjà en maternelle, les élèves apprennent en mathématiques à se servir de grandeurs telles que la longueur, la masse ou la durée, par le biais de mesures réalisées avec des instruments adaptés. Ils commencent à utiliser les unités de mesure usuelles (BO HS n°5, 2007).

Au primaire, le travail sur le périmètre d'un polygone, sur l'aire d'une surface ou encore sur les nombre décimaux en mathématiques, passe entre autres par des mesures de longueurs. Les élèves apprennent aussi à manier les multiples et sous-multiples des unités usuelles et leurs relations. (BO HS n°5, 2007)

Au collège (BO HS n°6, 2007), toujours dans le cadre de l'enseignement des mathématiques, commence l'initiation aux rudiments de la statistique descriptive : concepts de position et de dispersion, outils de calculs (moyennes et pourcentages) et de représentations (diagrammes, histogrammes, graphiques). Les élèves apprennent le vocabulaire afférent. En sciences physiques, ils utilisent de nouvelles unités de mesure telles que les joules et les newtons en mécanique ou encore les ohms, les hertz et les watts en électricité. Ils apprennent aussi à respecter les conditions d'utilisation d'instruments de mesure tels que les voltmètres et ampèremètres en électricité. En séances de travaux pratiques, ils sont amenés à étudier l'évolution temporelle d'une grandeur et donc à réaliser non plus une mesure unique mais un certain nombre de mesures qu'ils présentent sous forme de tableau. A partir de là, ils tracent et exploitent des graphiques, mettant en œuvre les concepts de statistique enseignés en mathématiques. D'autre part, les élèves découvrent la notion d'incertitude au sein du thème de convergence entre les différentes

disciplines sur « *l'importance du mode de pensée statistique dans le regard scientifique sur le monde* ». Dans ce cadre, le programme stipule que :

« De nombreuses activités dans les disciplines expérimentales basées sur des mesures, doivent intégrer la notion d'incertitude dans l'acte de mesurer et développer l'analyse des séries de mesures. Lors de manipulations, les élèves constatent que certaines grandeurs sont définies avec une certaine imprécision, et que d'autres peuvent légèrement varier en fonction de paramètres physiques non maîtrisés. Plusieurs mesures indépendantes d'une même grandeurs permettent ainsi la mise en évidence de la dispersion naturelle des mesures.[...] il est indispensable de faire constater cette dispersion d'une série de mesures et d'estimer, en règle générale, la grandeur à mesurer par la moyenne de cette série. » (BO HS n°6, 2007)

Au lycée (BO HS n°2, 2001 ; BO HS n°7 2000 ; BO HS n°4, 2001), et notamment en série scientifique, l'enseignement des mathématiques aborde de nouveaux concepts de statistique comme la variance, l'écart type, et l'espérance d'une loi de probabilité, ou encore le concept de variable aléatoire. En sciences physiques, les élèves apprennent à garder un nombre de chiffres significatifs en adéquation avec la précision de la mesure, notamment dans le cas de l'expression numérique d'une mesure indirecte. Ils l'appliquent particulièrement en chimie, lors de la présentation d'un résultat de dosage. Suite à ça, grâce à de simples mesures au double décimètre, par exemple, ils abordent les notions d'incertitudes absolues et relatives.

Sarah Goury, dans un travail de mémoire de master, a analysé quelques cours et travaux pratiques de première année universitaire de l'université Joseph Fourier de Grenoble, de classes de mathématiques supérieures filière « Physique-Chimie et Sciences de l'Ingénieur », et de la première année de l'INSA de Lyon. Elle montre que, pour la première fois, l'enseignement consacre à la problématique de la mesure au moins une séance de travaux pratiques, enrichie parfois d'un cours ou d'une séance de travaux dirigés. Ces enseignements commencent par voir ou revoir le vocabulaire qui est propre à la métrologie (sans l'énoncé en tant que tel) puis chaque notion statistique vue dans les classes précédentes est ré-expliquée dans une approche probabiliste de la mesure, se basant en particulier sur des distributions représentées par une courbe de Gauss. Ils abordent à ce moment-là le lien entre l'incertitude absolue, couramment utilisée depuis le collège, et l'écart type, vu en théorie statistique. D'ailleurs, les étudiants doivent savoir évaluer les incertitudes, non seulement dans le cas de mesurages directs à l'aide d'instruments de mesure de haute précision (ou non), mais aussi dans le cas de mesurages indirects, l'incertitude résultant d'un calcul prenant en compte les incertitudes sur chaque mesure directe et la relation de dépendance des grandeurs. Pour cela, ils ont besoin de nouveaux concepts mathématiques tels que la différentielle totale exacte ou encore la différentielle logarithmique. L'enseignement insiste aussi particulièrement sur le fait que la précision d'un résultat ne peut être plus grande que celle des données, ce qui se traduit en termes de nombre de chiffres significatifs utiles à l'expression numérique d'un résultat.

En conclusion, la mesure tient une place importante dans la vie scolaire ou universitaire d'un étudiant. L'apprentissage de la mesure commence dès le début de son éducation en étant pris en charge par deux domaines : les sciences expérimentales et les mathématiques. Alors qu'en mathématiques, les outils mathématiques des statistiques

sont développés et étudiés jusqu'à la fin du lycée, la problématique des incertitudes n'est qu'abordée au lycée. Ce n'est que lors de l'enseignement universitaire que c'est deux points semblent être reliés. De manière générale les problématiques de l'enseignement de la mesure sont centrées sur le traitement des données dans le sens du « Utiliser la mesure » défini par Séré (2008).

Les savoirs présentés dans cette analyse et donc utilisés par les enseignants semblent être basés sur une approche « erreur » de la métrologie. D'ailleurs celle-ci n'est jamais présentée en tant que telle. Cela est aussi repris par un travail de thèse de Cotteret (2003) qui pointe du doigt cette absence et estime que la vision exploratoire de ce cadre doit être présente car elle peut permettre à l'apprenant de baliser, mesurer et explorer son environnement c'est à dire gagner en autonomie.

B.2.2. Les raisonnements communs

Dans les paragraphes précédents (1.2.), le savoir expert de la mesure a été décrit par la métrologie. Son introduction dans l'enseignement est relaté dans le paragraphe précédent. Je m'intéresse dans ce paragraphe à ce que pourrait être un raisonnement commun lié à la mesure pour les étudiants. Dans un article de 1992, Viennot part de l'idée de « connaissances communes » (Bachelard, 1938) définies comme « *des vues très répandues sur les concepts scientifiques et/ou la nature de la science dont les chercheurs ne situaient pas l'origine dans l'enseignement.* » (Viennot, 2007). Elle s'intéresse plus spécialement aux raisonnements sur les problèmes à plusieurs variables (par exemple, des variables physiques : température, intensité...). Au terme « raisonnement », l'auteur associe les notions d'esprit critique, de rationalité et d'aptitude à détecter l'incohérence. Ces thèmes peuvent être mis en parallèle avec les objectifs éducatifs de l'enseignement de la mesure dans son rapport entre les modèles théoriques et l'observation d'une certaine réalité à l'aide de l'expérimentation. Ainsi, la mesure, c'est-à-dire l'évaluation d'une grandeur pour répondre à une question à l'aide d'un système de mesurage, est un problème à plusieurs variables, en particulier les sources d'incertitudes existantes, la manière de recueillir les données, la manière de les traiter et la manière d'interpréter le résultat.

Selon Viennot, la première des tendances présente dans le raisonnement commun sur un problème à plusieurs variables, quel qu'il soit, est que les étudiants réduisent le nombre des dépendances et non-dépendances envisagées simultanément. Elle explique aussi que : « *De façon générale, devant les phénomènes où intervient un ensemble complexe de variables, le raisonnement des étudiants s'appuie assez généralement sur l'idée d'objet.* » (Viennot, 1992). Cet aspect peut facilement être imaginé dans le cas de la mesure car même celle-ci porte sur une grandeur (par exemple la masse d'un corps), tout en pouvant être vue comme une propriété de l'objet que serait la grandeur. Cette notion d'objet pourrait même se déplacer jusqu'à l'instrument qui effectue la mesure lorsque l'objet-grandeur est difficilement accessible (par exemple, la mesure d'une tension avec un volt-mètre). Donc je suppose que dans ce cas là, les étudiants pourraient se concentrer sur les aspects de la mesure en tentant de se rapprocher du réel sous la forme d'un objet et en s'éloignant du modèle théorique (Leach, 2005). Ces étudiants pourraient par exemple estimer que la mesure effectuée sur la grandeur, et la valeur obtenue, permet de la décrire dans le réel, c'est à dire obtenir la vraie valeur de cette mesure.

Un deuxième tendance concerne le fait que : « *le raisonnement commun adopte volontiers la structure d'une chaîne linéaire d'implications dont chaque maillon mentionne un seul phénomène (ϕ), portant sur l'évolution d'une seule grandeur : $\phi_1 \rightarrow \phi_2 \rightarrow \phi_3 \rightarrow \dots \rightarrow \phi_n$.* » (Viennot, 2007). Les flèches ici sont ambiguës, n'explicitant que l'implication logique ou chronologique qu'elles seraient sensées représenter. On retrouve ce problème dans le cas de la mesure concernant la place à donner aux incertitudes, et aux traitements des données durant l'acte de mesurage. Il est aussi présent dans le lien qui existe entre ces traitements et les sources d'incertitudes. Le problème de la chronologie est aussi présent sous la forme de possibilités de modifications de la procédure de mesure après avoir pris des valeurs et dans les problèmes de répétabilité de cette procédure.

Pour conclure, je suggère comme hypothèse de travail, une définition d'un raisonnement commun des étudiants par rapport à un acte de mesurage pour répondre à un problème posé. Celui-ci serait un raisonnement qui permettrait aux étudiants de décrire l'aspect réel de la grandeur, sous la forme d'un objet. Ceux-ci s'intéresseraient aux variables de la mesure les plus importantes pour obtenir une réponse simple au problème, telles que les actes manipulatoires, la collecte de données et les transformations mathématiques des valeurs. Ils mettraient de côté les variables qui leur semblent moins importantes pour décrire la réalité de la grandeur, telles que les sources d'incertitudes, ou encore les problèmes statistiques de traitement des données. Enfin on peut supposer que dans ce raisonnement, les étudiants aient une vision du déroulement des phases de l'acte de mesurage qui soit linéaire chronologiquement mais aussi linéaire dans les liens entre les variables de ces phases.

B.2.3. Les thèmes de la recherche sur l'enseignement de la mesure

Le nombre de publications de recherche concernant l'enseignement de la mesure est assez faible. Un des premiers articles est celui de Séré, Larcher et Journeaux (1993) qui définit l'activité de mesure comme :

« a cycle which starts with a hypothesis, involves conceiving and carrying out an experimental protocol, gathering measurements, analysing and interpreting the measurements, producing a conclusion concerning the hypothesis. »

Ils découpent donc l'acte de mesurage en cinq étapes selon un cycle commençant par l'établissement d'une hypothèse, puis l'élaboration et la mise en place d'un protocole expérimental qui permet ensuite de recueillir des mesures. Enfin l'analyse et l'interprétation des mesures doit permettre d'établir une conclusion concernant l'hypothèse proposée.

B.2.3.1. La mesure comme activité transversale aux sciences son rôle dans la vision de la Nature des Sciences

Dans leur article de 2009, Buffler, Lubben and Ibrahim s'intéressent aux relations entre les images que les étudiants ont de la nature des sciences et les images qu'ils ont sur la nature de la mesure scientifique. Ils partent du principe que :

“Understanding the relationship between experimental data and scientific evidence is fundamental to one's views of how scientific knowledge is generated. The unambiguous communication of experimental results and the comparison of measurements with other measurements, or with theory, are thus important elements that need to be explicitly developed in science laboratory teaching.”

En relatant les résultats d'autres études, ils expliquent que la vue des étudiants en première année d'université à propos de la mesure scientifique est basée sur une mesure qui fournirait un résultat exact, c'est-à-dire un résultat qui correspondrait exactement à la « vraie » valeur de la grandeur mesurée. En s'appuyant sur les travaux de Fairbrother and Hackling (1997), Ryder et Leach (1999) and Tsai (1999), ils expliquent que les actions et les raisonnements des étudiants sont liés et interagissent avec leur vue sur la nature des sciences. Citant Tsai (1999), ils décrivent deux points de vues sur la nature des sciences. Dans le premier, les connaissances scientifiques sont infaillibles et statiques, les expérimentations ont lieu pour vérifier des vérités, valider la conformité des lois scientifiques et redécouvrir des faits prouvés. Dans le second, les connaissances scientifiques sont des essais, dans lesquelles l'invention humaine et la recherche de consensus prennent part. Les étudiants mènent des expériences, discutent et analysent les données. Ils peuvent relier les données à des aspects théoriques de l'investigation. Ensuite, Ryder et Leach (1999) reprennent la différenciation d'Hogan (2000) entre images proximales et images distales de la nature des sciences. Les images proximales des étudiants concernent la manière dont ils utilisent leurs propres expériences pour construire des connaissances scolaires nouvelles. Les images distales contiennent les vues des étudiants à propos des stratégies et des procédures utilisés par les scientifiques.

A la suite de ce tour de la littérature, les auteurs définissent plusieurs profils d'étudiants à propos de leurs vues sur la nature des sciences et de la mesure. Ces profils diffèrent selon les vues des étudiants à propos de la conformité des méthodes expérimentales et de l'importance relative de l'expérimentation par rapport à la théorie. Les auteurs observent que la majorité des étudiants se répartissent dans deux profils. Dans un des profils, les étudiants croient que les théories scientifiques sont des inventions que les scientifiques construisent à l'aide des observations. L'expérimentation sert à les valider, et la mesure les caractérise à l'aide de preuves par nature incertaines. Dans l'autre profil, les étudiants croient que la nature a ses propres lois et que celles-ci doivent être découvertes par les scientifiques. L'expérimentation sert donc à les découvrir, le mesurage permettant d'obtenir des valeurs vraies. Ils concluent leur étude en expliquant que pour la majorité des étudiants l'acquisition et la construction des connaissances scientifiques sont dépendantes des expériences effectuées et des résultats expérimentaux obtenus. De plus ils suggèrent que :

«[...] explicit exposure to issue around the NOS in laboratory work may help in developing the required understanding of the relationship between scientific claims and experimental data.»

La compréhension de la relation entre les preuves scientifiques et les données expérimentales est nécessaire pour que l'étudiant comprenne la relation entre les savoirs scientifiques (les théories) et les expérimentations scientifiques (le réel).

L'image de la nature des sciences pour les étudiants dépend de leur expérience de la science et de leur vision du travail des scientifiques. Le lien entre ces images et l'acte de mesurage est fort et dépend du statut que les étudiants donnent aux théories scientifiques par rapport à la réalité de la Nature. Il dépend aussi de la place qu'ils donnent à l'expérimentation par rapport à la théorie et au monde naturel.

B.2.3.2. Problèmes des étudiants dans l'apprentissage de la mesure

La mesure n'est pas un sujet facile pour les étudiants de première année universitaire en physique, comme l'explique J.R. Taylor dans la préface de son livre sur l'analyse d'erreur:

“This book is an introduction to error analysis for use with an introductory college course in experimental physics of the sort usually taken by freshmen or sophomores in the sciences or engineering. I certainly do not claim that error analysis is the most (let alone the only) important part of such a course, but I have found that it is often the most abused and neglected part. In many such courses, error analysis is “taught” by handing out a couple of pages of notes containing a few formulas, and the student is then expected to get on with the job solo. The result is that error analysis becomes a meaningless ritual, in which the students add a few lines of calculation to the end of each laboratory report, not because he or she understands why, but simply because the instructor has said to do so.” (Taylor, 1997, p. xv).

Il y explique que l'enseignement de l'analyse d'erreur est souvent négligé et laissé à la charge de l'étudiant. Dans cette préface, ce sont surtout les calculs d'analyse statistique qui sont mis en avant, laissant l'aspect pratique à la seule compréhension des étudiants lors des TP. Ceci rejoint le constat présenté ci-dessus sur les TP pratiqués en France en première année après le baccalauréat.

B.2.3.2.a. Problèmes généraux (Séré, Journeaux, & Larcher, 1993):

Parmi les quelques études ayant exploré l'apprentissage de la mesure scientifique, celles de Séré et de ses collaborateurs décrivent les problèmes des étudiants au lycée. Ils observent quatre difficultés principales (Séré et al, 1993) :

- Les étudiants ont une faible compréhension des problèmes liés à la mesure,
- Ils ont une faible compréhension des procédures,
- Ils hiérarchisent les mesures obtenues (la première obtenue est la meilleure)
- Ils ne différencient pas suffisamment les termes « précision » et « exactitude ».

Ce groupe a aussi étudié la mesure sous son aspect enseignement. Dans chacun de leurs articles, ils proposent quelques indications sur la manière dont les enseignants pourraient

améliorer leur enseignement : par des traitements statistiques des données, en faisant sentir aux étudiants que chaque valeur, quand elles ont pu être obtenue de la même manière, porte la même information que les autres (Journeaux et al, 1995), en formulant et en travaillant sur le concept de précision et d'exactitude, et en développant le fait que la qualité de la mesure est reliée à la problématique et donc qu'il est nécessaire de travailler sur la décision à prendre.

B.2.3.2.b. Mesurage et vocabulaire (Séré et al., 1993; Tomlinson, Dyson, & Garratt, 2001) :

Dans une autre étude, Tomlinson et al. (2001) s'intéressent à l'utilisation d'un vocabulaire spécifique de la mesure par des étudiants de première année universitaire en chimie. 33 étudiants avaient à répondre à un questionnaire portant sur 12 mots liés au vocabulaire du mesurage pendant un TP. Ils ont obtenu que la majorité des étudiants avaient une bonne compréhension (ou parfois partielle) des 6 mots suivants : reproductible, erreur systématique, négligeable, différence significative, corrélé, transformation de donnée. Par contre, les étudiants ont une faible compréhension des 6 autres mots : précis, exacte, sensibilité, erreur aléatoire, qualitatif, quantitatif. Ces auteurs font remarquer que souvent les étudiants définissent et relient ces mots avec le vocabulaire de la vie de tous les jours, ou alors utilisent des idées apprises à l'école dans un domaine spécifique, puis le généralise.

D'après ces travaux, les étudiants ont des difficultés pour comprendre les problématiques de la mesure et leur procédure ainsi que la signification du vocabulaire qui lui ait lié. D'après les auteurs, l'implication des étudiants dans l'activité de mesurage doit leur permettre de reconstruire leur propre compréhension de cet acte, en les faisant travailler sur les différentes problématiques et en redonnant une signification au vocabulaire qu'ils utilisent.

B.2.3.2.c. Raisonnement des étudiants à propos de la mesure :

- i) Buffler et al (A. Buffler, Allie, S., Lubben, F., Campbell, B., 2001; Volkwyn, Allie, Buffler, & Lubben, 2008 ; Buffler, Lubben, Ibrahim, 2009)

Ce groupe de chercheurs a étudié les raisonnements des étudiants lorsqu'ils recueillent des données, les traitent et comparent des séries de données. Pour cela, ils ont utilisé un questionnaire. Ils ont défini au préalable deux raisonnements (Volkwyn et al. 2008) pour classer les réponses des étudiants. Ce classement se fait selon trois manières de raisonner suivant deux tendances. Dans la première, les étudiants tentent de déterminer une valeur « vraie », où les erreurs dues au système de mesurage puissent être réduites à zéro et où une seule valeur peut être suffisante (Point reasoning). Dans la seconde, ils entrevoient que les informations obtenues à l'aide du mesurage sont incomplètes, que toutes les mesures sont obtenues avec des incertitudes qui ne peuvent être réduites à zéro et qu'un grand ensemble de données permet d'avoir une bonne approximation du mesurande et un intervalle de confiance lié aux incertitudes (Set reasoning). Le troisième raisonnement est intermédiaire à ces deux tendances. Le raisonnement mixte (mixed reasoning) permet de classer des étudiants qui répondent en se basant sur des caractéristiques du raisonnement

Point mais aussi avec des caractéristiques qui peuvent s'approcher du raisonnement Set. Ce troisième raisonnement permet aussi d'observer l'évolution des étudiants entre les deux tendances et de s'intéresser aux caractéristiques qui évoluent en premier chez les étudiants.

Les auteurs ont montré que, dans un contexte d'exercice en classe, les étudiants semblaient capable de recueillir différentes valeurs lorsqu'ils en avaient besoin et de commencer un semblant de traitement statistique.

En recoupant ce travail avec leur travail sur la vue des étudiants sur la nature des sciences et leur vue sur la mesure scientifique, ils ont montré que la plus grande partie des étudiants utilisant un set reasoning (ou paradigm) avaient le profil des étudiants qui pensent que les théories sont construites à l'aide des observations. La majorité de ceux qui utilisaient un point reasoning avait le plus souvent le profil des étudiants qui pensent que la Nature à ses propres lois qui sont découvertes par les scientifiques (Buffler, Lubben, Ibrahim, 2009).

ii) Evangelinos et al. (Evangelinos, Psillos, & Valassiades, 2002)

Le groupe d'Evangelinos et al. (2002) a lui aussi exploré l'enseignement et l'apprentissage du recueil et du traitement des données en physique, dans une situation où il s'agit de mesurer et interpréter une valeur singulière. Ils classent les explications des étudiants sur un résultat de mesure donné selon trois schèmes de raisonnement (« reasoning schèmes ») : exact, approché, par intervalle.

- le raisonnement exact correspond à une approche « naïve » telle que : un scientifique fait des mesures dans un environnement de recherche en utilisant un instrument de haute précision qui permet, en principe, de fournir la valeur vraie ;

- le raisonnement approché correspond à une approche « pragmatique » selon laquelle une telle détermination de la vraie valeur n'est pas réalisable pour des raisons pratiques ;

- le raisonnement par intervalle correspond à une approche basée sur plusieurs critères dans laquelle un résultat est sous la forme d'un intervalle si celui-ci a pour but de présenter le résultat d'une expérience réussie ou bien d'assurer la confiance dans le résultat.

Ils trouvent que la majorité des étudiants ont des idées à propos de la mesure qui sont inconsistantes avec le modèle scientifique généralement accepté (modèle probabiliste définissant un intervalle à l'aide des incertitudes systématiques et aléatoires). Ils ont montré qu'un quart des étudiants utilisent un schème de raisonnement exact lorsqu'ils interprètent une valeur singulière tirée d'une lecture sur un instrument de mesure (Evangelinos et al., 2002). De plus, la majeure partie des étudiants voit le résultat idéal d'une mesure singulière comme une valeur approchée (schème de raisonnement approché). C'est seulement lorsqu'une mesure est considérée comme très mauvaise qu'elle est rapportée en terme d'intervalle.

B.2.3.3. Besoin de placer les étudiants dans un cadre probabiliste

Les deux groupes précédent expriment aussi le besoin de situer l'apprentissage de la mesure dans un cadre probabiliste et non-fréquentiste tel qu'il est habituellement abordé. Le cadre fréquentiste correspond à la manière traditionnelle d'enseigner la mesure et suit l'approche « erreur » de la métrologie. Cette approche fait principalement un travail de

description statistique des données (Buffler et al., 2008). Elle met en avant le recueil de grands ensembles de données et leur analyse à l'aide de procédures liées aux erreurs aléatoires, c'est-à-dire à des outils mathématiques comme la moyenne. Selon les études présentées précédemment (A. Buffler et al., 2008; Evangelinos et al., 2002 ; Séré et al., 1993), les étudiants utilisent dans l'approche fréquentiste des formules ad hoc et des méthodes pré-établies sans avoir une compréhension complète du cadre dans lequel ils travaillent. De plus une difficulté majeure est que les étudiants pensent qu'ils n'existent qu'une valeur vraie pour le mesurande et que les erreurs peuvent généralement être réduites à zéro. Aussi ils n'utilisent pas correctement des termes comme ceux de « erreurs » ou « incertitudes ».

Les deux groupes définissent le cadre probabiliste lorsque l'acte de mesurage (et plus précisément le traitement des données) utilise les probabilités pour traiter les valeurs. Ils représentent l'ensemble des données sous la forme de fonctions de densité de probabilité. Ces auteurs démontrent l'efficacité de son utilisation dans l'enseignement. Evangelinos et al. (2002) montre que son utilisation lors de séquence d'enseignement permet aux étudiants d'abandonner le concept d'erreur pour le remplacer par celui d'incertitude. Buffler et al. (A. Buffler, Allie, & Lubben, 2008) montrent que l'utilisation des concepts et de méthodes métrologiques, tel que la méthode GUM, permet d'améliorer les raisonnements sur la mesure des étudiants, par exemple sur l'identification des sources d'erreurs. Enfin dans leur article à propos des vues des étudiants sur la nature des sciences en lien avec la mesure (Buffler, Lubben & Ibrahim, 2009), ils concluent que :

« In the probabilistic framework the data are regarded as the manifestations of the phenomenon, and are treated as constants, while it is the inference that is made about the measurand that as a degree of uncertainty associated with it. The measurement result is interpreted as a statement of the available knowledge or information about the measurand, an approach we believe provides persuasive pedagogic opportunities. »

Ils insistent donc sur l'aspect d'incertitude lié au système de mesurage qui se retrouve dans le résultat obtenu et qui peut, d'après eux, fournir des opportunités pédagogiques.

Ces deux cadres ont aussi une influence sur l'image des sciences qu'ont les étudiants. Dans cette étude Buffler et al. (2009) expliquent que l'approche "fréquentiste" correspond à l'idée que les lois et les règles de la nature seraient à découvrir et que les expériences scientifiques seraient là pour les prouver. Une autre vue de la nature des sciences est décrite. Dans celle-ci, les étudiants pensent que la vérité absolue ne peut pas être découverte et que donc les théories scientifiques sont construites par les scientifiques eux-mêmes au travers des expérimentations afin de comprendre le comportement de la nature. Cette deuxième vue peut être rapprochée de l'approche « Bayésienne » soulevée par certains auteurs (Evangelinos et al., 2002). Elle est en accord avec le cadre probabiliste recommandé par l'ISO (Buffler et al., 2008). Elle est donc aussi en accord avec l'approche « incertitude » de la métrologie. L'instruction d'éléments-clés de la méthode GUM, comme des bilans d'incertitude ou des fonctions de densité de probabilité lors de l'analyse des données, peut permettre aux étudiants d'améliorer leur compréhension des incertitudes. A la fin de cette étude, l'auteur fait remarquer que :

“By introducing the concepts of probability and uncertainty as early as possible in the laboratory course, the tentative, yet quantifiable, nature of scientific knowledge is foregrounded, which then allows for meaningful experimentation to take place in any

introductory physics laboratory curriculum.” (Pillay, Buffler, Lubben, & Allie, 2008, p. 658).

Malgré tout, même si la dernière étude du groupe de Buffler utilise un enseignement avec une approche « incertitude », ce groupe reste centré sur l'étape d'analyse des données afin de pouvoir comparer leur méthode avec l'enseignement traditionnel. Ils expliquent aussi l'importance pour les étudiants de comprendre la présence d'erreurs systématiques en fonction de l'instrumentation ou de facteurs extérieurs indépendants du facteur humains, et donc l'importance de l'évaluation des incertitudes de type B. Cela est illustré par la détermination des bilans d'incertitudes dans leur situation d'enseignement (Pillay et al., 2008). Cette étude montre aussi comment l'analyse des données est liée aux autres étapes du mesurage et ne peut pas en être séparés.

B.2.4. Conclusion sur les études portant l'enseignement de la mesure

La littérature sur la mesure (Séré, Journeaux, & Larcher, 1993, Taylor, 1997, Ryder et Leach, 2000, Buffler, Allie, Lubben, Campbell, 2001, Tomlinson, Dyson, & Garratt, 2001, Evangelinos, Psillos et Vallasiades, 2002, Allie, Buffler, & Lubben, 2008, Volkwyn Buffler, Lubben et Ibrahim, 2009) suit les différentes étapes de la résolution d'un problème de mesurage définies par Séré et al (1993). Un point essentiel est l'omniprésence du cadre expérimental dans ces différentes études. Une partie de ces études s'intéresse à la manière dont l'étudiant voit la science (Nature of Science, NOS) et l'implication de la mesure dans ce cadre, c'est-à-dire le lien entre les théorie d'un phénomène et la nature de ce phénomène (Leach, Millar, Ryder, Séré, Hammelev, Niedderer, Tselfes, 2005). Une autre partie travaille sur les erreurs (ou misconceptions) que les étudiants font à propos du vocabulaire utilisé, de la manière dont ils voient la mesure, son traitement et son interprétation. La majorité de ces études porte exclusivement sur les problèmes de recueil et de traitement des données. Ainsi, les chercheurs observent comment les étudiants déterminent des séries de données, les comparent, utilisent des graphes pour traiter ces valeurs, utilisent des outils statistiques, ont conscience des problèmes d'exactitudes de la mesure, etc. Certains des auteurs ont définis des types de raisonnement que les étudiants pourraient utiliser. Mais peu de ces études s'intéressent vraiment au savoir-mesurer, tel que le décrit Séré (2007) et à ses liens avec les problèmes des incertitudes.

Ces études suggèrent de présenter le vocabulaire de la mesure sous sa forme scientifique. Presque toutes les études suggèrent que l'utilisation de situation de laboratoires et plus exactement d'activités pratiques doit permettre d'aider les étudiants à mieux comprendre l'activité de mesurage. En fait, dans plusieurs des études citées, cette suggestion n'est pas directement appliquée : même si des enseignements sont donnés dans des contextes de laboratoire, souvent les productions des étudiants (tests ou interviews) sont recueillies dans des contextes d'exercice en classe. Enfin, quelques études soulignent le besoin de présenter la mesure comme une procédure de résolution de problème.

Je suggère donc, à mon tour, que pour mieux analyser la compréhension de la mesure par les étudiants il est nécessaire de leur faire exécuter des tâches pratiques prenant la forme

de procédure de résolution de problème incluant les problématiques de la mesure. Le vocabulaire utilisé serait sous sa forme scientifique et les données à propos de cette compréhension seraient recueillies pendant l'exécution de la tâche.

B.3. Théorie des situations didactiques et élaboration de protocoles

Dans les différentes études présentées précédemment, les auteurs mettent en avant l'intérêt de travaux en laboratoire afin d'enseigner l'acte de mesurage et les différentes connaissances qui y sont liées telles que l'analyse d'erreurs, les problèmes d'incertitudes, le recueil et le traitement de données, les erreurs et conceptions dans le vocabulaire lié à l'erreur. Séré conclue un de ses articles ainsi :

« To conclude, we want to stress the fruitfulness of activities during which pupils can skip continuously between data collection, processing and interpretation. This promotes a proper conception of uncertainty, better than the analysis of fictitious data not collected by the pupils themselves. » (Séré & Coehlo, 1998).

Dans la plupart de ces articles, les situations dans laquelle les étudiants se trouvent ainsi que les problèmes liés à la mesure qu'ils rencontrent, sont centrales. Elles permettent aux auteurs soit de déterminer la manière dont les étudiants comprennent et utilise le mesurage ou une étape de celui-ci, pour répondre à un problème, c'est-à-dire d'améliorer sa compréhension et son utilisation.

Depuis une vingtaine d'année la Théorie des Situations Didactiques élaborée par Brousseau (1998), est utilisé comme un outil de la didactique des sciences en France. Cette théorie permet de mieux comprendre les interactions existant entre l'apprenant, l'enseignant et le contexte dans lequel ce duo évolue. Ces interactions (guidé ou non par un enseignant) définissent la situation, plus exactement le contexte, dans laquelle l'étudiant va apprendre. L'organisation de ce contexte par l'enseignant (ou le chercheur) en choisissant les dispositifs matériels et pédagogiques est l'élément clé de l'apprentissage par l'étudiant.

B.3.1. La théorie des situations didactiques et les rétroactions

B.3.1.1. Théorie des situations didactiques dans l'enseignement de la mesure

Comme le décrivent Ruthven, Laborde, Leach et Tiberghien (2009), la Théorie de Situation Didactique est une théorie suivant la tradition européenne de la recherche didactique, s'inscrivant dans le fait que *« the teaching and learning of specific topics are addressed at a fine grain size over relatively short time sequences, best characterized in terms of numbers of hours of teaching, rather than weeks or months or years. »* (Ruthven et al., 2009, tiré de Méheut et Psillos, 2004). Il est à noter qu'il existe aussi quelques exemples de travaux de recherche dans ce domaine qui puissent se faire sur des périodes plus longues. Ces chercheurs décrivent cette théorie comme un cadre spécifique intermédiaire entre les théories (de Bachelard, Piaget, ...) et la procédure de modélisation

d'un enseignement ou d'un apprentissage. Dans sa théorie, Brousseau s'intéresse aux interactions entre l'enseignant, l'apprenant et le milieu dans des situations dans lesquelles ce triplet est situé (voir figure 1).

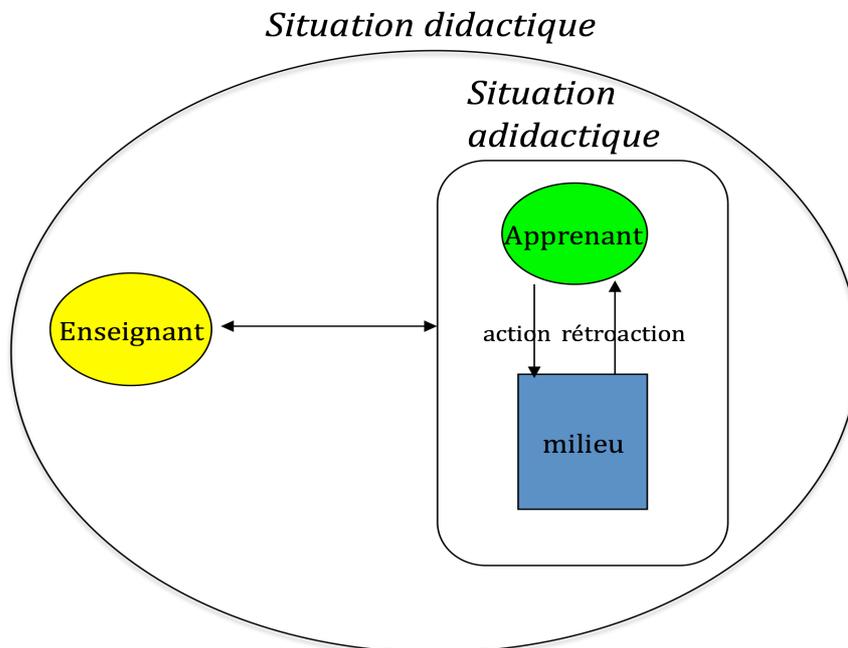


Figure 4. Interaction entre le triplet dans le cas d'une situation didactique

L'un des thèmes prépondérant de cette théorie est « l'organisation » par l'enseignant des interactions de l'apprenant avec le milieu. Suivant la théorie Piagétienne d'« équilibration », il décrit l'idée d'adaptation « adidactique » :

« L'élève apprend en s'adaptant à un milieu qui est facteur de contradictions, de difficultés, de déséquilibre, un peu comme le fait la société humaine. Ce savoir, fruit de l'adaptation de l'élève, se manifeste par des réponses nouvelles qui font la preuve de l'apprentissage. » (Brousseau, 1998, p.59)

Il met en parallèle cette notion « adidactique » avec la notion de « didactique » décrivant une activité dans laquelle l'enseignant peut intervenir dans la résolution du problème et ainsi modifier la relation qu'a l'apprenant avec le milieu. L'adaptation de l'élève à un nouveau savoir dépend de cette relation. Comme le font noter Ruthven et al. (2009), le terme « situation » est défini comme : un ensemble de tâches de résolution de problème et de modélisation d'environnement permettant une adaptation adidactique et donc la construction de nouvelles connaissances spécifiques. Ces situations adidactiques sont composées d'un problème, des conditions sous lesquelles il doit être résolu et des progrès attendus au travers d'une stratégie qui soit à la fois valide et efficace. Les conditions contiennent les procédures de « dévolution » organisées par l'enseignant et devant permettre à l'apprenant de prendre en charge le problème et sa résolution. Le « milieu » (matériel et social) est créé pour fournir aux apprenants des rétroactions qui permettent l'évolution de leurs stratégies.

Concernant ces rétroactions, Brousseau emprunte à Bachelard l'idée d'« obstacles épistémologiques ». Pour lui, « [...] la constitution du sens [...] implique une interaction

constante de l'élève avec des situations problématiques, interaction dialectique (car le sujet anticipe, finalise ses actions) où il engage des connaissances antérieures, les soumet à révision, les modifie, les complète ou les rejette pour former des conceptions nouvelles. » (Brousseau, 1998, p.120). Les obstacles épistémologiques utilisés pour l'élaboration d'une situation sont tirés d'études décrivant des résistances à l'apprentissage par les apprenants de certains thèmes spécifiques au domaine. Par exemple, dans le cas du mesurage, je citerais la croyance en une valeur vraie exacte, ou encore à l'existence d'erreurs uniquement dues à l'action de l'expérimentateur. Le rôle de l'enseignant (dans mon cas, du chercheur) est d'élaborer une situation adidactique dans laquelle le milieu apportera des rétroactions afin que l'apprenant puisse dépasser les problèmes épistémologiques rencontrés. Ces rétroactions sont élaborées de manière à ce que les facteurs d'adaptation prévus et non prévus, apparaissant durant la situation, puissent être contrôlés.

Les valeurs des Variables Didactiques sont fixées de manière à ce que les étudiants soient confrontés à l'obstacle épistémologique choisit. Ces variables sont basées sur des analyses des connaissances des apprenants faites a priori. Elles sont directement liées aux connaissances étudiées et sont spécifiques à la situation dans laquelle les étudiants sont placés.

B.3.1.2. Rétroactions

La notion de rétroactions dans l'enseignement a été largement traité et pour la majorité des auteurs, les rétroactions sont vues comme cruciales pour une amélioration de l'apprentissage de nouvelles connaissances et l'acquisition de compétences. Dans ce paragraphe, je m'appuie essentiellement sur un article écrit par V.J. Shute (2004) et un chapitre de l'Habilitation à Diriger des Recherches de Vanda Luengo (2009, chapitre 2).

Luengo (2009) cite Mory (2004) pour décrire une rétroaction (feedback) :

« In the purely instructional sense, feedback can be said to describe any communication or procedure given to inform a learner of the accuracy of a response, usually to an instructional question (Carter, 1984; Cohen, 1985; Kulhavy, 1977; Sales, 1993).[...] More broadly, feedback allows the comparison of actual performance with some set standard of performance (Johnson & Johnson, 1993). »

Elle définit une notion de boucle caractérisant le processus de rétroaction. Cette boucle est composée des étapes suivantes : (1) l'action de l'étudiant, (2) l'observation des informations (par exemple de nouvelles valeurs expérimentales), (3) l'interprétation de celle-ci, (4) la validation d'une nouvelle stratégie (ou idée, raisonnement, conception) et (5) la modification de la stratégie qui avait permis l'action précédente.

Shute, de son côté, fait une synthèse de 141 travaux traitant ce sujet. Malgré ce nombre important, les recherches ne montrent pas de conclusions communes sur la structure et les effets des différents types de rétroactions. Elle définit une rétroaction formative de la manière suivante :

« Formative feedback represents information communicated to the learner that is intended to modify the learner's thinking or behaviour for the purpose of improving learning. » (Shute, 2007, p.1).

D'après elle, les rétroactions peuvent avoir deux buts, l'un directif qui permet de fixer ou de reprendre des connaissances, et l'autre facilitant qui aide et guide l'apprenant dans la révision de ses productions et la conceptualisation (rétroaction « facilitatrice »). Trois processus cognitifs peuvent être utilisés : l'un correspond à une réduction de l'écart entre le niveau de performance des apprenants et celui recherché, un autre à la réduction de la charge cognitive des apprenants en leur fournissant des aides par rapport à des tâches compliquées, et enfin un troisième consiste à apporter des informations qui peuvent être utiles aux apprenants afin qu'ils corrigent des stratégies inappropriées, des erreurs procédurales, ou des conceptions inappropriées.

Deux types d'informations fournies aux étudiants peuvent permettre l'efficacité d'une rétroaction. Ces informations peuvent prendre deux formes. Elles peuvent être, premièrement, une vérification regardant si la réponse proposée est correcte ou incorrecte, ou/et, deuxièmement, une élaboration qui peut : fournir le sujet proposé, donner la réponse, discuter des erreurs particulières, fournir des exemples de tâches effectuées, ou encore donner des conseils modérés (de manières à ne pas trop guider les étudiants). Selon l'auteur, cette élaboration peut permettre aux étudiants de : «[...] *to do more advanced activities and to engage in more advanced thinking and problem solving than they could without such help.*» (Shute, 2007). Dans cet article, les rétroactions facilitatrices sont suggérées pour obtenir un meilleur apprentissage. Ainsi ce type de rétroaction doit contenir des modèles, des indices, des éléments provoquant des réactions, des morceaux de solutions voir des instructions. Enfin le temps entre la réponse donnée et l'introduction de la rétroaction est important dans le type d'effet recherché et son efficacité. Deux relations existent : les rétroactions immédiates et les rétroactions retardées (minutes, heures, semaines) par rapport à la fin de la tâche ou du test.

Luengo, pour sa part, reprend en partie les travaux de Shute et les met en perspective avec d'autres travaux de manière à fournir une synthèse de catégories existant dans les sciences humaines. Elle propose alors le tableau suivant :

Catégorie	Différentiation
Intention d'évaluation	Sommative vs formative
Intention pédagogique	Renforcer, informer, confirmer, corriger, expliquer, diagnostiquer ou élaborer.
Façon dont le message est transmis	Efficace vs inefficace
Conséquence	Négatif, positif, constructif.
Niveau de complexité	Sans rétroaction, vérification, réponse correcte, essayer encore, soulignage d'erreur, élaborer, isoler attribut, centré réponse, conseil, erreurs ou misconceptions, tuteur instructif (ou guidée)
Objectif	Orienter but versus ponctuelle
Focus	Tâche, processus, auto régulation, personnel
Temps ou moment	Immédiate versus différée

Tableau 1. Résumé des exemples de catégories des rétroactions identifiées dans la littérature en sciences de l'éducation et psychologie pour l'apprentissage (Luengo, 2009, p.11)

Ensuite elle définit une rétroaction épistémique comme : « [...]une rétroaction relative à la connaissance en jeu de l'activité. » (Luengo, 2009, p.14). De plus d'après elle : « il n'est [...]pas possible de dire a priori si une rétroaction épistémique doit être adaptative ou pas, formative ou sommative, [...] ou si le cycle de rétroaction doit être simple ou composé. » (Luengo, 2009, p.18). Une telle rétroaction se différencie donc des rétroactions liées à des dimensions affectives ou sociales.

Dans le cas de mon étude ma problématique s'appuie sur l'élaboration d'un protocole de mesurage et plus exactement sur les connaissances que les étudiants vont utiliser pour remplir cette tâche. Les rétroactions qui pourront être utilisées seront donc épistémiques. Pour mon étude, je suggère qu'elles doivent permettre de guider les étudiants dans la révision de leurs connaissances en leur apportant des aides à partir de stratégies inappropriées, de connaissances acquises antérieures. Ces rétroactions doivent être suffisamment simples pour être compréhensibles et spécifiques au problème de la mesure. Les informations sous formes de vérification doivent être présentes soit par un retour du milieu, soit par une instruction de l'enseignant. Celles sous la forme d'élaboration doivent permettre aux étudiants de prendre en main le sujet et de modifier leurs propres réponses. Par exemple, en proposant des aides et des éléments de réponse, de manière à ce que ceux-ci ne se sentent pas en situation d'échec dans leur tentative. Une rétroaction retardée peut être intéressante pour obtenir des étudiants une autonomie dans leur apprentissage mais une rétroaction immédiate devrait permettre d'obtenir des résultats plus nets sur l'apprentissage de la connaissance visée (Shute, 2007).

Le cadre de la théorie des situations didactiques met en avant la notion d'obstacle épistémologique définie à l'aide de variables didactiques. Je relie ce principe aux rétroactions facilitatrices proposées par Shute (2007). Ces variables choisies et fixées par l'enseignant ont pour but de guider l'apprentissage des connaissances par les apprenants. Ce sont ces variables qui vont définir la complexité de la situation pour l'apprenant. Enoncer les situations (situations globales et rétroactions spécifiques à la situation) en terme de variables didactiques et pédagogiques (variable ne concernant pas directement le savoir mis-en-jeu), doit permettre de mieux prévoir les effets des rétroactions ainsi que leurs observations.

B.3.2. Elaboration de protocoles et un outil d'aide à l'élaboration

B.3.2.1. Utilité des situations d'enseignement en laboratoire par rapport aux situations en salle de TD

Les études rapportées dans la partie (E.3) soulignent l'importance de situer l'enseignement du mesurage à l'aide de tâches pratiques, c'est à dire typiquement lors d'enseignement en laboratoire.

Dans une rétrospective des recherches des vingt dernières années sur les activités de laboratoire, Hofstein et Lunetta (2003) soulignent tout d'abord l'aspect unique de ce type d'enseignement et d'apprentissage pour les sciences expérimentales. Ce type d'enseignement permet aux étudiants de développer leurs propres idées de la

communauté scientifique et de ce qu'est la science, tout en leur permettant de découvrir de nouveaux outils et ressources pour compléter leur expérience. Les auteurs définissent les activités expérimentales comme :

«[...] *learning experiences in which students interact with materials and/or with models to observe and understand the natural worlds.* » (Hofstein & Lunetta, 2003, p.31). Ils décrivent aussi l'importance d'une nouvelle réflexion sur le rôle et la pratique des travaux de laboratoire. La démarche d'investigation qui correspond aux manières dont les scientifiques étudient la nature y joue un rôle important. Dans le cadre de cette démarche, les scientifiques proposent de nouvelles idées, et expliquent et justifient les modèles proposés tout en déterminant leur importance. L'objectif serait donc que les étudiants prennent en main et assimilent ce type de démarche.

En plus d'augmenter la disposition et l'intérêt des étudiants vis-à-vis de la science, différents objectifs sont attribués aux expériences de laboratoire. Ainsi elles permettent la compréhension de concepts scientifiques, l'acquisition de capacités techniques et d'aptitudes à la résolution de problèmes, l'acquisition d'habitudes intellectuelles scientifiques et, enfin, la compréhension de la nature des sciences. En étudiant l'image des sciences qu'ont les étudiants dans toute l'Europe, pendant des travaux de laboratoire, Leach et al (2005) décrivent trois thèmes utilisés par ces étudiants. Le premier de ces thèmes correspond au développement des connaissances liées au comportement de la Nature. Le deuxième concerne le développement de la compréhension sur la manière dont les scientifiques engagent des recherches par rapport à une question ou un problème choisi. Enfin le troisième regarde le développement de la capacité à utiliser des instruments de laboratoire usuels et les procédures associées.

Selon ces deux études, l'intérêt d'utiliser les travaux de laboratoire est tout d'abord lié à l'aspect théorique des connaissances scientifiques. Cet intérêt est lié à la compréhension, à l'acquisition et à l'utilisation de connaissances scientifiques en leur donnant plus de sens car liées à la compréhension de la Nature. Cet intérêt dépend aussi des connaissances liées aux capacités manipulatoires et procédurales développées par les étudiants. Enfin l'activité expérimentale permet de recontextualiser des connaissances dans la vie de tous les jours ou bien dans d'autres contextes scientifiques. Les travaux sur l'apprentissage de la mesure ont aussi montré leur intérêt sur ses différents aspects (voir la partie précédente, dont, entre autres, Tomlinson, Dyson, et Garrat, 2001, Séré, Journeaux et Larcher, Buffler, Lubben et Ibrahim, 2009)

Cette activité expérimentale est reliée à la démarche expérimentale. En effet Darley (1996) rappelle qu'il s'agit d'une « *démarche de résolution de problème à propos d'un phénomène donné.* » passant par une procédure de test d'une hypothèse. Le travail en laboratoire va ainsi pouvoir permettre une double validation des hypothèses proposées : une validation expérimentale reproductible et une validation sociale. L'étudiant doit décrire son problème sous la forme d'hypothèses après l'avoir pris en main, puis effectuer une validation expérimentale afin de confronter les résultats obtenus et enfin proposer une réponse. Afin de mieux comprendre le fonctionnement des étudiants lors de tâches opératoires, Séré et Beney (1997) ont observé des étudiants effectuant un TP (Travaux Pratiques) de deuxième année universitaire de physique de forme « livre de cuisine » (traditionnel). Les auteurs remarquent que les étudiants s'appuient sur des actions prototypiques dépendantes du vocabulaire contenu dans les consignes. Les

étudiants semblent atomiser l'action selon une hiérarchie où le résultat est le premier de la liste, suivi de l'exécution et enfin des pré-requis.

La revue de Leach et al (2005) souligne le lien entre l'acte de mesurage et les situations de travaux dit de laboratoire, expérimentale, ou pratique. Ils décrivent dans cette revue les idées que se font les étudiants de la science, ses objectifs, ses procédures, ses outils. Or La majorité des hypothèses de recherche qu'ils proposent, se centre sur des éléments appartenant à l'acte de mesurage.

Ces études montrent l'intérêt par rapport à la mesure de s'intéresser à la compréhension et l'apprentissage par les étudiants de connaissances procédurales liées à l'outil qu'est le mesurage dans le contexte de la démarche expérimentale. Cette compréhension ne peut se faire sans son aspect pratique dont la manipulation d'instruments ressort comme une de ses caractéristiques principales. De même elle ne peut se faire sans la compréhension des problèmes liés au recueil et à l'analyse des données et aux instruments mathématiques qui leurs sont propres. Enfin la présence d'hypothèses à tester afin de pouvoir répondre à un problème, est maintes fois reprise et est décrite comme essentielle pour la compréhension de la nature de la théorie et de son modèle, et sa recontextualisation.

B.3.2.2. L'élaboration de protocoles expérimentaux

« An experimental procedure is, broadly speaking, a set of written instructions addressed to somebody who is going to execute the experiment in order to solve a scientific or technical problem. » (Girault, d'Ham, Ney, Sanchez, Wajeman, à paraître)

Arce et Betancourt (1997) effectuent une étude durant laquelle elles guident les étudiants dans une tâche d'élaboration de protocole durant une activité de laboratoire. Cette étude doit permettre de stimuler les étudiants à penser de manière indépendante, d'apprendre à organiser et à analyser leurs données, à prendre des décisions sûres et à tirer des conclusions basées sur des observations et des faits. Cette étude leur a permis de constater une compréhension plus profonde des conceptions mises-en-jeu dans l'activité ainsi que lors d'activités de laboratoire traditionnelles.

Karelina et Etkina (2007) relèvent dans la littérature que les étudiants ont à acquérir une compréhension conceptuelle et quantitative. Ils ont aussi à acquérir une capacité à raisonner à partir des données, à construire des modèles explicatifs, à élaborer des expérimentations pour tester des hypothèses, à résoudre des problèmes complexes et à travailler avec d'autres personnes. Pour atteindre ces objectifs, les auteurs utilisent un outil appelé ISLE (Investigate Science Learning Environment). Cet outil définit une série de travaux de laboratoire dans lesquels les étudiants ont des tâches moins prescriptives que dans les situations traditionnelles (type « livre de cuisine»). Ils ont à élaborer des protocoles expérimentaux avec lesquels ils auront à collecter et analyser leurs données, et expliquer et défendre leurs résultats devant les autres étudiants.

L'analyse des compte-rendus des étudiants permet aux auteurs d'identifier les réponses pour lesquelles les étudiants discutent et écrivent pour donner du sens au problème (« making-sense »). Elle leur permet aussi de déterminer les réponses pour lesquelles les étudiants manipulent et traitent les données, et celles qui sont en dehors de la résolution du problèmes. Trois types de données sont récoltés en observant trois groupes

d'étudiants. Un groupe élabore ses propres expérimentations en ne recevant aucune aide sur la manière de les effectuer. En contre partie, ils reçoivent des questions les guidant suivant les différents aspects d'un protocole expérimental classique. A la fin de chaque élaboration, ils doivent s'interroger sur les différents aspects de leur protocole. Un deuxième groupe doit effectuer un examen dans lequel les étudiants n'ont aucune aide sur la manière d'élaborer leur expérimentation et ne peuvent s'appuyer que sur les comptes-rendus qu'ils ont rédigés dans les séances précédentes. Les auteurs comparent les résultats obtenus avec ces deux groupes, avec ceux obtenus en observant des étudiants qui ont suivi un cycle de travaux en laboratoire traditionnel. Leurs résultats montrent que les étudiants ayant suivi le cycle de travaux en laboratoire incluant l'élaboration d'un protocole ont montré un travail plus porté sur le « making-sense » que le groupe témoin. Des différences importantes sont observées entre le groupe témoins et les étudiants ayant suivi le ISLE. En effet, les étudiants-ISLE passent plus de temps au laboratoire, ce qui leur permet de donner plus de sens et d'écrire plus. Ces étudiants partagent aussi leur temps différemment dans les activités à effectuer, se concentrant sur les aspects des connaissances et sur le protocole alors que le groupe témoin se concentre surtout sur le protocole. Enfin l'enseignant aide beaucoup plus les étudiants du groupe témoin alors que les étudiants-ISLE tentent de résoudre leur problème en discutant entre-eux durant leur expérimentation ou en écrivant leur réponse. Malgré cela, la question de réflexion sur le protocole élaboré est la plupart du temps négligée par les étudiants.

D'après les auteurs les étudiants-ISLE réfléchissent plus à la planification de l'expérimentation et aux différents détails lorsqu'ils élaborent leur protocole grâce aux questions pré-posées, aux questions posés par l'enseignant et aux rubriques d'auto-évaluations. Dans leur conclusion, les auteurs s'interrogent sur l'influence du guidage des étudiants et plus précisément de celui dû à l'enseignant et sur la compréhension de la démarche expérimentale par les étudiants. Pour cela ils soulèvent la question de cette compréhension dans le cas où les étudiants seraient autonomes dans leur élaboration.

D'autres études analysent la pratique d'enseignants en travaux pratiques (TP) en Europe et montrent que 80 à 95% des enseignants de lycées décrivent le protocole expérimental du TP. Les étudiants n'y élaborent pas leur propre protocole et se retrouvent plutôt à la place de technicien, suivant des instructions avec peu de chance d'entrer dans un processus cognitif de haut-niveau (Tiberghien, 2001, Fuhrman, Lunetta et Novick, 1982). Selon Séré et Beney (1997), la tâche d'élaboration d'un protocole expérimental est une tâche difficile pour les étudiants, ce qui peut rendre difficile la mise en place de ce type de tâche par les enseignants.

L'idée que l'apprentissage des sciences doit aussi se focaliser sur les procédures et les méthodes utilisées par les scientifiques est soulevée dans l'apprentissage par la démarche d'investigation (« Inquiry Learning »). Celle-ci définit que :

« Engaging learners in scientific process helps them build a personal knowledge base that is scientific, in the sense, that they can use this knowledge to predict and explain what they observe in the natural world. » (van Joolingen, de Jong, Dimitracopoulou, 2007).

Cette démarche est souvent décrite par plusieurs phases, de Jong et al. en proposent sept : l'orientation, l'élaboration d'hypothèse, l'expérimentation, l'expression de conclusions, l'évaluation, la planification de l'expérience et le contrôle de l'expérience (de Jong,

2006). Ces auteurs notent l'importance pour les situations de démarches expérimentales d'être placées dans des cadres support de cette démarche. Ces supports peuvent prendre plusieurs formes dépendant de leurs effets et problèmes soulevés ainsi que des circonstances dans lesquelles ils s'appliquent le mieux.

Le groupe MeTAH (Laboratoire d'Informatique de Grenoble), dont je fais parti, s'est penché sur le problème et a tout d'abord décrit le protocole expérimental sous la forme d'un diagramme hiérarchique des tâches. Ce diagramme comporte trois niveaux : l'*activité*, formant la base de ce diagramme, puis le niveau intermédiaire qui est l'*action*, dans laquelle se trouve les tâches structurelles et donc correspond à la partie efficace du protocole selon les capacités de l'expérimentateur, enfin le niveau supérieur correspond aux *opérations* qui sont les activités routinières et automatiques de l'expérimentateur. Ce diagramme a été utilisé pour élaborer un logiciel qui sera présenté lors de mes expérimentations. Ensuite ce groupe s'est intéressé à ce qui existe dans les manuels de sciences ainsi qu'à la position et aux pratiques des enseignants par rapport à ce type de tâches. Une grille de six familles de critères d'évaluation d'un protocole a été proposée par ce groupe : (1) les protocoles élaborés doivent correspondre aux objectifs de la séance de travaux pratiques (TP), et (2) doivent être reproductibles. Les protocoles doivent aussi être (3) concis, (4) « précis » et (5) concrets. La dernière famille de critère concerne (6) la communicabilité du protocole : les étudiants doivent s'imaginer concrètement la personne qui va exécuter le protocole élaboré. En utilisant ce dernier critère le étudiants décrivent leur protocole avec plus de détails que lorsqu'ils travaillent pour eux-même ou leur enseignant (Marzin, De Vries, 2008).

A l'aide de ces critères, ce groupe a créé un environnement informatique d'aide à l'élaboration de protocole : COPEX. Cet environnement permet d'aider l'étudiant à structurer son travail d'élaboration grâce au diagramme hiérarchique des tâches, ou grâce à des séries de sous-protocoles avec lesquelles il peut composer son propre protocole. De plus, dans ce logiciel, des rétroactions génériques peuvent être fournies à l'étudiant selon les critères de complétude, de l'observation des contraintes matériels et de l'organisation des tâches. Cette grille de critères a été utilisée dans des expérimentations portant sur des problèmes d'apprentissages en anthropologies (Marzin, De Vries, 2008) et une première version en chimie (d'Ham, Girault, Mandran, 2009).

L'utilisation d'élaboration de protocole est adéquate pour l'enseignement de la mesure en TP. En effet la tâche d'élaboration de protocole, telle qu'elle est décrite dans les différentes études, englobe tout les aspect du mesurage et peut permettre une certaine autonomie de l'étudiant dans son utilisation (Karelina et Etkina, 2007). L'élaboration d'un protocole de mesure par un binôme d'étudiant pourrait donc permettre à celui-ci une compréhension plus profonde de l'outil de mesurage et de son implication dans la résolution d'un problème de physique (Girault, d'Ham, Ney, Sanchez, Wajeman, à paraître).

B.4. Conclusion de cet état de l'art

A la suite de cet état de l'art je suggère plusieurs hypothèses de travail.

Premièrement, je suppose que les recherches sur les raisonnements des étudiants doivent être menées lorsque les étudiants sont directement impliqués dans une procédure pratique de mesurage. En effet l'aspect pratique est mis-en-avant dans les différentes études mais souvent seul les problématiques concernant le recueil et le traitement des données sont travaillées mettant de côté le savoir-mesurer tel que les problématiques d'exactitude liées de la manipulation des instruments. La réalisation de l'acte de mesurage est partie intégrante de la démarche expérimentales et devrait permettre aux étudiant de donner du sens au lien entre le monde naturel et le monde des théories.

Deuxièmement, je suggère à partir du savoir expert et des thèmes étudiés par les chercheurs que la procédure expérimentale devrait inclure un système de mesurage comportant différents points tels que : les outils utilisés reliés à la grandeur à mesurer, la recherche de sources d'erreur et leur estimation, les réglages afin de réduire ces erreurs selon des méthodes de référence, et la manière d'analyser les erreurs à l'aide de calculs statistiques et non-statistiques. La réflexion sur chacun de ces points doit permettre aux étudiants de comprendre l'acte de mesurage dans son ensemble ainsi que les liens existants entre ces points et leurs variables. De ce travail, les étudiants doivent pouvoir mieux comprendre les informations tirées de chacun des points à propos de la qualité et de la fiabilité du résultat.

Troisièmement, les études précédentes montrent que l'élaboration d'un système de mesurage afin de résoudre un problème est une tâche qui aide les étudiants à comprendre l'objectif de la mesure et la manière d'atteindre cet objectif. C'est pourquoi je suggère qu'une meilleure compréhension du mesurage par les étudiants aura lieu si ce mesurage est présenté comme un protocole à élaborer et à exécuter. Ce protocole devra permettre aux étudiants d'estimer la position d'une grandeur dans un intervalle défini par les incertitudes obtenues, afin de pouvoir prendre la meilleure décision possible selon le problème posé.

Pour conclure, l'utilisation du cadre métrologique, sous la forme des approches « erreur » et « incertitudes » et de la définition d'un raisonnement commun pour comparer les raisonnements des étudiants, peut être profitable pour obtenir une vue générale des problèmes rencontrés par les étudiants dans leur compréhension de la mesure. Cette étude doit nous permettre de déterminer les caractéristiques de l'acte de mesurage dans son ensemble et de manipuler ces caractéristiques afin d'aider les étudiants à améliorer leur compréhension du problème de la mesure.

C. Première expérimentation : cohérence des raisonnements des étudiants par rapport à l'acte de mesurage dans différents contextes.

C.1. Problématique

L'apprentissage de la mesure est décrit par les différents auteurs comme un élément essentiel à la compréhension de la pratique scientifique. Les études récentes de Buffler, Lubben, Ibrahim (2009) ou encore Ryder et Leach (2000) démontrent un lien important entre la vue des étudiants sur la nature des sciences et la mesure pratiquée. Le rôle de l'expérimentation est mis en avant comme moyen de tester, valider et confirmer les théories scientifiques. D'autre part, elle joue aussi un rôle sur la manière d'établir une confiance dans le lien entre théorie et modèle. De même, « *une compréhension appropriée de la mesure scientifique dépend complètement de la compréhension de la nature des incertitudes dans la mesure.* » (Buffler *et al.*, 2009). Souvent les auteurs illustrent la nécessité de traiter l'acte de mesurage dans son ensemble et non seulement dans une seule de ses activités, telle que le traitement des données, leurs recueils ou la pratique opératoire.

Il est donc essentiel de s'intéresser à la manière dont les étudiants organisent et interprètent cet acte de mesurage en comprenant les raisonnements utilisés pour le mettre en œuvre. Cette compréhension doit permettre, dans un deuxième temps, d'aider ces étudiants à assimiler et à utiliser par eux-mêmes un raisonnement proche d'un raisonnement expert.

D'autre part, l'étude de manuels scolaires et de TP montrent que cet enseignement ne prend une place institutionnelle que lors de l'entrée des étudiants à l'université. Je vais donc me focaliser sur cette tranche d'apprenants.

Dans ce chapitre, la problématique de recherche abordée est celle de l'influence de la situation sur le raisonnement des étudiants sur la mesure.

C.2. Questions

Dans les études traitant des raisonnements des étudiants sur la mesure, telles que celles de Volkwyn, Allie, Buffler (2004) et de Evangelinos, Psillos, Valassiades (2002), ces raisonnements sont identifiés lorsque les étudiants se trouvent dans des situations de démonstration par l'enseignant et/ou face à une description graphique ou textuelle d'expériences de physique. Je parlerai d'*élaboration mentale du protocole* dans le cas où les étudiants élaborent une partie d'un protocole de mesure (recueil, traitement des données ou autre) et où cette élaboration ne s'accompagne pas de manipulation du matériel de laboratoire. Dans le contexte d'un TP, je parlerai d'*élaboration pratique d'un protocole*, comme par exemple dans les études de Séré, Journeaux, Larcher (1993) ou encore de Karelina et Etkina (2007).

Aussi Buffler *et al.* (2009), en s'appuyant sur d'autres études, expliquent l'importance des actions et raisonnements lorsque les étudiants « font » de la science. Ils relèvent la dépendance entre ces actions et raisonnements et leur vue des sciences (« *the epistemology of sciences, sciences as a way of knowing, or the values and assumptions inherent to the*

development of scientific knowledge » Lederman, 1992, cité par Ibrahim, Buffler, Lubben, 2007). Or les actions peuvent prendre différentes formes lorsqu'elles sont juste imaginées ou lorsqu'elles sont mises en pratique. Donc les raisonnements pourraient aussi prendre des formes différentes.

L'aspect manipulateur de l'acte de mesurage, mis en avant dans les différentes études, fait suggérer la possibilité d'une compréhension et d'une utilisation différentes de l'acte de mesurage lors d'un TP par rapport à un contexte de Travaux Dirigés (TD, séance de résolution d'exercices papier/crayon sans aspect manipulateur).

Dans cette expérimentation, j'ai mis en place des situations permettant de savoir si les raisonnements mobilisés par les étudiants durant une session de travail en laboratoire étaient identiques à ceux mobilisés dans une session d'exercices. On peut supposer, au contraire, que du fait de leurs interactions avec le matériel et de leur engagement plus important dans le processus de prise de décision, les étudiants utilisent d'autres formes de raisonnements en laboratoire.

Les trois situations qui m'intéressent, présentées dans le tableau 2, sont les suivantes :

- situation Q (pour Questionnaire) : une situation d'élaboration mentale d'une partie d'un protocole de mesure (la phase du recueil de données) ;
- situation D (pour Design) : une situation d'élaboration pratique d'un protocole de mesure complet (incluant le recueil de données, leur traitement et leur interprétation) ;
- situation E (pour Évaluation) : une situation d'évaluation pratique d'un protocole conçu par des tiers.

	Contexte	Activité sur le protocole	Forme de la réponse
Situation Q	TD	Élaboration	Questionnaire
Situation D	TP	Élaboration	Protocole
Situation E	TP	Évaluation	Questionnaire

Tableau 1. Caractéristiques des trois situations expérimentées

D'après mon état de l'art, la situation Q est une manière classique de recueillir des données dans les études sur le raisonnement des étudiants sur la mesure, tandis que les situations D et E sont atypiques.

Pour savoir si le contexte et l'activité influent sur le raisonnement des étudiants, je vais répondre à deux questions :

- question 1 : ces raisonnements sont-ils dépendants du contexte, c'est-à-dire est-ce que les proportions de chacun des trois raisonnements diffèrent d'une situation à l'autre ?
- question 2 : est-ce qu'il existe un lien entre les raisonnements identifiés pour un même étudiant dans deux situations différentes ?

C.3. Méthodologie d'expérimentation

C.3.1. Justification de la méthodologie et description de l'expérimentation

Une étude préliminaire a tout d'abord été effectuée afin de vérifier le fonctionnement des outils méthodologiques utilisés dans les études précédentes, de l'améliorer et de l'adapter à nos situations. Ensuite, pour répondre aux deux questions de recherche, j'ai utilisé cet outil pour recueillir les raisonnements des étudiants sur l'exactitude de la mesure dans différents contextes et activités. Ainsi, contrairement à l'étude de Séré, Journeaux, Larcher (1993) dans laquelle les étudiants devaient suivre une procédure expérimentale pas à pas, j'ai créé une

mission de mesurage au cours de laquelle les étudiants sont fortement engagés puisque l'élaboration du protocole est à leur charge. La situation d'élaboration de protocole a été choisie parce qu'elle permet de suivre les différentes propositions faites dans diverses études (Séré et Beney, 1997, Leach *et al.*, 2005, Karelina et Etkina, 2007). En effet, cette situation comporte des possibilités d'exploration et plusieurs possibilités de prise de décision, ce qui n'existe pas dans le cas de l'exécution d'un protocole expérimental. De plus, la situation doit leur permettre d'exprimer ce qu'ils pensent sans restriction. Pour qu'ils ne se focalisent pas sur la manière dont l'enseignant va les évaluer, nous leur demandons de concevoir et de rédiger leur protocole pour d'autres étudiants. Cela suppose de donner un grand nombre d'informations nécessaires à l'exécution du protocole (Marzin, De Vries, 2008). Enfin, nous leur permettons de prendre du recul sur leur protocole en leur procurant un exemple de protocole rédigé par d'autres étudiants (mais en réalité par nous) qu'ils doivent exécuter avant de le critiquer. Cette première expérimentation a été réalisée en deux parties : une partie effectuée en TD (réponse à un questionnaire : situation Q) et une partie effectuée en TP (élaboration d'un protocole et évaluation d'un protocole : situations D et E). Les situations D et E ont eu lieu lors d'une séance habituelle (l'expérimentation ayant lieu sur la première moitié d'un TP de quatre heures), environ 6 semaines après un premier TP initiant les étudiants aux problèmes liés à la mesure et à l'exactitude. La situation Q a eu lieu une à deux semaines plus tard (selon les groupes), au cours d'une séance de TD.

C.3.2. Echantillon d'étudiants

Cette étude a été réalisée à l'université Joseph Fourier-Grenoble 1 à Grenoble à l'automne 2007 (premier semestre) avec des étudiants engagés dans une licence de sciences expérimentales et technologique. L'échantillon comportait quarante étudiants pour le TD (situation Q) et les quarante mêmes étudiants pour le TP (situations D et E), la plupart âgés entre 18 et 19 ans. Ces étudiants effectuaient un des quatre parcours de spécialité suivants : génie civil, physique et géologie, physique et biologie, ou chimie. La majorité d'entre eux avaient passé leur bac l'année précédente. Ils avaient tous effectué un parcours scientifique au lycée, en grande majorité dans une série S (3 % en STI). Enfin, ces étudiants avaient, très majoritairement, un niveau moyen : 84 % d'entre eux avaient obtenu une mention « passable » ou « assez bien » à leur baccalauréat. Les étudiants de chacun des quatre parcours de spécialité ont été regroupés par sections qui suivent toutes le même module TP/TD de physique durant lequel j'ai effectué cette étude.

C.3.3. Conditions expérimentales

C.3.3.1. Organisation temporelle

Dans cette expérimentation, les étudiants ont tout d'abord réalisé la séance de TP. Ils avaient trois quarts d'heure pour concevoir le protocole. Puis une heure et quart pour exécuter et évaluer un protocole prétendu provenir d'un autre binôme. Ensuite lors d'un TD effectué une à deux semaines après, les étudiants avaient 20 minutes pour répondre à un questionnaire.

C.3.3.2. Types de données recueillies

Dans le cas du questionnaire (situation Q, voir Annexe 2, G.2.1), les réponses obtenues et analysées sont des réponses ouvertes liées à un choix de réponses multiples. Les étudiants répondent individuellement à ces questionnaires. Ils doivent choisir une des trois réponses proposées puis se justifier (voir encart 1). L'analyse porte essentiellement sur les justifications proposées par les étudiants. Le questionnaire a été distribué sous format papier.

Dans le cas de l'activité d'élaboration de protocoles (situation D, voir Annexe 2, G.2.2.1), les étudiants doivent créer leur propre protocole en binôme. Pour cela, ils ont six étapes à remplir sur feuille en définissant des actions que d'autres étudiants auront à suivre. L'ensemble de ces actions doit mener le binôme qui recevra ce protocole à faire une proposition de réponse. La manière et le style des actions à effectuer sont libres. Les binômes complètent un formulaire papier et seul le protocole final est recueilli. L'analyse de ces protocoles se fait sur les actions proposées par les étudiants. Dans le cas de la situation d'évaluation de protocole (situation E, voir Annexe 2, G.2.2.2), les binômes exécutent puis évaluent le protocole qui leur a été fourni en répondant à deux questions ouvertes sur format papier. Les réponses sont classées selon les raisonnements utilisés.

Les interventions ont été effectuées lors de séances de TP ou TD habituelles. Il a été demandé à chaque enseignant de ne pas intervenir et de laisser les étudiants et binômes réfléchir par eux-mêmes. Cette consigne a été suivie et les résultats obtenus ne dépendent donc pas des interventions d'un enseignant.

C.3.1. Description de l'expérimentation

C.3.1.1. *Objectif*

L'objectif de cette première expérimentation est de pouvoir vérifier une hypothèse portant sur le contexte d'élaboration de protocole. Plus exactement, je suppose que lorsque les étudiants ont à élaborer un protocole de mesure en manipulant des instruments, ils utilisent des stratégies (ensemble d'actions) basées sur des raisonnements différents de ceux utilisés lorsqu'ils ont à répondre à un questionnaire, c'est à dire une situation d'élaboration sans manipulation. J'utilise aussi cette étude pour analyser l'efficacité de mon outil de classement des réponses selon trois raisonnements. Cet outil est tiré de l'étude de Buffler *et al.* (2001) et a été modifié afin de pouvoir classer les réponses des étudiants lorsqu'ils élaborent un protocole en manipulant des instruments de mesure.

The diagram shows three cartoon characters, A, B, and C, each with a speech bubble containing a statement. Below them is a question and a response box.

Character A: Je pense que nous devrions lancer la balle *encore quelques fois* de la même hauteur et mesurer *d* à chaque fois.

Character B: Pourquoi? Nous avons déjà le résultat. Nous n'avons pas besoin de relancer la balle.

Character C: Nous devons relancer la balle sur la pente *encore une fois* à partir de la même hauteur.

Question: Avec quel étudiant êtes-vous le plus d'accord?

Response box: A B C

Encart 1. Question RD de la situation Q

C.3.1.2. Description

Pour la situation de questionnaire (Q), nous avons repris une partie de chacun des questionnaires développés par les groupes de Buffler *et al.* et d'Evangelinos *et al.*, pour constituer un questionnaire qui comporte trois questions (voir Annexe, F.2.).

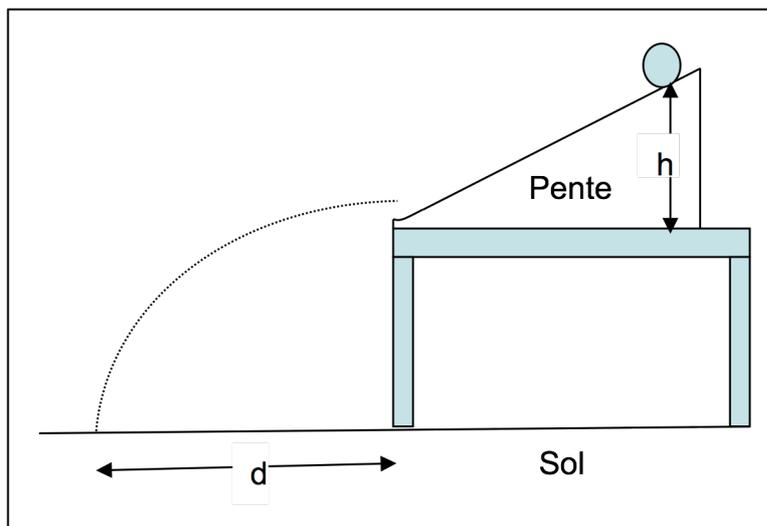
La première question se rapporte à l'interprétation d'une valeur singulière (T). Il s'agit de justifier la confiance que l'on peut accorder à une valeur de temps lue sur un instrument. Les deux questions suivantes se réfèrent à l'étape de recueil de données et doivent permettre de récolter des justifications concernant le fait de prendre une ou plusieurs valeurs : répéter une mesure de distance (RD) puis répéter une mesure de distance encore une fois (RDA). Les situations expérimentales sont différentes. Dans la première question, il s'agit d'une prise de mesure de temps avec un instrument de haute précision, tandis que les deux questions suivantes se basent sur une situation expérimentale de mécanique (voir encart 2).

	Thème	Études
Temps (T)	Prise de décision à partir d'une valeur singulière de lecture de temps.	Evangelinos et al. (2002)
Répéter une mesure (RD)	Choix de répétition de mesure après la prise d'une valeur de distance dans un problème de mécanique.	Bufler et al. (2001)
Répéter une mesure encore une fois (RDA)	Choix de répétition de mesure après la prise de deux valeurs dans le même problème que RD.	

Tableau 2. Description des trois questions de la situation Q

Dans cette expérience, la balle va atterrir à différents endroits selon la position initiale, qu'il est difficile de déterminer dans ce cas-là. La mesure de distance est censée être effectuée avec une règle. Les étudiants répondent individuellement à ce questionnaire. Dans ce questionnaire, même si l'exemple d'expérimentation est simple, il reste abstrait car les étudiants ne peuvent pas le contrôler et en modifier les variables. Ils peuvent seulement en imaginer le dispositif et son utilisation au travers du schéma donné. Les étudiants n'ont pas de modèle théorique pour analyser la situation et la tâche à effectuer est reproductible. De plus, ils n'ont pas de décision à prendre pour répondre à un problème de physique.

Dans les situations d'élaboration de protocole (D) et d'évaluation (E) (voir annexe 2, G.2.2), les étudiants travaillent en binômes. Nous avons choisi un TP d'optique géométrique qui a été modifié de manière à ce que les étudiants aient des décisions à prendre liées à des problématiques d'exactitude de la mesure. Dans ces situations, nous utilisons un domaine de la mesure physique (l'optique) qui a été déjà étudié par d'autres chercheurs (par exemple Fondère, Pernot, Richard-Molard, 1998). De plus, c'est un sujet (mesure d'un indice optique) qui se prête à la conception de protocoles par les étudiants puisqu'ils l'ont déjà étudié en classe de seconde et qu'il est relativement simple, au niveau pratique et théorique. Les étudiants ont à déterminer un liquide contenu dans un demi-cylindre de plexiglas, à partir d'une ou plusieurs mesures de son indice optique. Ils disposent pour cela d'un rappel théorique sur la loi de Snell-Descartes et d'un tableau de valeurs d'indices de référence. Du matériel est disposé sur la paillasse. Ils doivent construire eux-mêmes un instrument de



Encart 2. Schéma de l'expérience présentée dans la situation Q.

mesure des angles d'incidence. Ils doivent construire eux-mêmes un instrument de mesure des angles d'incidence et de réfraction, à partir d'une ébauche de vernier et d'un rapporteur. La situation D dure quarante-cinq minutes durant lesquelles les étudiants ont un quart d'heure pour tester leur protocole à la fin. Cette situation se démarque de la situation de questionnaire (Q) par le fait que :

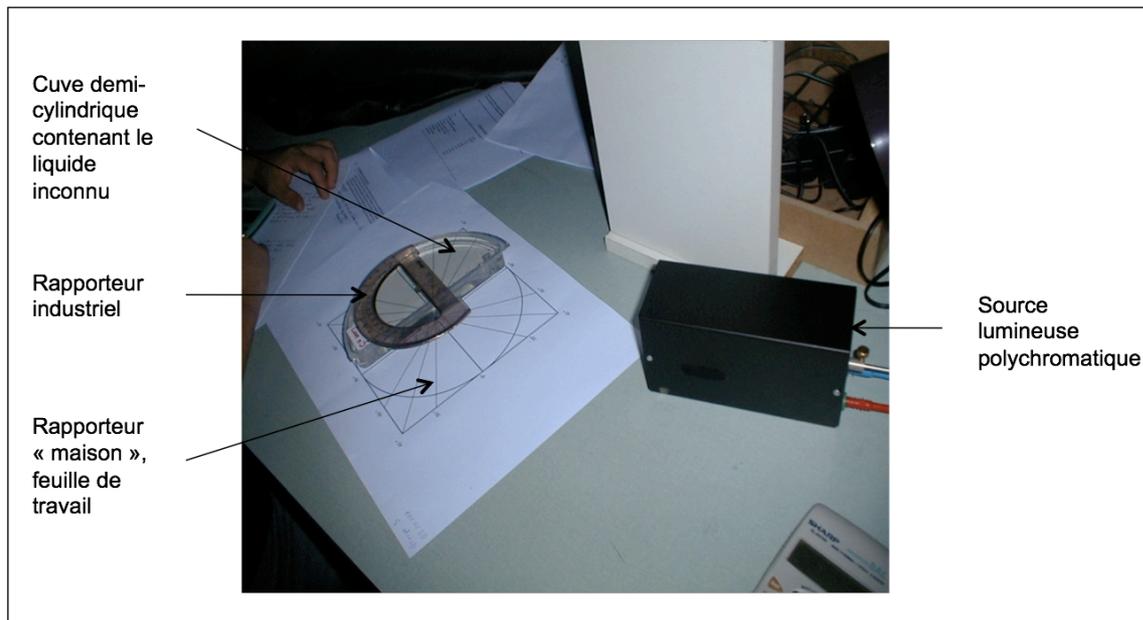
- l'aspect manipulatoire de la conception de protocole est mis en avant,
- les conditions initiales ne sont pas fixées (telles que l'alignement du rayon avec le zéro du système de mesure d'angle, ou encore la largeur du faisceau),
- il existe un modèle théorique pour analyser l'expérimentation,
- les étudiants ont à concevoir le protocole pour répondre à un problème,
- ils ont une liste de valeurs de référence pour prendre leur décision.

Ensuite, dans la situation E, les étudiants ont une heure et quart pour exécuter puis évaluer un protocole supposé provenir d'un autre binôme d'étudiants. Il y a trois protocoles possibles. Ils ont été distribués au hasard aux différents binômes. Chacun de ces protocoles est rédigé selon le même format que celui demandé aux étudiants de manière manuscrite. Chaque protocole a été, en réalité, conçu par les chercheurs en suivant une stratégie typique de chacun des trois raisonnements (voir tableau 3). Le protocole avec une stratégie suivant *le raisonnement Point* est le protocole le plus rapide à exécuter. Sa conclusion demande de refaire plusieurs mesures afin d'obtenir une valeur correspondant exactement à une valeur d'indice d'un liquide. Celui dont la stratégie suit un *raisonnement Mixte* décrit des actions qui correspondent en partie au schème de raisonnement approximé défini par Evangelinos, Psillos, Valassiades (2002). Son niveau de complexité coïncide avec un niveau intermédiaire que je suppose pouvoir être utilisé par tous les étudiants. Enfin le protocole suivant une stratégie de *type Ensemble* est le protocole le plus long à exécuter. Sa stratégie se rapproche le plus du *raisonnement Expert* et fournit de nombreuses informations sur la manière de reconnaître les sources d'incertitudes, de les traiter et de définir un intervalle pour prendre une décision.

La partie sur l'évaluation du protocole était composée de deux questions : une question sur les différences entre le protocole élaboré par le binôme et celui qui leur avait été donné, et une question sur les améliorations à apporter au protocole donné afin d'obtenir une meilleure mesure.

On peut noter que la prise de valeurs se fait, entre autres, à l'aide d'un rapporteur, un instrument similaire à celui qui est utilisé dans une partie des questions du questionnaire, c'est-à-dire la règle (RD et RDA en annexe 2, G.2.1.). Cette similarité se caractérise par

l'utilisation d'une échelle graduée pour pouvoir lire une valeur et rend les situations comparables du point de vue du mesurage.



Encart 3. Photo de l'expérimentation menée par les étudiants

C.3.2. Méthodologie d'analyse :

Mon objectif général est de connaître, puis de comparer les stratégies (ensemble des actions proposées dans le protocole élaboré) des étudiants en fonction de leur niveau de raisonnement. Pour cela, j'utilise comme base les outils de classement proposés dans la littérature. Je les adapte à mon contexte, en particulier sur des points qui sont présents dans l'élaboration d'un protocole de mesure. Cela a abouti à un premier modèle des raisonnements (tableau 3).

Lors de cette expérimentation, j'ai réutilisé la classification en trois raisonnements proposée par Buffler *et al* (2001). J'ai défini quatre points qui semblaient nécessaires pour déterminer le raisonnement qu'une stratégie pouvait suivre lors de l'élaboration d'un protocole. Tout d'abord, par la définition des objectifs de la mesure, c'est-à-dire le type de résultat à obtenir par rapport à la grandeur à mesurer. Ensuite, en décrivant la place et le type d'ensemble de valeurs que les étudiants demandent de prendre. Enfin, un point concerne la confiance que les étudiants mettent dans l'acte de mesurage et dans le résultat obtenu. C'est dans ce dernier point que les problèmes sur l'exactitude de l'acte de mesurage peuvent être soulevés. Pour finir, un point donne un ou des exemples de stratégies que les étudiants pourraient suivre dans chaque type de raisonnement.

	Raisonnement Point (P)	Raisonnement Mixte (M)	Raisonnement Ensemble (S)
Objectif	Il existe une vraie valeur (valeur de référence ou bonne valeur, donnée par la littérature, une formule	Obtenir une mesure de la grandeur qui soit la plus proche possible d'une valeur de référence ou « bonne	Représenter la quantité mesurée à l'aide d'une valeur et d'une indication de l'incertitude liée à cette valeur. La

	théorique ou l'enseignant), qui peut être obtenue à l'aide d'une seule lecture.	valeur ».	comparaison de cette représentation avec une valeur de référence peut permettre d'identifier une caractéristique de la grandeur mesurée (ici, le type de liquide). L'ensemble de valeurs mesurées pour obtenir cette représentation définit un intervalle dans lequel la valeur de la grandeur peut se trouver.
Ensemble de valeurs	Une seule valeur peut être suffisante pour obtenir la vraie valeur. Chaque mesure est indépendante. Il faut prendre le moins de valeurs possible pour obtenir cette vraie valeur.	La collecte de quelques valeurs suffit.	Suffisamment large pour effectuer une étude statistique de ces données et obtenir une réponse (ici, afin de pouvoir discriminer les différents liquides dans la liste de référence)
Confiance	Chaque valeur correspond à une vraie valeur donc il n'y a pas d'erreur possible, seulement des valeurs à rejeter. Si l'expérimentateur ne trouve pas la bonne valeur c'est parce qu'il ne suit pas avec assez de soin le protocole de mesure.	L'obtention d'une valeur exacte est impossible car il existe toujours des erreurs lors de la manipulation qui peuvent être dues au manipulateur ou au matériel. Ces erreurs sont impossibles à quantifier et à éviter. Obtenir des écarts entre les différentes valeurs mesurées est considéré comme problématique (insuffisamment précis).	Comme il existe toujours des incertitudes sur la mesure, il est important de chercher les facteurs à l'origine de ces incertitudes et d'essayer de les évaluer. La dispersion des valeurs est un fait normal.
Stratégies	Obtenir la vraie valeur (de référence) à l'aide d'une mesure effectuée avec le maximum de	La collecte de quelques valeurs suffit pour valider une première	Obtenir un large ensemble de valeurs afin d'effectuer la meilleure étude statistique

	soins possible. Le résultat prend la forme d'une valeur numérique avec un maximum de chiffres significatifs après la virgule, identiques à ceux de la valeur de référence. Si ce résultat n'est pas identique à la valeur de référence, il faut recommencer la mesure.	mesure, pour comparer les valeurs entre elles ou encore pour effectuer une moyenne (valeur médiane) afin d'obtenir la meilleure approximation. Plus la valeur est proche d'une valeur de référence, plus le résultat est « bon ».	possible, pour évaluer un intervalle en fonction des incertitudes et obtenir la probabilité de présence de la vraie valeur sur l'intervalle. La forme de la représentation peut être soit graphique (2D ou 3D), soit numérique (deux nombres représentant un intervalle), soit une échelle de valeur (graphique 1D).
--	--	---	--

Tableau 3. Modèle des raisonnements dans la première expérimentation

Dans ce modèle, le raisonnement Point est considéré comme le raisonnement le plus proche du raisonnement commun et le raisonnement Ensemble comme le raisonnement le plus proche du raisonnement expert, c'est à dire celui d'un métrologue.

Afin d'étudier les raisonnements des étudiants en fonction de la situation, nous avons utilisé le modèle des raisonnements décrits dans le tableau 3. Le classement des réponses données par les étudiants dans chacune des situations, en fonction des trois raisonnements, a été effectué indépendamment par deux juges. Le kappa de Cohen (test d'accord entre deux juges) effectué à partir de ces deux classements a donné un résultat modéré. Après discussion sur chacun des cas litigieux, les deux juges sont arrivés à un accord et à des modifications dans l'outil de classement utilisé : cette méthode itérative d'aller-retour entre l'outil de classement et les données a permis de finaliser un outil permettant d'analyser les raisonnements des étudiants. Enfin, pour répondre à la seconde question, à savoir la dépendance des raisonnements utilisés par un même étudiant en fonction des situations, nous avons effectué un test d'indépendance (χ^2) entre la situation D et les deux autres situations.

C.4. Analyse a priori

C.4.1. Variables de la situation

C.4.1.1. Formes des situations

Nous avons étudié trois situations afin de pouvoir répondre à la question posée. Le questionnaire reprend la forme des questionnaires utilisés dans l'étude de Buffler, Allie, Lubben, Campbell (2001). Afin de bien séparer les situations selon les contextes, ce questionnaire est distribué lors d'un TD, alors que la situation d'élaboration et d'évaluation de protocole est donnée lors d'un TP. Cette différence de contexte doit permettre d'observer si les étudiants agissent et raisonnent différemment lorsqu'ils « font » la science au travers d'expérience scientifique (Ryder and Leach, 1999).

La forme du protocole d'élaboration donné aux étudiants a été conçue de la manière la plus ouverte possible. Ainsi les étudiants peuvent élaborer leur protocole suivant leur propre stratégie et ne pas utiliser des stratégies liées directement à des protocoles de TP suivies habituellement en classe. Seuls les titres des parties du protocole sont spécifiés.

Etapes du protocole

1er étape	Principe de la mesure
2e étape	Matériel à utiliser
3e étape	Schéma de l'expérimentation
4e étape	Réglages
5e étape	Recueil des données
6e étape	Traitement des données
7e étape	Interprétation et conclusion

Tableau 4. Etapes données dans le protocole de la situation D

Ces titres sont courts pour ne pas suggérer d'actions aux étudiants et ne pas influencer leur stratégie. La première étape est donnée aux étudiants. Ceux-ci n'ont aucune action à définir. Les trois étapes suivantes : (2) à (4), doivent me permettre d'observer si les étudiants sont capables d'avoir une vue d'ensemble sur leur protocole de mesure. Plus précisément, de savoir si les étudiants fournissent un travail portant sur l'exactitude de la mesure liée au matériel et à son réglage (sources d'incertitudes, réduction d'erreurs, évaluation d'incertitudes). Lors de l'étape de recueil des données (5), nous attendons que les étudiants traitent des problèmes des erreurs et des incertitudes lors de la prise de mesure, ainsi que de la mise en place de traitements statistiques des données ou/et par identification d'un intervalle de données. L'étape de traitement des données (6) doit permettre d'obtenir des actions reliées aux calculs de valeurs, à la représentation des données, à la manière de choisir les données valables ou non valables pour le traitement et à l'introduction d'outils de calculs statistiques. Enfin la partie d'interprétation et de conclusion sur le résultat (7) doit permettre, à l'aide de la liste de valeurs d'indices de références (voir encart 4), d'obtenir des actions directement liées à la manière de mettre en relation le résultat obtenu et la grandeur mesurée. Les actions attendues se partagent entre la recherche d'un indice identique au résultat (Point), la recherche d'un indice proche du résultat (Mixte), la prise en compte des incertitudes sur le résultat (Ensemble). Contrairement aux deux autres, dans le raisonnement Ensemble il n'est pas toujours possible de prendre une décision (si l'intervalle obtenu contient plusieurs indices de références).

Je suppose que les étapes (2) à (4) ainsi que la dernière (7) sont des étapes que les étudiants auront du mal à construire, car elles sont rarement à leur charge lors des situations de TP habituelles. Au contraire, les parties (5) et (6) seront sûrement beaucoup plus remplies, car proches des activités effectuées habituellement. Les étudiants pourront donc utiliser des actions ou des stratégies déjà rencontrées.

L'évaluation de protocole (situation E) prend la forme de deux questions ouvertes. Dans la première, les étudiants doivent classer, selon leurs importances, les différences qu'ils notent entre leur protocole et celui qu'ils ont exécuté. La réponse doit me permettre d'observer les caractéristiques de l'acte de mesurage sur lesquels les étudiants se focalisent. Le protocole fourni, est décrit comme provenant d'un autre binôme, ce qui doit pousser les étudiants à ne pas effectuer a priori, de jugements de qualité sur ce protocole. La seconde question leur

demande d'améliorer le protocole fourni, afin de les inciter à définir sous forme d'actions, les éléments du protocole qui leur semblent les plus importants, tout en les verbalisant.

Liquides	Indice optique
Vide	1
Air	1,00029
Oxygène liquide	1,221
Eau à température ambiante	1,333
Ethanol	1,36
Solution sucrée à 30%	1,38
Solution sucrée à 100%	1,41
Glycérine diluée	1,45
Plexiglas	1,49
Verre classique	1,52
Polystyrène	1,55

Encart 4. Liste d'indices de référence

C.4.1.2. Destinataire du protocole

Les étudiants avaient pour tâche d'élaborer un protocole qui était destiné à un autre binôme d'étudiants. Cette variable place les étudiants (élaborateurs) dans une position de technicien. En effet, ils doivent construire un protocole qui permettra ensuite aux étudiants qui le recevront de prendre une décision viable. Enfin, les étudiants doivent endosser la responsabilité du résultat d'un autre binôme et donc de sa réussite. On peut donc s'attendre à ce que les étudiants élaborent des protocoles complets et mobilisent pour cela toutes leurs connaissances.

C.4.2. Les variables didactiques du TP d'optique

L'objectif du TP d'optique est d'identifier un liquide à l'aide de son indice optique. Je définis, dans le tableau suivant (tableau 5), les variables, les valeurs possibles de ces variables et celles qui ont été choisies. Les valeurs soulignées correspondent aux valeurs choisies dans cette expérimentation.

Objet de la variable didactique	variable didactique	Différentes valeurs possibles de la variable didactique
Source lumineuse	VD1: Nature de la source	<u>laser (monochromatique, intensité et largeur du faisceau fixe)</u>
		<u>lampe (polychromatique, intensité et largeur du faisceau variable)</u>
Éléments de réglages	VD2: Source lumineuse	
	Présence d'une tirette (possibilité de faire varier la	oui non

		oui
	distance ampoule / lentille)	non
		<u>oui pour l'une, non pour l'autre</u>
	Présence d'une fente	oui
	(possibilité d'ajuster la largeur du faisceau)	non
		<u>oui pour l'une des sources, non pour l'autre</u>
	Type de support	fixe
	(possibilité de régler la hauteur du faisceau)	réglable
		<u>fixe pour l'une des sources, réglable pour l'autre</u>
	VD3: Schéma indiquant la place du 1/2 cylindre par rapport à l'instrument de mesure	oui
		non
	VD4: Fixation du système de mesure dans son ensemble	oui
		en partie
		<u>non</u>
	VD5: Utilisation d'un plateau tournant avec un axe de rotation	fixe
		<u>libre</u>
	VD6: Feuille de travail	
	Taille	petite par rapport à l'espace disponible
		<u>grande par rapport à l'espace disponible</u>
		ajustée
	Forme	ronde
		<u>carrée</u>
Instrument de	VD7: Taille	<u>ajustée à celle du demi-cylindre</u>

mesure d'angle		<u>ajustée à celle du demi-cylindre</u>	
		plus grande que celle du demi-cylindre	
		plus petite que celle du demi-cylindre	
		ajustée à celle d'un rapporteur industriel	
		plus petite que celle d'un rapporteur industriel	
		<u>plus grande que celle d'un rapporteur industriel</u>	
	VD8: Matière et instructions (possibilité de le compléter) VD9: Graduation	possibilité de le compléter	
		impossibilité de le compléter	
		<u>à compléter si nécessaire</u>	
		tous les degrés	
		tous les 3 degrés	
		tous les 5 degrés	
		<u>quelques axes (0°, 30°, 45°, 90°)</u>	
aucune			
Représentation mathématique évoquant la loi de Snell-Descartes	VD10: Formule: $n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(r)$	<u>oui</u>	
		non	
	VD11: Fonction $\sin(i) = f(\sin(r))$	<u>oui</u>	
		non	
	VD12: Graphe	axes et points	
		axes	
		descriptions textuelles	
		<u>aucune</u>	
	VD13: Cas particulier: si $i=0^\circ$ alors $r=0^\circ$	<u>oui</u>	
		non	
	Liste d'indices de	VD14: Nombres d'indices	un

référence	pertinents	un
		<u>plusieurs</u>
	VD15: Ecart entre les valeurs des indices pertinents	<u>faible</u>
		grand
	VD16: Nombres de chiffres significatifs	2
		<u>plus de 2</u>
	VD17: Présence d'indices non pertinents	<u>oui</u>
		non
Contenant du liquide à caractériser	VD18: Forme	rectangulaire
		<u>demi-cylindrique</u>
		ronde
	VD19 : Epaisseur des parois	<u>fines</u>
		épaisses

Tableau 5. Variables didactiques fixées dans l'expérimentation d'optique pour la première expérimentation

Les valeurs des variables doivent permettre aux étudiants d'adapter leur stratégie de résolution du problème durant la situation. Dans les paragraphes suivants je vais décrire chacune de ces valeurs, ainsi que les effets que je m'attends à voir dans les stratégies utilisées. Un choix de la source lumineuse (VD1) a été laissé aux étudiants. Il devait favoriser l'appréciation et la comparaison des sources d'erreurs liées à chacune d'elles et ainsi, favoriser des réflexions autour de la précision de la mesure.

Ainsi, la possibilité de faire varier la nature du faisceau lumineux incident (parallèle, convergent ou divergent) par le biais d'une tirette, et sa largeur au moyen d'une fente, ou encore sa hauteur grâce à un support (VD2), doit inciter les étudiants à réaliser des actions de réglages liées à la diminution des sources d'erreur.

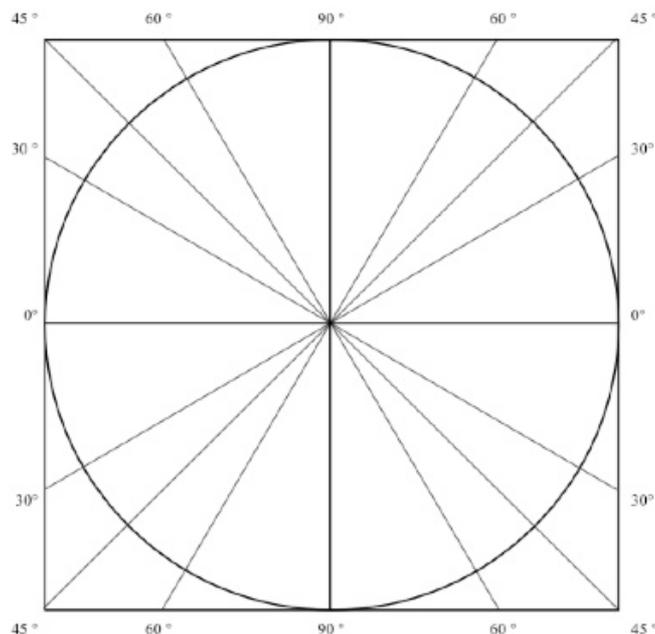
La feuille de travail (voir encart 7) indique par un cercle la zone où peut être placé le demi-cylindre (VD3-VD7). De plus, l'étape de schéma expérimental donne la position par rapport à la lampe du demi-cylindre pour effectuer la mesure. Ces valeurs ont été choisies de manière à ce que les étudiants perdent peu de temps sur des aspects de la manipulation. Le cercle dans lequel le demi-cylindre doit être placé n'est pas gradué. Il peut tout de même évoquer aux étudiants un rapporteur industriel et peut ainsi les orienter vers une stratégie de graduation de cette feuille de travail, dans le but de prendre plusieurs points de mesure ou encore en vue de lire directement la valeur des angles incidents et réfractés. Ainsi, les étudiants ont l'occasion de réfléchir à leur recueil de données. S'ils font le choix de graduer leur feuille de travail, ils

pourront être confrontés à des problèmes d'incertitude dans le cas où au moins un des rayons incidents ou réfractés se situerait entre deux graduations.

Le fait qu'aucun instrument à utiliser ne soit fixé (VD4) oblige les étudiants à effectuer des réglages sur chacun d'eux. S'ils s'orientent vers un processus de résolution du problème présentant un recueil de plusieurs données, ils seront confrontés à ces réglages à chaque nouvelle mesure. Ainsi, ils devront sélectionner les précautions à prendre et les mentionner dans leur protocole.

La taille et la forme de la feuille de travail (VD6) sélectionnent les différents processus de résolution pouvant être mis en œuvre. Une grande feuille de travail, par rapport à l'espace disponible, est peu commode à bouger et nécessite de la part des étudiants de réfléchir à la place, aux distances et aux interactions entre les instruments, pour obtenir la meilleure lecture possible. Pour la même raison, l'axe de rotation du « plateau tournant » (feuille de travail) est libre et doit être fixé par les étudiants.

Un instrument de mesure d'angles est dessiné sur la feuille de travail (voir encart 7), et est d'une taille ajustée à celle du demi-cylindre contenant le liquide inconnu, mais plus grande que celle d'un rapporteur industriel (VD7). Cette valeur a été fixée pour deux raisons. Premièrement pour une raison pratique, car la lecture de l'angle de déviation n'est pas possible au travers de la cuve. Et deuxièmement pour une raison liée à l'habitude des étudiants d'utiliser des outils « technologiques » auxquels ils font entièrement confiance, sans se soucier de repérer des problèmes d'incertitudes qui peuvent y être liés. C'est la raison pour laquelle un instrument fait-main, proche d'un instrument plus technologique (rapporteur industriel), est destiné à les faire réfléchir sur la validité et les conditions d'utilisation d'un tel instrument.



Encart 5. Feuille de travail

Pour laisser aux étudiants le choix de compléter ou non cet instrument de mesure, il est nécessaire qu'ils aient la possibilité de le faire, autant par les consignes données, que par la matière de la feuille de travail (VD8). Compléter l'instrument de lecture d'angle, que ce soit par des graduations ou que ce soit à l'aide de points se référant aux lectures faites, doit faciliter la tâche de prise de décision des étudiants ainsi que la reconnaissance de sources

d'erreurs liées à la lecture de valeurs (épaisseur du rayon, espace entre les graduations, conditions limites).

Quelques axes sont déjà tracés sur cet instrument de lecture de l'angle (VD9). Ces axes peuvent avoir différents effets : inciter les étudiants à prendre plusieurs points de mesure, et ainsi les pousser à réagir face à la dispersion de leurs mesures, ou encore les faire discuter de l'incertitude ou de l'erreur de leur mesure si un des rayons, incident ou réfracté, devait se trouver entre deux de ces axes.

Concernant la représentation mathématique de l'expérimentation, la théorie de la loi de Snell-Descartes est donnée dans une annexe théorique sous la forme $n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(r)$ (VD10). Cette formule facilite l'identification des variables pertinentes dans cette expérience, et la distinction entre celles à trouver et celles à mesurer. Cependant, la transformation de cette formule sous la forme $n_2 = n_1 \times \sin(i) / \sin(r)$ peut favoriser un processus de résolution n'utilisant qu'un seul point de mesure. Cette forme pourrait donc amener une utilisation des stratégies liées au raisonnement Point. Ainsi, cette formule mathématique est aussi présentée sous forme de fonction, $\sin(i) = f(\sin(r))$ (VD11), favorisant un processus de résolution passant par le recueil de plusieurs données. Un graphe aurait pu (VD12) mettre directement en évidence la relation linéaire entre $\sin(i)$ et $\sin(r)$ et favoriser le tracé d'une droite. Or cette valeur aurait pu pousser à l'utilisation d'une stratégie caractéristique d'un raisonnement Ensemble. L'appel à l'utilisation d'une fonction permet de rappeler de manière indirecte aux étudiants que l'utilisation d'un graphe est possible.

Le cas particulier " $i=0^\circ$, $r=0^\circ$ " (VD13) peut induire les étudiants à développer une stratégie basée sur un point de référence (0,0), en vue d'identifier précisément le centre du demi-cylindre ou encore la position exacte du 0° par rapport au demi-cylindre. Ces actes peuvent être effectués pour deux raisons : pour une raison pratique ou pour une raison plus liée à la précision de la mesure telle qu'un réglage correct du matériel et avoir une valeur de référence sûre.

L'étape (7) du protocole, conclusion et interprétation, doit nous permettre d'observer les stratégies que les étudiants suivent pour utiliser leur résultat par rapport à la grandeur à définir. Afin que chacun des raisonnements soient présents, des stratégies spécifiques sont observables à l'aide des valeurs de variables choisies. Pour que les étudiants puissent avoir la possibilité de soulever des problèmes liés à la qualité du résultat et de l'acte de mesurage, et qu'un choix existe réellement entre les différents indices, plusieurs indices optiques avec de faibles écarts, ont été choisis (VD 14 et 15). Afin que les indices puissent être véritablement différenciables et que les étudiants aient réellement à décider une stratégie à suivre, des indices de réfraction comportant un nombre suffisant de chiffres significatifs (VD16) ont été donnés. Le nombre de chiffres significatifs a été déterminé en fonction de l'incertitude minimale pouvant être obtenue avec ce système de mesurage (pour des graduations tous les degrés, le Δn vaut $1,3 \cdot 10^{-2}$, pour de l'eau pure et un rayon réfracté égale à 45° ¹). A l'aide d'une stratégie proche d'un raisonnement expert, les étudiants peuvent répondre, dans la

¹ Les seules sources d'incertitude jouant sur la décision du type de liquide utilisé sont la distance entre les graduations et la largeur du faisceau de la source lumineuse. La valeur présentée a été obtenue à l'aide de la relation suivante :

$$n_{\text{liquide}} + \Delta n = n_{\text{air}} \cdot \frac{\sin(i)}{\sin(r + 1^\circ)}$$

d'où :

$$\Delta n = n_{\text{liquide}} \cdot \frac{2 \cdot \text{Pi}}{360} \cdot \cos(r)$$

plupart des cas, qu'ils ne sont pas en mesure de donner une réponse au problème (l'intervalle du aux incertitudes recouvre plusieurs valeurs de références). La présence d'indices non pertinents (VD17), relatifs à des solides ou à des gaz, doit provoquer des réactions de la part des étudiants qui trouveraient une valeur expérimentale ne correspondant pas à un liquide, alors qu'ils doivent identifier un liquide. Ils sont ainsi amenés à s'interroger sur la rigueur de leur protocole, ou sur les erreurs ou les incertitudes de leur résultat, et donc éventuellement à modifier leur protocole.

Enfin l'utilisation d'un demi-cylindre (VD18) pour contenir le liquide doit permettre de faciliter le recueil de plusieurs données en séries. L'épaisseur des bords de la cuve (VD19) ne jouant un rôle que très limité sur l'incertitude totale obtenue, il est tout de même intéressant de voir si les étudiants s'y intéressent, la quantifient et, soit la rejettent, soit l'intègrent dans les calculs du traitement des données.

C.4.3. Deux contextes différents

Cette première étude se base essentiellement sur la comparaison des raisonnements utilisés par les étudiants dans le cadre d'un questionnaire distribué en TD et ceux utilisés dans le cadre de l'élaboration d'un protocole lors d'un TP. De nombreux points différencient ces deux contextes.

- (1) Du point de vue du problème de physique, par rapport : aux domaines (mécanique vs. optique), aux tâches demandées aux étudiants, aux dispositifs expérimentaux, à la présence de modèles théoriques d'analyse, à la présence d'une liste de valeurs de référence pour analyser le résultat obtenu.
- (2) Du point de vue du problème posé à l'élève : résolution d'un problème ou non, présence de questions et de réponses possibles guidant les étudiants ou non, présence de retours du milieu donnés par l'instrumentation, action pensée ou mise en pratique.
- (3) Du point de vue de l'étudiant : réponse pour l'enseignant (ou chercheur) ou pour un autre binôme, présence d'une prise de décision pour résoudre un problème.

Malgré ces nombreuses différences, des similitudes existent et nous permettent de comparer les raisonnements utilisés par les étudiants. Du point de vue du problème de physique, l'aspect lié à l'acte de mesurage est très similaire. Dans les deux cas, il consiste à la lecture d'une valeur à l'aide d'une échelle graduée et, dans les deux cas, l'acte de mesurage peut être répétable. Le questionnaire comporte des tâches de l'acte de mesurage (recueil et traitement de données), qui sont présentes dans le protocole que les étudiants ont à élaborer. La différence porte sur le fait que dans le cas de la situation D, les étudiants sont autonomes (aucune solution ne leur est proposée) dans la manière de définir ces tâches et ont la possibilité de relier ces tâches aux autres tâches de l'acte de mesurage.

C.4.4. Protocoles à exécuter dans la situation d'Evaluation

(Annexes, F.2.3.)

Les trois protocoles ont été élaborés suivant trois stratégies tirées de l'outil de classification établi par le groupe de Buffler *et al.* (2001). Ces trois stratégies peuvent être considérées comme des stratégies « typiques » pour chacun des raisonnements du modèle. Ces stratégies pourraient être produites par les étudiants. Un de ces raisonnements correspond à une stratégie suivant un raisonnement de type Point. Il est demandé au manipulateur de collecter une seule valeur, de calculer directement la valeur de l'indice et de trouver exactement la valeur d'un indice présent dans la liste. L'aspect des réglages et du choix du matériel sont réduits au minimum et aucune attention n'est portée aux problèmes d'erreurs. Un second

protocole correspond à une stratégie suivant un raisonnement Mixte. Le manipulateur doit prendre un maximum de valeurs et calculer une moyenne. L'indice choisi est celui dont la valeur est la plus proche de cette moyenne. Le problème des erreurs y est très peu développé mais les réglages sont plus étoffés (faisceau large, graduation tous les degrés, ...). Le dernier des protocoles fourni est élaboré avec une stratégie suivant un raisonnement Ensemble. Dans ce protocole, une grande importance est donnée aux réglages. Les sources d'incertitudes sont identifiées et évaluées. L'ensemble de données est de moyenne importance, de manière à effectuer une représentation graphique où des droites extrêmes, définies par des barres d'erreurs, donnent un encadrement de la valeur vraie. Les manipulateurs ont alors à choisir l'indice du liquide inconnu à l'aide de cet intervalle. Ces trois protocoles sont distribués au hasard, en quantité égale, dans chacun des groupes d'étudiants. Ils doivent permettre aux étudiants de réfléchir sur leur propre protocole tout en leur donnant des exemples de stratégies qui peuvent être différentes de celles qu'ils ont utilisées. Comme nous ne connaissons pas à l'avance leurs stratégies, nous avons donc prévus trois types de stratégies distribuées au hasard, afin d'augmenter les chances que les étudiants obtiennent une stratégie différente de la leur.

C.5. Résultats

C.5.1. Raisonnement des étudiants dans les trois situations

Les réponses données par les étudiants dans les situations Q, D et E ont été catégorisées à l'aide de l'outil de classement. On obtient le tableau 6.

	Situation Q Questionnaire en TD (40 étudiants)	Situation D Élaboration d'un protocole en TP (40 étudiants)	Situation E Évaluation d'un protocole en TP (40 étudiants)
P	0 (0%)	18 (45%)	5 (12.5%)
M	11 (27.5%)	7 (17.5%)	21 (52.5%)
S	29 (72.5%)	11 (27.5%)	14 (35%)
NC	0 (0%)	4 (10%)	0 (0%)

Tableau 6. Raisonnement des étudiants dans les trois situations

Dans le tableau 4, trois grandes tendances ressortent. Durant la situation de référence (la situation Q), les étudiants utilisent en majorité des stratégies correspondant à un raisonnement sur un ensemble de valeurs (72,5%). De plus, aucun des étudiants n'a utilisé de raisonnement Point dans ce contexte. Il faut noter que, même si la très grande majorité des étudiants donne comme réponse la dernière des trois possibilités (recommencer l'expérience pour prendre plus de valeurs), les justifications qu'ils proposent, montrent qu'ils utilisent en fait des raisonnements variés. Ainsi, pour une même réponse, les justifications peuvent engendrer deux classements différents. Ensuite, dans la situation D, les étudiants utilisent principalement des stratégies liées à des raisonnements envisageant la mesure d'une grandeur comme ponctuelle (45%). Les deux autres types de raisonnement sont moins utilisés, mais sont présents en proportion égale. On peut noter aussi que 10% des réponses n'ont pu être classées lors de cette situation. Enfin, à la suite de l'exécution du protocole fourni, les étudiants évaluent ce protocole (situation E) avec des stratégies correspondant à un raisonnement Mixte (52,5%). On note aussi que dans cette situation, le raisonnement Point est moins utilisé que le raisonnement Ensemble.

C.5.2. Indépendance des raisonnements selon les situations

Afin de tester la cohérence des raisonnements utilisés par chacun des étudiants dans les trois situations, nous avons utilisé un test d'indépendance (test du χ^2). Les trois situations ont été comparées entre-elles.

		Situation E		
		P	M	S
Situation D	P	2	11	5
	M	0	3	4
	S	2	5	4

Tableau 7. Répartition des raisonnements utilisés par les étudiants durant la situation D et la situation E

Lors de la comparaison de la situation D et de la situation E, le χ^2 obtenu (2,95 pour 4 degrés de liberté) montre que les raisonnements utilisés dans ces deux situations ne sont pas liés. Ces deux situations diffèrent au niveau de l'activité (élaboration *versus* évaluation), mais dans les deux cas les étudiants sont dans un contexte de TP. Les étudiants passent principalement, dans ce TP, d'un raisonnement Point à un raisonnement Mixte (11 sur 36²) ou Ensemble (5 sur 36) ou bien d'un raisonnement Mixte à un raisonnement Ensemble (4 sur 36). Vingt étudiants ont mobilisé un raisonnement plus élaboré dans la situation E. Neuf étudiants sur trente-six gardent les mêmes raisonnements dans ces deux situations (ils figurent sur la diagonale du tableau). Enfin, seulement sept étudiants sur trente-six utilisent dans la situation E un raisonnement plus basique que dans la situation D (sous la diagonale du tableau).

		Situation D		
		P	M	S
Situation Q	P	0	0	0
	M	4	2	4
	S	14	5	7

Tableau 8. Répartition des raisonnements utilisés par les étudiants durant la situation D et la situation Q

Lors de la comparaison de la situation D à la situation Q, le χ^2 obtenu (0,68 pour 4 degrés de liberté) montre que les stratégies utilisées dans ces situations sont indépendantes. Ceci indique que les étudiants ont des raisonnements à propos de la mesure qui dépendent du contexte (TD ou TP). Un autre point important est que, dans ce cas, on observe que quatorze étudiants sur trente-six passent d'un raisonnement Ensemble dans la situation Q à un raisonnement Point dans la situation D et cinq étudiants sur trente-six passent d'un raisonnement Ensemble à un raisonnement Mixte. Seuls neuf étudiants sont cohérents dans leur raisonnement entre les deux situations.

		Situation D		
		P	M	S
Situation Q	P	0	0	0
	M	2	6	3
	S	3	16	10

² Nous avons exclu, lors de ces tests, les réponses des étudiants qui n'avaient pas pu être classées.

Tableau 9. Répartition des raisonnements utilisés par les étudiants durant la situation E et la situation Q

De même, lors de la comparaison de la situation E à la situation Q, le χ^2 obtenu (0,52 pour 4 degrés de liberté) montre que les raisonnements utilisés dans les différentes situations sont indépendants. Dans cette comparaison, on voit que seize étudiants (sur 36) passent d'un raisonnement Ensemble dans la situation Q à un raisonnement Mixte dans la situation E et que seize étudiants restent cohérents dans leur raisonnement entre les deux situations (tableau 7).

C.6. Discussion

C.6.1. P, M, S : Un modèle suffisant pour classer les raisonnements

Ce modèle de raisonnement est basé sur la méthodologie développée par le groupe de Buffler *et al.* (2001), liée principalement à la manière dont les étudiants raisonnent dans une situation où ils doivent envisager un recueil de données. La prise en compte des justifications des étudiants obtenues dans les deux situations de TP en complément de l'analyse préliminaire, nous a permis d'ouvrir davantage cet outil aux questions de confiance envers les valeurs prises et sur l'objectif qu'a l'étudiant quand il s'engage dans un processus de mesure.

Pour les trois raisonnements, nous avons précisé les caractéristiques principales des deux raisonnements extrêmes (Point et Ensemble), puis défini des indicateurs pour les reconnaître dans les réponses des étudiants et enfin nous avons caractérisé le raisonnement intermédiaire (Mixte) de manière plus complète que dans les études précédentes.

Malgré cela, le grand nombre de réponses non-classées dans la situation D montre que cet outil atteint ses limites : notamment dans le fait d'effectuer un classement uniquement sur le critère du nombre de valeurs à recueillir (dans le cas où il n'y a pas d'autres indicateurs dans la réponse de l'étudiant). Rappelons que ce critère s'énonce ainsi (voir la description des raisonnements P, M et S, tableau 3) : « *le moins possible* » (P), « *quelques valeurs suffisent* » (M) ou « *ensemble large de valeurs* » (S) et la frontière entre ces trois approches n'est pas toujours bien définie. De plus, une correction-type proposée par l'enseignant de ce TP est : « *une valeur est suffisante à condition d'identifier et d'évaluer tous les facteurs d'incertitude* » (fiche-corrigé du TP, à l'attention des enseignants). La détermination des incertitudes, après avoir obtenu une seule valeur, peut donc être un des indicateurs importants du raisonnement Ensemble même si les étudiants ne collectent pas plusieurs valeurs. Cependant, ce cas n'est pas présent dans notre classification. Il faut donc lier l'interprétation de la mesure aux stratégies de recueil de données afin de développer des indicateurs des raisonnements des étudiants plus fiables. Une possibilité est de proposer aux étudiants de choisir parmi plusieurs types de raisonnement qui seraient basés sur des combinaisons entre les manières de recueillir les données (raisonnement Point, Mixte ou Ensemble) et les manières de considérer le résultat d'une mesure et donc de prendre une décision (schème de raisonnement Exact, Approché, Intervalle, de Evangelinos, Psillos, Valassiades, 2002).

Lors de la situation de questionnaire, une des questions élaborées par ce groupe a été posée (question T, Annexe, F.2.1) mais n'a pas été incluse dans les résultats. Notre modèle ne permettant pas de l'analyser.

Cependant nous pouvons affirmer que notre outil de classification a été utile pour obtenir une vision globale des idées développées par les étudiants à propos de la mesure. Même s'il est

nécessaire de l'améliorer, afin de pouvoir affiner ce classement, et ainsi de perdre moins d'informations concernant les stratégies des étudiants se situant dans les limites de nos raisonnements. Cet outil est aussi pertinent pour observer les évolutions des étudiants au travers de différentes activités de TP.

C.6.2. Différents raisonnements dans différentes situations

Le tableau 6 nous permet de visualiser les principaux types de raisonnement utilisés par les étudiants en fonction des situations proposées. Dans la situation Q, les étudiants utilisent majoritairement des stratégies basées sur le raisonnement Ensemble. Rappelons que cette situation avait pour objectif d'obtenir les raisonnements des étudiants dans un contexte ne permettant aucune manipulation expérimentale (un TD) et limitant la prise de décision à la mesure elle-même (il n'y a pas de but lié à cette mesure).

Les deux situations suivantes avaient, comme caractéristique, de se situer dans un contexte concret et manipulatoire (en TP). La situation D, l'activité d'élaboration de protocole en TP, avait pour objectif d'obtenir les raisonnements des étudiants à partir d'une réflexion basée sur des éléments concrets : le matériel disponible sur la paillasse, les enjeux de la détermination d'un liquide inconnu et de la transmission d'un protocole à un autre groupe d'étudiants. Il existe des différences entre toutes les situations, mais les différences majeures se situent entre les raisonnements identifiés en TD et dans les situations en contexte de TP (tableau 7). Buffler *et al.* (2001) avait mis en avant que les résultats obtenus, via le questionnaire, étaient faussés car de nombreux étudiants semblaient utiliser un raisonnement de type Ensemble par mimétisme avec des situations expérimentales particulières et des procédures apprises par cœur. Dans notre cas, nous pouvons supposer que nous sommes confrontés au même problème. Dès lors, on peut penser que la situation d'élaboration de protocole dans un contexte expérimental éloigne les étudiants de situations qu'ils auraient déjà rencontrées et les incite à développer leurs propres stratégies basées sur leurs connaissances et leurs réflexions (élaborées en binôme). L'aspect manipulatoire (le matériel disponible que l'on peut choisir et manipuler) et la prise de décision (le nom du liquide) doit inciter les étudiants à réfléchir à la mesure et à la précision sous un aspect différent de celui habituellement mis en avant en TP. En effet, les TP mettent généralement en avant l'aspect mathématique et calculatoire et le traitement des données (calcul d'écart-type, moyennes, *cf.* TP sur la mesure de début d'année). Malgré cela, on observe que la plupart des étudiants utilisent un raisonnement Point contrairement à la situation de TD.

Enfin, la troisième situation, l'évaluation de protocole, avait comme objectif d'obtenir des informations supplémentaires sur les raisonnements des étudiants grâce à l'exécution d'une autre stratégie que la leur et à la possibilité de la modifier. Ces éléments de modification revêtent, pour nous, une grande importance car ils nous permettent de susciter des raisonnements plus approfondis, par le biais de la comparaison entre des protocoles reçus et le protocole élaboré. Le résultat obtenu (tableau 6) nous montre que les étudiants placés dans une telle situation utilisent majoritairement des raisonnements intermédiaires (Mixtes). On peut expliquer les évolutions entre la situation E et les précédentes, de plusieurs manières. D'une part, il s'agissait de répondre à un questionnaire, ce qui incite peut-être les étudiants à replacer des morceaux de stratégies apprises par cœur, ou à reconnaître des situations déjà rencontrées (comme dans la situation Q où le raisonnement S domine). D'autre part, la stratégie du protocole reçu est confrontée aux stratégies issues de la phase d'élaboration du protocole (dans la situation D, le raisonnement P domine), donnant lieu à un compromis entre P et S : le raisonnement intermédiaire (M). Ces évolutions peuvent aussi s'expliquer, par une

remise en question du raisonnement des étudiants liée à une situation inhabituelle (situation D) qui entraîne, lors du passage à la situation E, à un apprentissage qui conduit à la construction d'une nouvelle connaissance et donc à l'utilisation d'un raisonnement plus élaboré.

C.6.3. Dépendance des raisonnements

Le test d'indépendance réalisé nous a, tout d'abord, permis de voir qu'il n'existe aucun lien entre les raisonnements qu'utilisent les étudiants dans chacune des situations. On observe, tout de même, que le raisonnement de beaucoup d'étudiants évolue : du plus basique dans la situation D, au plus évolué dans la situation E. Ce qui tendrait à confirmer la seconde de nos hypothèses. On peut ainsi penser que la différence de pratique manipulative entre les deux (dans la situation D, l'exécution du protocole ne se fait que rapidement, et comme vérification finale, alors que dans la situation E, l'exécution du protocole a été effectuée entièrement, et au début), ainsi que la confrontation possible de deux raisonnements différents (entre le protocole élaboré et le protocole reçu) sont des facteurs qui influent sur l'évolution des raisonnements. Ensuite, j'ai pu montrer qu'il n'existe aucun lien, entre les raisonnements utilisés par les étudiants lors d'une situation mentale d'élaboration d'un protocole, et lors d'une situation d'élaboration de protocole dans un contexte pratique. Ce dernier résultat est particulièrement intéressant, et montre l'impact que peut avoir le fait de placer les étudiants dans un contexte expérimental, pour :

- avoir accès aux connaissances qu'ils utilisent face à un problème de mesure ;
- le développement de compétences, sur ce sujet, chez les étudiants.

En effet, il semble que si les étudiants ne manipulent pas réellement (par exemple lors de démonstrations ou d'exercices), ils ne sont pas en mesure de développer des connaissances opératoires liées à la mesure. En particulier, l'activité d'élaboration et d'évaluation d'un protocole semble être un élément déterminant. En effet, celle-ci incite les étudiants à remettre en cause leur raisonnement, elle les aide à développer leurs idées personnelles sur le sujet, et à faire évoluer leurs raisonnements.

De manière générale cette expérimentation montre que les raisonnements des étudiants, par rapport à la mesure, sont variables en fonction des situations rencontrées. Ce résultat contribue à nuancer les résultats des études précédentes qui avaient fait l'économie d'une analyse des relations existantes entre les caractéristiques de la situation utilisée, et les raisonnements des étudiants dans cette situation. Il semble donc important de jouer sur les différentes caractéristiques des situations (variables didactiques), dans lesquelles les étudiants évoluent, pour pouvoir faire évoluer leurs raisonnements sur la mesure.

D. Deuxième expérimentation : influence de l'introduction de rétroactions facilitatrices pour améliorer les raisonnements des étudiants

D.1. Problématique

Dans le chapitre précédent, la première expérimentation a permis de mettre en évidence que les étudiants utilisent majoritairement un raisonnement proche du raisonnement commun lorsqu'ils ont à élaborer un protocole de mesure dans une situation de TP. Cependant, certains facteurs tels que le temps imparti pour concevoir le protocole et la nouveauté de la tâche, ne leur ont pas permis d'effectuer complètement cette tâche d'élaboration de protocole. De plus, le nombre élevé de variables définissant cette situation a rendu difficile la recherche des raisons des changements de raisonnement selon la situation (questionnaire vs élaboration de protocole vs évaluation de protocole).

A partir des observations et des résultats obtenus, cette première expérimentation m'a amené à soulever quatre problèmes. Tout d'abord, le modèle des raisonnements utilisé n'a pas été suffisamment efficace pour décrire entièrement les raisonnements des étudiants. La définition d'un nouveau modèle des raisonnements PMS semble nécessaire. Deuxièmement, durant la première expérimentation, les étudiants semblaient ne pas utiliser les mêmes types de raisonnement en fonction des étapes du protocole. Ceci pose donc le problème de la stabilité du raisonnement utilisé par chaque étudiant tout au long de sa stratégie. Troisièmement, les étudiants consacrent plus ou moins d'efforts sur les différentes parties de leur stratégie. Une partie moins développée globalement par les étudiants peut être le signe d'une faible compréhension et d'une difficulté liée à l'acte de mesurage. Enfin j'en arrive au problème principal qui sera abordé dans cette deuxième expérimentation, à savoir la manière de faire changer les raisonnements des étudiants dans cette situation d'élaboration de protocole, afin que ceux-ci développent des stratégies utilisant un raisonnement qui se rapproche du raisonnement expert.

Dans l'état de l'art, j'ai suggéré que s'il est possible de contraindre les étudiants à réfléchir à chacune des étapes de l'acte de mesurage (définies par Séré, Larcher et Journeaux, 1993), ceux-ci devraient être capables de modifier leur raisonnement vers un raisonnement qui se rapproche du raisonnement expert. La modification d'une étape du protocole devrait entraîner des modifications dans toutes les autres étapes de l'acte de mesurage décrit dans ce protocole. Ces étapes peuvent être reliées aux trois enjeux du mesurage définis par Séré (2008). Pour ces raisons, j'ai élaboré deux rétroactions, données aux étudiants sous forme d'indices, et à la suite desquelles les étudiants sont forcés de réagir, en devant modifier une partie ou la totalité de leur stratégie. Ces rétroactions sont susceptibles de faire réfléchir les étudiants à propos d'une ou de plusieurs de ces étapes en fonction des enjeux visés. La première des rétroactions est une liste de résultats possibles prenant différentes formes. Cette liste doit leur permettre de comparer la forme de ces résultats avec la forme de leur propre résultat. Les différentes formes de ces résultats sont liées à des caractéristiques du traitement de la mesure et en partie

à l'utilisation de la mesure. La seconde rétroaction est reprise, en partie, de la situation d'évaluation de protocole de la précédente expérimentation. En effet, les étudiants reçoivent un protocole présumé avoir été élaboré par un autre binôme d'étudiants mais, dans ce cas, jugé insuffisamment satisfaisant par un enseignant. Ainsi les étudiants doivent comparer leur propre protocole avec celui qui leur a été fourni et réfléchir aux différences entre les deux dans toutes les étapes et aussi sur l'ensemble des enjeux du mesurage.

D.2. Questions

A l'aide d'une seconde expérimentation, je vais répondre aux trois questions suivantes :

- 1) Est-ce que l'introduction de rétroactions spécifiques a un effet positif sur la manière dont les étudiants raisonnent lorsqu'ils élaborent un protocole de mesure ?

Pour répondre à cette question, je vais d'abord m'interroger sur l'effet des rétroactions :

Quel est le raisonnement des étudiants à propos de la mesure après avoir élaboré un protocole de mesure dans ces trois cas :

- les étudiants reçoivent une rétroaction sous la forme d'une liste de résultats obtenus par d'autres étudiants (groupe B) ?
- les étudiants reçoivent une rétroaction sous la forme d'un protocole élaboré par d'autres étudiants (groupe C) ?
- les étudiants ne reçoivent pas de rétroaction (groupe contrôle A) ?

Des hypothèses concernant les réponses à ces questions seront testées à l'aide de cette expérimentation. Je suppose que :

(H1) les étudiants ne recevant pas de rétroaction montreront une évolution limitée de leur raisonnement vers un raisonnement expert,

(H2) les étudiants du groupe B feront évoluer leur raisonnement plus loin que ceux du groupe contrôle mais le fait que leur rétroaction ne joue que sur l'aspect du traitement de données de l'acte de mesurage limitera ces évolutions,

(H3) le troisième groupe (C) fera évoluer ses raisonnements beaucoup plus loin que les deux autres groupes car la rétroaction qui lui est fournie touche l'acte de mesurage en entier et comporte des exemples de solutions à chacune des étapes.

La seconde question à laquelle je vais tenter de répondre concerne la manière dont les étudiants élaborent leur protocole :

- 2) Est-ce que les raisonnements utilisés par les étudiants sont liés aux différentes étapes du protocole de mesure ?

En me basant sur les observations effectuées dans la première expérimentation, je suppose que (H4) les étudiants utiliseront dans leur stratégie des raisonnements spécifiques aux étapes du protocole auxquelles ils sont confrontés. Je chercherai à savoir quelles sont les étapes du protocole de mesurage que les étudiants décrivent en priorité et quel type de raisonnement ils utilisent pour justifier les différentes tâches de chaque étape.

Enfin la troisième question concerne les thèmes utilisés dans les actions proposées par les étudiants dans chacune des étapes du protocole de mesure. Ces thèmes regroupent des catégories correspondant aux réponses que les étudiants peuvent utiliser pour répondre à un même problème lors de l'élaboration du protocole. Ces thèmes traitent par exemple du placement du matériel, de la manière de recueillir des données, des catégories liés aux

traitements statistiques, des sources d'erreur. Dans ces thèmes, les trois raisonnements de notre modèle de raisonnement sont représentés.

- 3) Quels sont les thèmes utilisés par les étudiants dans chacune des étapes ? Existe-t-il des thèmes récurrents dans chaque étape, en fonction des situations et en fonction des rétroactions ?

Cette question me permettra de définir les caractéristiques des stratégies utilisées par les étudiants dans chacune des étapes, d'observer si ces caractéristiques dépendent des situations rencontrées, et dans le cas où il y aurait des évolutions dans ces stratégies, comment et où celles-ci se modifient.

Comme l'a défini Shutte (2007), l'usage de rétroactions doit permettre à l'étudiant de modifier son comportement ou sa manière de penser afin d'améliorer son apprentissage. Alors je suppose que les rétroactions feront évoluer les raisonnements utilisés dans les stratégies des étudiants. Ces stratégies sont identifiées à l'aide des thèmes contenant les types de réponses (catégories) utilisés par les étudiants. (H5) Cette évolution devrait donc se caractériser par des changements au niveau des thèmes liés à l'acte de mesurage qu'ils vont utiliser.

D.3. Méthodologie

Les résultats de la première expérimentation ont montré que les étudiants utilisent des stratégies plus proches du raisonnement commun lorsqu'ils ont à élaborer un protocole de mesure, que lorsqu'ils ont à répondre à un questionnaire. Ainsi, potentiellement le raisonnement des étudiants peut évoluer dans ce contexte d'élaboration de protocole et ce, à l'aide de rétroactions. Les rétroactions dont je vais étudier l'effet seront appelées rétroactions spécifiques afin de pouvoir les distinguer d'une rétroaction qui sera distribuée à tous les étudiants. Ces effets seront évalués de manière comparative : comparaison des trois groupes dans une situation donnée et comparaison pour un groupe donné dans différentes situations.

Les étudiants sont soumis à quatre situations successives (T0 à T3 sur la figure 1). T0 a lieu lors d'une séance de TD et T1, T2 et T3 ont lieu lors d'une séance de TP postérieure.

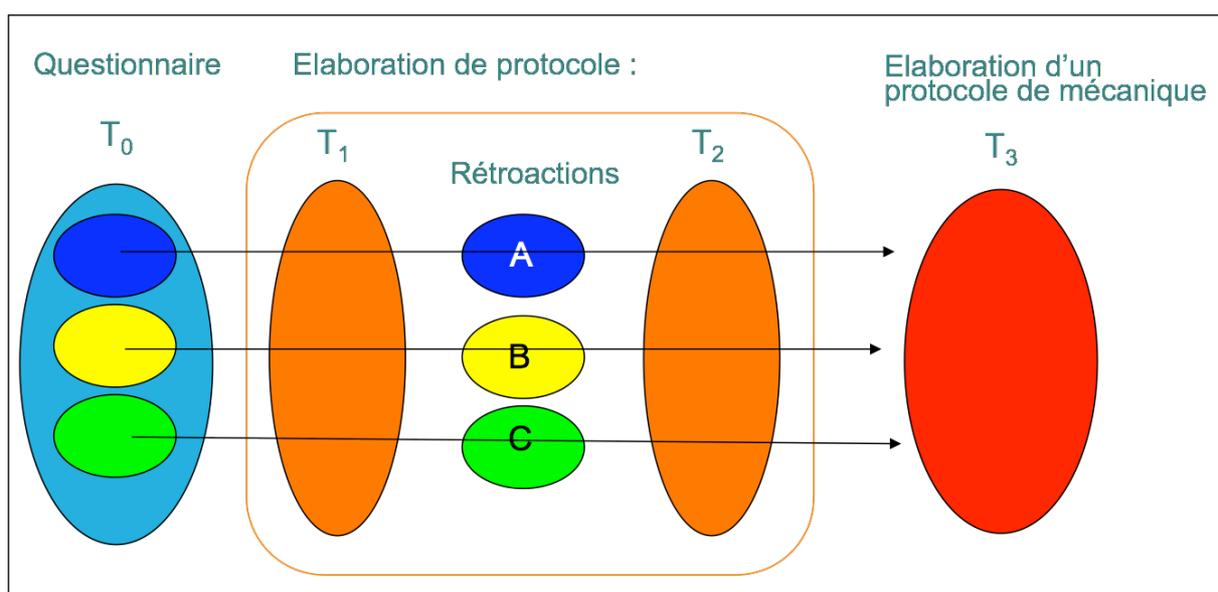


Figure 1. Schéma temporel de l'expérimentation représentant le cheminement des groupes à travers les situations.

Pour T0, j'ai réutilisé une partie du questionnaire développé par Volkwyn (2008) en retenant les questions portant sur le recueil des données, la comparaison de deux ensembles des données, le traitement des données et le traitement d'une représentation graphique des données. Cette situation (T0) a pour objectif de former trois ensembles de binômes, trois groupes (A, B et C), qui soient équilibrés dans la manière de raisonner sur la mesure.

Au début du TP (T1 et T2 sur la figure 1), les étudiants doivent d'abord élaborer un protocole de mesure lié à un sujet d'optique. Cette tâche est découpée en deux situations effectuées à la suite. Premièrement, en T1, les étudiants élaborent un protocole jusqu'à une étape de traitement des données puis le testent (ils manipulent les instruments pour obtenir des valeurs et les traitent pour obtenir un résultat). Ensuite, en T2, ceux-ci reçoivent une des deux rétroactions spécifiques ou passent directement à l'étape d'interprétation dans le cas du groupe contrôle. Les données relevées sont les protocoles écrits avant de recevoir une rétroaction (fin de la situation T1), puis les protocoles finaux après que les étudiants aient complété la dernière étape (fin de la situation T2).

Enfin, dans la situation T3, les étudiants ont à élaborer un protocole de mesure lié à une situation de mécanique. Tous les groupes effectuent la même tâche (mêmes conditions, pas de rétroaction spécifique). Cette situation se démarque de la situation précédente car les instruments ne sont pas disponibles. Ainsi les étudiants ne peuvent pas tester leur protocole dans cette situation. Dans chacune des situations d'élaboration, la consigne stipule que les étudiants créent leur protocole pour le faire exécuter par un autre binôme dans une autre université.

D.3.1. Organisation de la collecte des données

D.3.1.1. Echantillon d'étudiants

Pour cette expérimentation, 126 étudiants de première année universitaire, spécialisés en physique, ont été choisis. Presque tous ces étudiants (94%) ont obtenu un baccalauréat scientifique. Ils ont donc tous suivi des enseignements de TP depuis le collège. Les caractéristiques du cursus de ces étudiants sont similaires de celles des étudiants rencontrés dans la première expérimentation.

Ces étudiants sont répartis initialement en 5 groupes de TD (Travaux Dirigés). 4 de ces groupes effectuent exactement le même parcours (PCI, Physique-Chimie-Informatique) et un cinquième groupe effectue un cursus légèrement différent (PHG, Physique et Géosciences) mais aussi centré sur la physique. Le questionnaire de la situation T0 est distribué aux 5 groupes lors d'une séance de TD, deux mois avant la situation de TP. Chaque groupe de TD est divisé en deux fournissant ainsi des classes de TP d'une moyenne de 6 binômes. Dans chaque classe, j'ai réparti les étudiants dans les binômes de manière à avoir des binômes homogènes (raisonnement identique suite à l'analyse de T0). J'ai ensuite réparti les binômes en trois groupes d'expérimentation de manière à former des groupes homogènes (les proportions sur les trois raisonnements sont similaires). Le groupe A est composé de 23 binômes d'étudiants, le groupe B de 21 binômes, et le groupe C de 19 binômes. Malgré les aléas des compositions des classes de TP (élèves changeant de groupe, absences, retards), j'ai réussi à disposer les binômes dans la salle de classe de manière à ce que les binômes appartenant à un même groupe d'expérimentation (A, B, C) ne se côtoient pas.

D.3.1.2. Organisation temporelle

Les étudiants ont entamé cette expérimentation par un pré-test (T0), sous la forme d'un questionnaire, distribué aux 5 groupes de TD lors d'une séance de TD. Les étudiants avaient 35 minutes pour le compléter. Les séances de TD ont eu lieu mi-septembre 2008. Puis de fin-octobre à début-novembre, les étudiants ont réalisé les travaux d'élaboration de protocole, en séance de TP. Cette séance durait deux heures : 1h30 pour les situations T1 et T2 et 30 minutes pour la situation T3.

D.3.1.3. Types de données recueillies

Dans le cas des questionnaires (situation T0), les réponses des étudiants obtenues et analysées sont les justifications de leur choix.

Dans le cas des activités d'élaboration de protocoles (situations T1, T2, T3), les étudiants doivent créer leur propre protocole en binôme. Ce protocole est créé à l'aide d'une plateforme web (COPEX¹), qui permet aux étudiants d'obtenir les informations nécessaires à l'élaboration de ce protocole. Pour cela, ils ont 7 étapes à remplir en décrivant des actions que d'autres étudiants auront à suivre. L'ensemble de ces actions doit mener le binôme qui recevra ce protocole à obtenir une réponse correcte au problème physique. La manière et le style des actions à effectuer sont libres. Dans le cas de la situation T0, les binômes complètent un formulaire papier et dans le cas de l'expérimentation, ils complètent un outil d'aide à l'élaboration de protocole présent dans le logiciel COPEX. De ces deux études, les protocoles finaux sont recueillis (T0, T2 et T3) et dans la situation T1, une sauvegarde du protocole en l'état, a été effectuée juste avant que les étudiants reçoivent une rétroaction (donc juste après qu'ils aient indiqué un premier résultat). L'analyse de ces protocoles se fait sur les actions proposées par les étudiants mais aussi sur les justifications qu'ils donnent aux choix de ces réponses.

Dans toutes les situations, les interventions ont été effectuées lors de séances de cours. Il a été demandé à chaque enseignant de ne pas intervenir.

D.3.2. Description de l'expérimentation :

D.3.2.1. Questionnaire (T0, voir annexe, G.3.1)

Six questions ont été tirées de l'étude de Volkwyn *et al.* (2008). Ce questionnaire, distribué lors de séance de TD, est basé sur le même problème de mécanique de la situation Q de la première expérimentation. Une balle est lâchée le long d'une pente inclinée, placée sur une table. Lorsque cette balle tombe au sol, les étudiants faisant la manipulation mesurent la distance entre le pied de la table et le point d'impact de la balle.

Deux questions concernent le nombre de valeurs à prendre (recueil des données). Les étudiants doivent expliquer si les manipulateurs doivent reprendre des valeurs après un lâcher, puis s'ils doivent encore répéter ces lâchers après avoir recueilli une seconde valeur. Ensuite suivent deux questions sur le traitement des données. Les étudiants doivent réfléchir au type de résultat pouvant être obtenu à l'aide de 5 valeurs ainsi que sur la manière de tracer un graphique avec 7 points représentant des valeurs obtenues. Enfin deux questions traitent de la comparaison des données. Les étudiants ont, premièrement, à expliquer quel ensemble de valeurs est le meilleur parmi deux ensembles ayant une même moyenne mais une dispersion

¹ <http://copex-clement.imag.fr/> ; login : Clement, mot de passe : copex, dernière connexion : 19 Novembre 2009

différente. Puis, deuxièmement, ils doivent expliquer si deux ensembles de valeurs sont

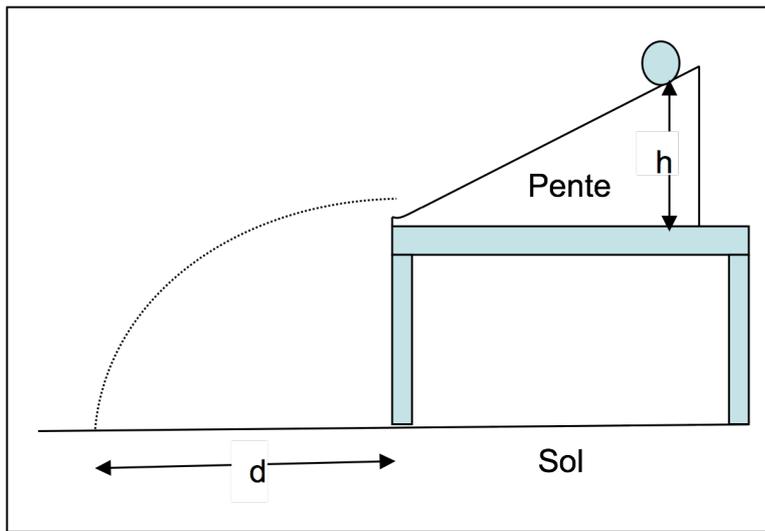


Figure 2. Schéma du problème de mécanique dans la situation T0

différents lorsque leur dispersion est identique mais leur moyenne différente.

Les étudiants ont rempli ce questionnaire de manière individuelle. Les consignes qui leurs ont été données stipulaient qu'ils ne devaient pas revenir sur une de leurs réponses s'ils étaient passés à une autre question. Pour chacune des questions (sauf celle traitant de la représentation graphique), plusieurs réponses leur étaient proposées sous la forme d'étudiants discutant à propos de la réponse à donner. Une des réponses devait être sélectionnée puis les étudiants devaient justifier leur choix.

D.3.2.2. Expérience d'optique (T_1 , T_2)

Les situations T1 et T2 correspondent à la même tâche expérimentale, celle d'élaborer un protocole expérimental afin de déterminer un liquide à l'aide de son indice optique. Dans la situation T1, les trois groupes (A, B et C) effectuent une tâche identique (voir la figure 1).

	Etapes du protocole	Enjeux de la mesure (Séré, 2008)			
1ère étape	Principe de la mesure, hypothèses	"Savoir-mesurer"			
2ème étape			Matériel à utiliser		
3ème étape				Schéma de l'expérimentation	
4ème étape					Réglages
5ème étape					
6ème étape	Traitement des données	"Traitement de données"			
7ème étape	Interprétation et conclusion sur le liquide	"Utiliser la mesure"			

Figure 3. Etapes du protocole de mesurage et lien avec les enjeux de la mesure de Séré (2008)

Les binômes doivent définir des actions dans les 6 premières étapes. Dans les quatre premières étapes, les étudiants se penchent sur la préparation de l'acte de mesure que l'on peut considérer comme une partie du « savoir-mesurer » décrit par Séré (2008). Les étapes 5 et 6 peuvent être rapprochées de l'enjeu de « traiter les données » décrit par Séré (2008). Les étapes 6 et 7 concernent aussi la forme du résultat, son statut, la prise de décision en fonction de la problématique et de la théorie du phénomène physique. Elles peuvent être reliées à l'enjeu d' « étude de la mesure » décrit par Séré (2008). Ces relations pourraient être prolongées entre chacune des étapes et chacun des aspects, je ne fais que souligner les étapes de notre acte de mesure qui correspondent le plus à ces aspects.

Ainsi, ils doivent d'abord décrire l'expérimentation dans la partie « déterminer un liquide inconnu » pour que les étudiants recevant ce protocole puissent avoir une idée de ce qu'ils vont avoir à faire (figure 3, 1^{ère} étape). Ensuite, ils doivent justifier l'utilisation du matériel utilisé. Dans l'étape concernant le schéma expérimental, les étudiants doivent expliquer la manière de disposer le matériel et la justifier. Enfin, dans l'étape de réglages, les étudiants décrivent la manière de préparer les instruments pour le recueil des données. Ensuite dans la cinquième étape, ils doivent présenter comment recueillir les données nécessaires à l'obtention d'un résultat. Finalement, ils doivent détailler la manière de traiter les données afin d'obtenir une réponse à la question (« Quel est ce liquide ? »). Une fois cette étape remplie, il est demandé aux binômes d'exécuter leur protocole afin de donner un résultat. Lorsque ce résultat est écrit dans la case « Résultat » du site web, la situation T1 se termine.

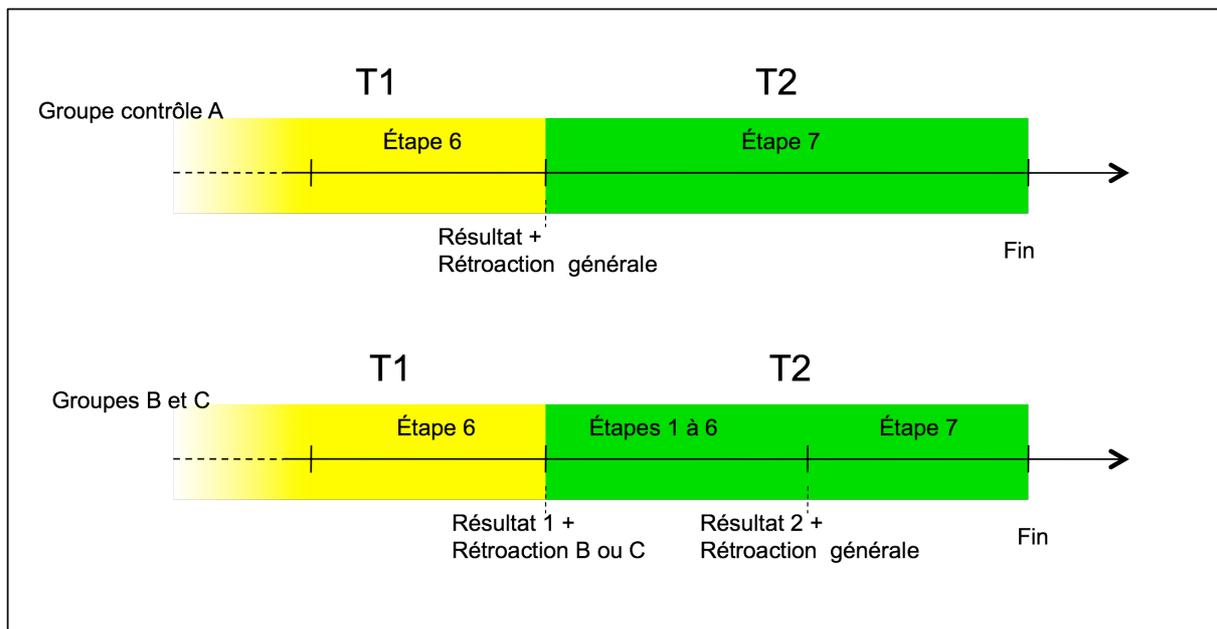


Figure 4. Schéma temporel du déroulement des situations T1 et T2 du TP d'optique en fonction des 3 groupes

Les tâches des étudiants se différencient selon les rétroactions qu'ils reçoivent ou ne reçoivent pas. Ainsi, une fois que les étudiants du groupe A ont rempli la case résultat, ils reçoivent une rétroaction générale, c'est-à-dire la liste d'indices optiques de référence, et ont un accès direct à la septième étape. Ils doivent s'aider de cette liste pour expliquer la manière de déterminer le liquide qui est présent dans la cuve demi-cylindrique. Pour le groupe B et C, les étudiants doivent remplir la case résultat. Alors ils reçoivent leur rétroaction particulière (B ou C), et doivent modifier une partie de leur protocole (une ou plusieurs actions, ou simplement une ponctuation). Ils ont à ré-exécuter leur protocole et donner un nouveau résultat dans une seconde case résultat. Ils reçoivent enfin la liste d'indices optiques de référence et ont accès à

la septième étape.

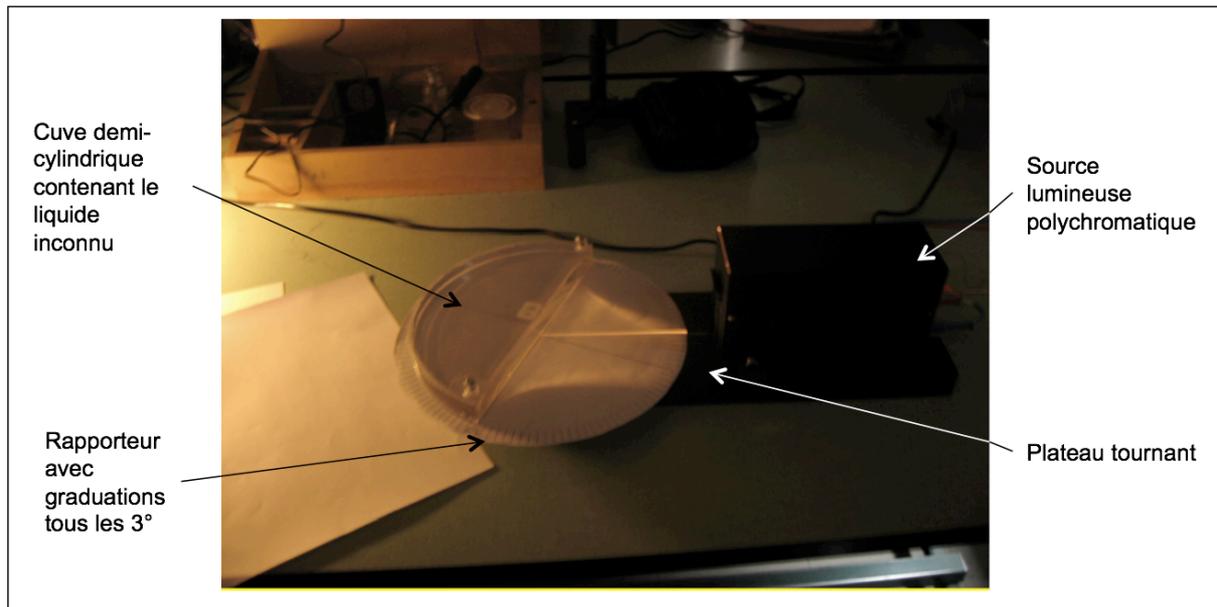


Image 1. Photo de l'expérience d'optiques

Liste d'indice de référence dans le TP d'optique		Liste d'indice de référence dans le TP de mécanique	
Liquides	Indice optique	Liquides	Masse volumique (ρ, kg.m⁻³)
Vide	1	Pentane	630
Air	1,00029	Éthanol	790
Oxygène liquide	1,221	Benzène	899
Eau à température ambiante	1,333	Eau pure	1000
Eau + glycérol à 14% (de la masse)	1,35	Acide acétique	1050
Solution sucrée à 18%	1,36	Eau salée	1140
Solution sucrée à 30%	1,38	Glycérine	1260
Eau + glycérol à 44% (de la masse)	1,39	Chloroforme	1490
Solution sucrée à 40%	1,4		
Eau + glycérol à 72% (de la masse)	1,43		
Eau sucrée à 59%	1,44		
Glycérine diluée	1,45		
Plexiglas	1,49		
Mercure liquide	1,62		

Encart 1. Rétroaction générale, liste d'indices référence dans les deux TP.

Une fois que tous les étudiants estiment avoir fini leur protocole (et que le temps imparti pour la tâche est écoulé), ils impriment leur protocole et le rendent à l'enseignant. Le protocole est sauvegardé automatiquement à ce moment-là, ainsi qu'au moment où les étudiants écrivent leur premier résultat (avant les rétroactions).

D.3.2.3. Expérience de mécanique (T_3)

Comme expliqué précédemment, une fois que les étudiants ont rendu leur protocole, ils passent à l'écriture d'un protocole à propos d'un sujet de mécanique (situation T_3). Là encore, ils doivent déterminer un liquide inconnu à l'aide de la mesure d'une de ses caractéristiques (ici la masse volumique). Dans ce nouveau contexte, le matériel n'est pas présent sur la paillasse des étudiants, ceux-ci ne peuvent donc pas l'utiliser pour tester leur protocole, et ne peuvent se baser que sur les descriptions données. Dans l'expérimentation proposée, le liquide inconnu serait versé dans une éprouvette graduée et les étudiants pourraient plonger quatre blocs de liège différents dans ce liquide, afin de mesurer leur niveau d'enfoncement. Alors, à l'aide du principe d'Archimède, ils pourraient déterminer la masse volumique d'un liquide en comparant leur résultat avec une liste de masses volumiques de référence. Dans cette situation, tous les étudiants effectuent la même tâche.

D.3.3. Copex dans l'expérimentation

Lors de la première expérimentation, l'élaboration du protocole se faisait sur format papier. Ce format était suffisant car seul le résultat final de l'élaboration était recherché et aucune évolution dans les stratégies des étudiants n'était attendue.

Lors des situations expérimentales de notre seconde expérimentation, l'introduction de rétroactions spécifiques à certains groupes, ainsi que le recueil de données à différents moments de la situation a conduit à l'utilisation d'un outil informatique pour aider les étudiants à élaborer leur protocole. Pour cela, j'ai utilisé le logiciel COPEX (plate-forme Web), développé par l'équipe MeTAH au Laboratoire d'Informatique de Grenoble (Girault, d'Ham, Ney, Sanchez, Wajeman, à paraître). Ce logiciel m'a permis de présenter les situations aux étudiants d'une manière plus claire et organisée que dans la première expérimentation. Il est composé d'espaces appropriés aux ressources, fournis aux étudiants (par exemple par rapport aux théories, aux missions à effectuer, aux recueils de données, à l'expression du résultat obtenu). Ce logiciel m'a permis aussi d'obtenir des enregistrements des protocoles des étudiants à des moments clés de l'expérimentation (entre la situation T_1 et T_2 , à la fin de la situation T_2 , et à la fin de la situation T_3), et d'automatiser les rétroactions selon les groupes. Les tâches demandées aux étudiants concernant la production d'un protocole de mesurage pour répondre à une problématique sont présentées sous la forme de missions. Quatre missions existent. Les missions A, B et C correspondent à l'élaboration du protocole d'optique, et la mission D, à l'élaboration du protocole de mécanique. Concernant les trois premières missions, seule la mission attribuée au binôme est accessible par celui-ci. En plus de la page d'accueil, les étudiants ont accès à quatre espaces. Un espace dans lequel les éléments théoriques de la loi ou de la théorie sont définis, un dans lequel les étudiants peuvent inscrire leurs données et leurs résultats, et un dans lequel les étudiants rédigeront leur protocole. Le quatrième espace, celui de communication (dit « *Publication* »), n'a pas été utilisé.

Copie d'écran de la rétroaction B: liste de résultats obtenus par d'autres binômes

Liste de résultats :

Voici les résultats fournis par d'autres binômes d'étudiants dans le même contexte que vous.

Observez et comparez ces résultats avec celui que vous avez donné afin de pouvoir améliorer votre protocole

Binômes	Résultat
1	1,56
2	1,367
3	1,320;1,155;1,432;1,380;1,556
4	1,41 +/- 0,04
5	[1,267;1,463]
6	1,768
7	1,37 +/- 0,005
8	1,123;1,242;1,296;1,344;1,356;1,378;1,390;1,398;1,410;1,425;1,459;1,485;1,515;1,562;1,664
9	1,012
10	[1,34;1,62]

Copie d'écran de la rétroaction C : protocole estimé pas entièrement satisfaisant pour un enseignant

PROTOCOLES

Déterminer un liquide inconnu

Utilisation de la loi de Snell-Descartes afin de déterminer l'indice d'un matériau par la mesure d'angle incident et réfracté. (Voir schéma théorique dans l'espace exploration). Pour cela il faut suivre la relation existante entre l'incidence du rayon et sa déviation dans le liquide inconnu.

Liste du matériel sélectionné

- Cuve demi-cylindrique : on utilise le matériel que l'on nous donne
- Lampe : on utilise le matériel que l'on nous donne
- Plateau tournant : on utilise le matériel que l'on nous donne

 Déterminer un liquide inconnu

 Matériel à utiliser

on utilise le matériel que l'on nous donne

 Utiliser le matériel qui a été coché dans la liste de matériel

Encart 2. Rétroactions spécifiques données aux groupes B et C

dans cette étude et n'était pas accessible par les étudiants. Après une brève découverte du logiciel et des espaces (rôles et fonctions), les étudiants sont autonomes dans leur utilisation de ce logiciel et la rédaction du protocole.

D.3.3.1. Missions dans les deux cas

Lorsque les étudiants arrivent en salle de TP, ils sont tout d'abord placés par binômes (binômes différents de leur composition habituelle en TP). Ensuite, ils se loguent sur le logiciel selon un le nom attribué au binôme. Ils accèdent alors à la page centrale du logiciel, la page *Mission*.

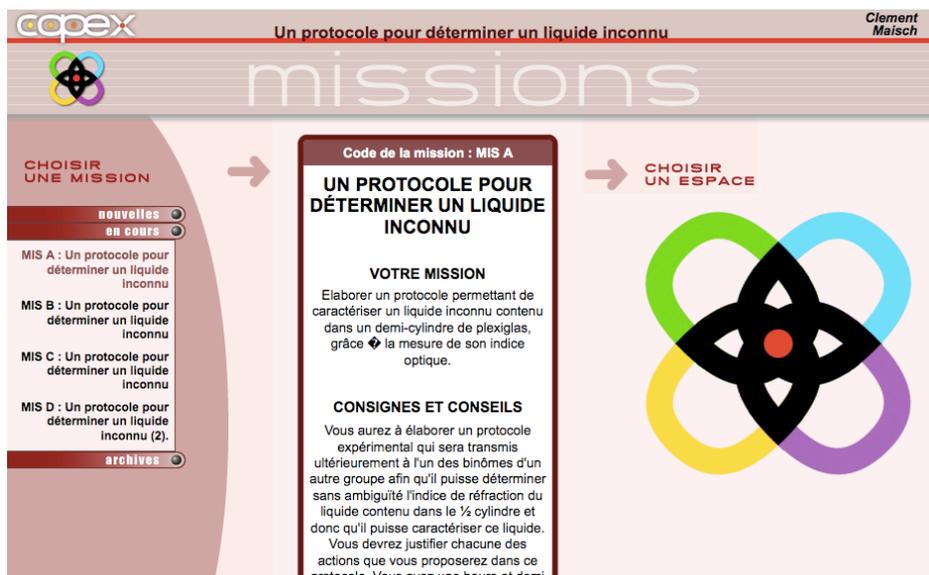


Image 1. Copie d'écran de la page *Mission* du logiciel COPEX

Sur cette page, les étudiants ont accès sur la gauche aux deux missions (une des missions A, B ou C, et la mission D) qu'ils vont avoir à compléter (les autres sont grisées). Ils n'ont pas la possibilité d'ajouter une nouvelle mission. A droite de la page (ainsi que dans le bandeau en haut à gauche), une rosace représentant les quatre espaces est disponible. En cliquant sur une des couleurs, les étudiants ont un accès direct à l'espace choisi. La couleur verte correspond à l'espace *Exploration* (description des lois et des aspects théoriques de l'expérience). La couleur violette correspond à l'espace *Résultats* dans lequel les étudiants vont rentrer leurs résultats et obtenir les rétroactions. La couleur bleu ciel correspond à l'espace *Protocole* dans lequel les étudiants rédigent leur protocole. La couleur jaune correspond à l'espace *Publication* et n'est pas accessible par les étudiants. La croix noire au centre ramène directement les étudiants à la page *Mission*.

Au centre de la page se situe la mission que les étudiants ont à effectuer. Il y est décrit le problème qui leur est posé ainsi que les conditions de l'expérience, des informations sur le déroulement de la séance (obtention des rétroactions) et des objets à leur disposition (les trois espaces).

Les missions proposées pour l'élaboration du protocole de mesure avec le sujet d'optique, ne varient que concernant le type de rétroactions données et l'enchaînement qui s'ensuit. Les trois versions sont décrites sur un même texte. Les étudiants ne voient pas les autres missions proposées et ne savent pas ce que font les binômes des autres groupes. Les trois groupes reçoivent la même mission dans le cas du TP de mécanique (voir les textes des deux missions dans l'encart 3).

D.3.3.2. Espace « Exploration » (voir encart 4)

Dans cet espace se trouve toutes les informations concernant la théorie physique sur laquelle s'appuient la mesure et l'expérience en général.

Ainsi pour le sujet d'optique et le sujet de mécanique, les étudiants ont un schéma théorique de l'expérience, ainsi qu'un rappel de la loi Snell-Descartes ou du principe d'Archimède, avec leur formule finale. Dans les deux cas, cette partie est non modifiable et peut être accessible à tout moment, lors de l'élaboration du protocole.

Missions A, B et C pour le TP d'optique

Un protocole pour déterminer un liquide inconnu

VOTRE MISSION

Elaborer un protocole permettant de caractériser un liquide inconnu contenu dans un demi-cylindre de plexiglas, grâce à la mesure de son indice optique.

CONSIGNES ET CONSEILS

Vous aurez à élaborer un protocole expérimental qui sera transmis ultérieurement à l'un des binômes d'un autre groupe afin qu'il puisse déterminer sans ambiguïté l'indice de réfraction du liquide contenu dans le $\frac{1}{2}$ cylindre et donc qu'il puisse caractériser ce liquide. Vous devrez justifier chacune des actions que vous proposerez dans ce protocole. Vous avez une heure et demi pour remplir cette mission.

Vous trouverez dans la partie exploration un descriptif théorique de loi de Snell-Descartes sur lequel vous pouvez appuyer pour élaborer votre protocole.

Le matériel sur votre paillasse est identique à celui dont disposera le binôme exécutant votre protocole. A l'aide de ce matériel vous pourrez tester votre protocole.

Dans l'espace résultat, vous aurez à disposition les outils de traitements que vous aurez élaboré dans votre protocole afin de pouvoir traiter les données que vous aurez récoltées lors de votre test.

Vous n'avez pas accès à la dernière étape tant que vous n'avez pas exécuté le début de votre protocole et donné un résultat concernant l'indice du liquide inconnu que vous utilisez. La boîte « résultat » située dans l'espace résultat. Vous n'aurez accès à cette boîte qu'une fois l'étape 6 complétée.

Groupe A : Une fois remplie vous cliquerez sur le bouton « validé » et vous obtiendrez une liste de valeurs d'indice avec les liquides leur correspondant dans la partie exploration. Vous aurez donc à expliquer la manière dont vous choisissez le liquide dans la dernière étape.

Groupe B : Une fois remplie vous cliquerez sur le bouton « validé » et vous obtiendrez une liste de résultat obtenue par d'autres étudiants à la même étape que vous. Cette liste peut vous aider à améliorer votre protocole. Une fois le protocole modifier, vous pourrez accéder une seconde fois à la boîte résultat. Vous donnerez alors un deuxième résultat. A ce moment-là vous aurez accès à une liste de valeurs d'indice avec les liquides leur correspondant dans la partie exploration. Vous aurez donc à expliquer la manière dont vous choisissez le liquide dans la dernière étape.

Groupe C : Une fois remplie vous cliquerez sur le bouton « validé » et vous obtiendrez un lien vers un protocole écrit par un autre groupe d'étudiant. Ce protocole n'a pas été jugé suffisamment satisfaisant par un enseignant. Vous aurez à l'exécuter puis à le mettre en relation avec votre propre protocole. Il vous faudra ensuite modifier divers éléments de votre protocole avant de pouvoir accéder une seconde fois à la boîte résultat. Vous donnerez alors un deuxième résultat. A partir de ce moment, vous aurez accès à une liste de valeurs d'indice avec les liquides leur correspondant, dans la partie exploration. Vous aurez donc à expliquer la manière dont vous choisissez le liquide dans la dernière étape.

Mission pour le TP de mécanique

Un protocole pour déterminer un liquide inconnu (2).

VOTRE MISSION

Elaborer un protocole permettant de caractériser un liquide inconnu à l'aide de la mesure de sa masse volumique.

CONSIGNES ET CONSEILS

Vous aurez à élaborer un protocole expérimental qui sera transmis ultérieurement à l'un des binômes d'un autre groupe afin qu'il puisse déterminer sans ambiguïté la masse volumique d'un liquide inconnu afin de pouvoir le caractériser. Vous devrez justifier chacune des actions que vous proposerez dans ce protocole. Vous avez une demi-heure pour remplir cette mission.

Vous trouverez dans la partie exploration un descriptif théorique du principe d'Archimède sur lequel vous pouvez appuyer pour élaborer votre protocole.

Vous ne pourrez pas tester votre protocole, mais vous aurez la liste du matériel qui sera fournit au binôme qui exécutera votre protocole.

Vous avez directement accès à toutes les étapes du protocole et vous trouverez dans la partie élaboration une liste de référence de masses volumiques avec leur liquide correspondant. Cette liste vous permettra d'expliquer au binôme récepteur comment déterminer le liquide qu'il utilise.

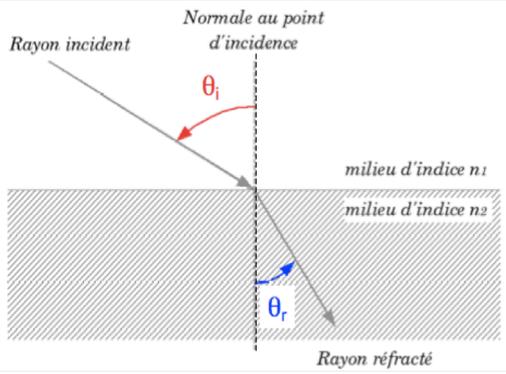
Encart 3. Mission dans le TP d'optique et le TP de mécanique

Lors des situations T1 et T2, les étudiants connaissent le cadre théorique pour l'avoir déjà traité en première année de lycée. Pour cette raison, un minimum d'informations leur est fourni : un schéma théorique, la forme de la loi de Snell-Descartes sous sa forme équation, puis sous sa forme fonction et, enfin, une condition initiale (voir encart 4).

Dans le sujet de mécanique, une définition du principe d'Archimède est d'abord donnée pour permettre aux étudiants de mieux le visualiser. La valeur à mesurer (hauteur immergée) est aussi clairement définie. Les calculs menant à l'équation entre la masse volumique du liquide et la hauteur immergée sont donnés afin que les étudiants ne perdent pas de temps sur ces problèmes. La fonction associée à ce résultat est aussi présente (voir encart 4). Comme dans la situation d'optique il n'existe pas de rétroaction spécifique ni de manipulation pour tester le protocole, la liste de masses volumiques de référence est incluse dans cet espace et durant tout le temps de l'élaboration.

Théorie du TP d'optique

On peut schématiser la réfraction d'un faisceau lumineux passant d'un milieu à un autre milieu d'indice différent de cette manière:



Normal au point d'incidence

Rayon incident

θ_i

milieu d'indice n_1

milieu d'indice n_2

θ_r

Rayon réfracté

Schéma de la réfraction : le faisceau incident va être dévié selon la loi dite de Snell-Descartes.

La loi de Snell-Descartes s'exprime sous cette forme:
 $n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r)$

Dans le cas où le rayon incident se situe dans l'air, on peut écrire la loi de Snell-Descartes sous la forme d'une fonction :
 $\sin(i) = f(\sin(r))$

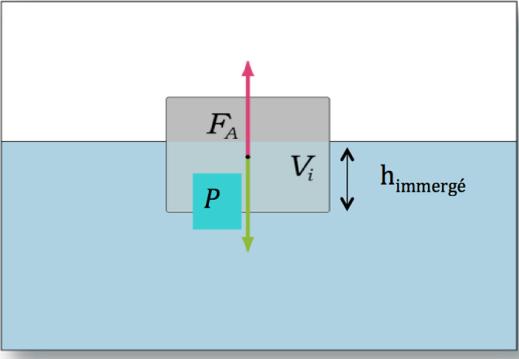
Cette fonction peut être représentée sous la forme d'un graphique où le sinus de l'angle incident est sur l'axe des ordonnées et le sinus de l'angle réfracté est sur l'axe des abscisses.

Lorsque le rayon de lumière est perpendiculaire à la $\frac{1}{2}$ cuve, alors on a :
 Si $i = 0$, alors $r = 0$

Théorie du TP de mécanique

« Tout corps plongé dans un fluide au repos, entièrement mouillé par celui-ci ou traversant sa surface libre, subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé ; cette force est appelée « poussée d'Archimède ».

Si on plonge un objet en connaissant sa masse, et sa surface, on peut déterminer à l'équilibre, c'est-à-dire quand l'objet flotte dans le fluide, la masse volumique de ce fluide en mesurant la hauteur de la partie immergée de l'objet.



F_A

P

V_i

$h_{immergé}$

Dans les lignes suivantes, sont représentés en gras et en italique, les vecteurs. on peut exprimer le poids tel que :

$$P = - m \cdot g$$

$$= - \rho \cdot V \cdot g$$

donc la valeur absolue donne :

$$P = \rho \cdot V \cdot g$$

A l'équilibre on obtient :

$$P + F = 0$$

$$F = - P$$

Alors on a en valeur absolue :

$$F = m \cdot g$$

$$\rho_f \cdot V_{immergé} \cdot g = m \cdot g$$

$$\rho_f = m / V_{immergé}$$

or $V_{immergé} = S_{solide} \cdot h_{immergé}$

Donc :

$$\rho_f = m / (S_{solide} \cdot h_{immergé})$$

tel que : $h_{immergé} = f(m)$

Encart 4. Espace exploration dans le TP d'optique et le TP de mécanique

D.3.3.3. Espace « Résultats » (voit image 3)

Dans le cas du sujet de mécanique, cet espace n'est pas utilisé, seul un tableau défini dans l'espace protocole pourra y être affiché. Comme aucune manipulation n'a lieu dans cette

situation (T3), les étudiants n'ont aucun besoin de remplir un tableau et ne peuvent pas afficher de résultat.

Cet espace est surtout utilisé dans le cas du sujet d'optique. Dans cette expérience, les étudiants peuvent afficher les valeurs relevées lorsqu'ils testent leur protocole à condition qu'ils aient défini un tableau dans l'espace protocole avant. Ensuite, une case « résultat » se présente de manière à ce que les étudiants y inscrivent le résultat qu'ils obtiennent en testant leur protocole. Ce résultat peut prendre la forme d'un nombre ou de plusieurs, ou de n'importe quel type de chaîne de caractères. Une fois ce résultat inscrit, les étudiants le valident et reçoivent automatiquement la rétroaction qui leur est destinée. Dans le cas de l'apparition d'une rétroaction spécifique, une fois que les étudiants ont effectué des modifications dans leur protocole, une nouvelle case résultat apparaît. Les étudiants la remplissent et reçoivent la liste d'indices de référence dans cet espace lorsque le résultat est validé. Les étudiants peuvent alors retourner dans l'espace protocole.

Tableau défini par les étudiants

Premier résultat

Deuxième résultat

Rétroaction générale

l	r	n2
15	10	1.49
30	20	1.46
45	29	1.45
60	37	1.43

Sauvegarder vos données

Le premier résultat obtenu est : 1.47.

Le second résultat obtenu est : 1.47.

Liste des indices optiques :

Vide	1,000
Air	1,00029
Oxygène liquide	1,221
Eau à température ambiante	1,333

Image 3. Copie d'écran de l'espace Résultats du logiciel COPEX

D.3.3.4. Espace « élaboration » de protocole (voir image 5)

L'espace *Protocole* est l'espace clé de ce logiciel. C'est l'endroit où les étudiants construisent et rédigent leur protocole. L'outil d'élaboration consiste en une applet Java composé de trois parties. Dans la partie en haut à droite, les étudiants trouvent le matériel proposé pour l'expérimentation. En déplaçant le curseur, ils obtiennent les caractéristiques et paramètres de ces instruments. Ils peuvent cocher une case afin d'implémenter le protocole d'un instrument et justifier cette action. En bas à droite, il est possible de définir une feuille de données. Les étudiants doivent spécifier le nombre de lignes et de colonnes dont ils ont besoin. Seuls les titres des colonnes peuvent être définis. Pour remplir ce tableau avec des valeurs obtenues, les étudiants doivent aller dans l'espace *Résultats*. Cette répartition est créée de manière à ce que les étudiants prennent conscience qu'ils rédigent un protocole pour un autre binôme et ne sont pas en train de rédiger un compte-rendu de TP.

Dans la partie de gauche, une fenêtre contient le protocole rédigé. Lorsque les étudiants commencent l'élaboration, seules les étapes (boîtes bleues) sont présentes à l'exception de la boîte violette contenant le schéma expérimental.

Cet arbre de tâches représente le protocole à élaborer. Il y a sept boîtes bleues correspondant à chacune des étapes définies dans la figure 3 (à l'exception de la première sur le principe du liquide, sous la forme d'une question et d'hypothèse). Les étudiants ne peuvent pas supprimer les étapes initialement proposées mais peuvent en rajouter (aucun étudiants ne l'a fait). Ils peuvent justifier chacune de ces étapes avant de décrire les actions à réaliser. Ces actions sont

représentées par des boîtes violettes (voir image 4). Un nombre indéfini d'actions peut être ajouté à chaque étape en cliquant sur la boîte violette présente dans la barre des tâches. A chaque action, la consigne donnée précise que les étudiants doivent justifier leur réponse en la commentant.

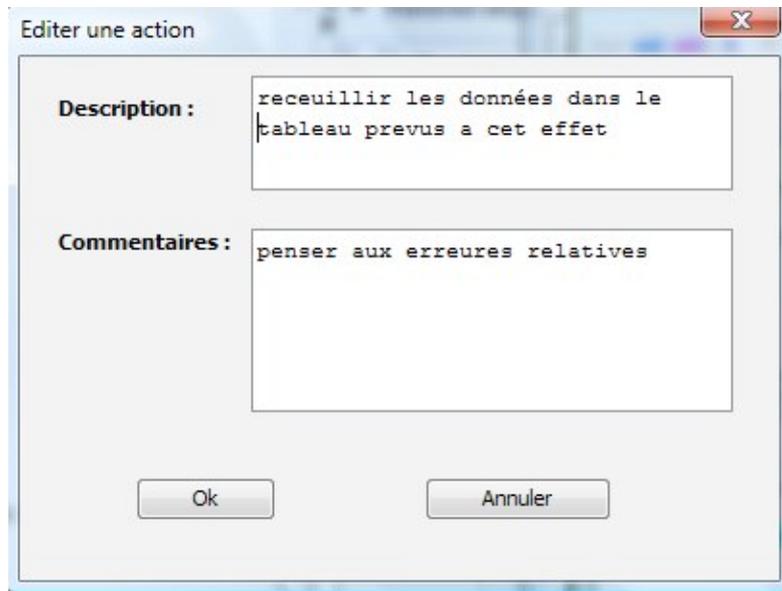


Image 4. Copie d'écran d'une boîte d'action remplie par des étudiants

L'étape 7 d'interprétation et de conclusion dans la situation T1 et en T2 n'est accessible qu'après avoir donné un second résultat pour les groupes B et C. Dans la situation 3, les étudiants y ont directement accès.

Aucun ordre d'écriture (par exemple : ordre chronologique dans le remplissage des étapes), n'est imposé aux étudiants. Ils peuvent modifier leur protocole à tout moment. Un enregistrement du protocole est effectué à chaque fois que les étudiants valident un résultat dans cet espace.

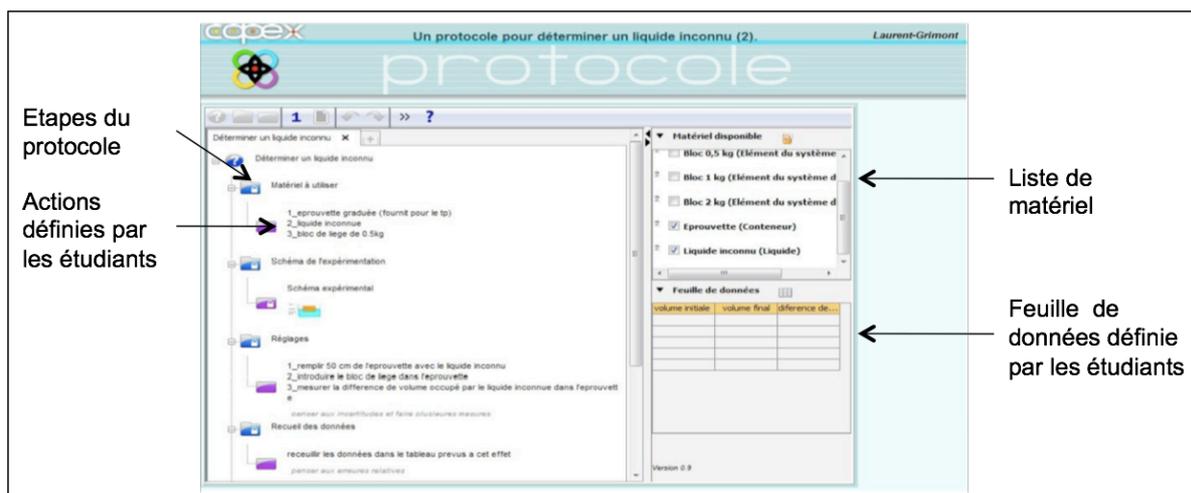


Image 5. Copie d'écran de l'espace *Protocole* du logiciel COPEX (copie d'un protocole d'un binôme)

D.3.4. Méthodologie d'analyse

D.3.4.1. Modèle de raisonnements et méthodologie de classement

La première expérimentation m'a permis de justifier l'utilisation d'un classement suivant celui proposé par Lubben, Campbell, Buffler et Allie (2001). Malgré tout, de nombreuses réponses ont été difficiles à classer. Pour cette raison, j'ai modifié ce modèle en utilisant les critères définis par Evangelinos, Valassiades et Psillos (2002), c'est-à-dire, en associant les schèmes de raisonnement Exact, Approché et Intervalle avec les raisonnements Point, Mixte et Ensemble définis précédemment. Dans un article écrit par les deux groupes (Allie *et al.*, 2003), ceux-ci expliquent la nécessité de se pencher sur la manière dont les étudiants voient la mesure et plus largement sur la compréhension de l'interprétation des données et de l'évaluation des preuves scientifiques.

Dans la définition du classement proposée dans la première expérimentation, quelques informations liées à l'objectif de mesurage ainsi qu'au statut donné au résultat obtenu existent mais ne sont pas prédominantes pour la classification. Dès lors, l'utilisation des schèmes permet d'aller plus loin et d'associer le raisonnement Point avec le schème Exact, c'est-à-dire d'associer le recueil d'une valeur unique avec la recherche d'une valeur exacte de la grandeur mesurée. De la même manière, le raisonnement Mixte concernant le recueil d'un petit ensemble de valeurs est associé avec le schème Approché. Cette association se justifie par le fait que les étudiants répètent leur prise de valeurs avec l'idée qu'il existe des erreurs mais qu'ils ne savent pas comment les éviter. Pour cela, ils estiment la valeur à obtenir à l'aide d'une valeur approchée. Enfin, la dernière combinaison concerne le raisonnement Ensemble (qui se distinguait surtout par une prise de valeurs en grande quantité afin de pouvoir avoir une action statistique sur les incertitudes) et le schème de raisonnement Intervalle qui décrivait une vision probabiliste de l'acte de mesurage et de l'identification de la grandeur à mesurer.

Notre modèle de raisonnements est redéfini en cinq points afin de mieux correspondre à la tâche d'élaboration d'un protocole dans un cadre pratique (les cinq lignes du tableau 1). De plus, le raisonnement Ensemble-Intervalle est divisé en deux raisonnements, en suivant les problèmes soulevés par les autres chercheurs (Séré, Journeaux, Larcher, 1993, Lubben et al, 2001, Evangelinos, Psillos, Valassiades, 2002) et liés au cadre métrologique : un raisonnement fréquentiste de la mesure et un raisonnement bayésien.

	Point-Exact	Mixte-Approché	Ensemble-Intervalle	
			Ensemble-Fréquentiste	Ensemble -Bayésien
Vue sur la notion de valeur vraie	Il existe une vraie valeur	Il existe une vraie valeur	Il existe une vraie valeur	Il n'existe pas de vraie valeur

Objectif de la mesure	La mesure permet d'obtenir exactement la vraie valeur.	Il est impossible d'obtenir directement la vraie valeur à cause des erreurs. Il faut donc chercher la valeur la plus proche de la vraie valeur.	Il est impossible d'obtenir directement la vraie valeur à cause des erreurs. Il faut donc chercher la valeur la plus proche de la vraie valeur en travaillant sur les erreurs du système de mesure.	Il est possible d'accéder à une estimation de la grandeur à l'aide d'une valeur et d'un intervalle de confiance.
Place des erreurs/incertitudes	Pas d'erreur possible.	Les erreurs existent mais il est impossible de les traiter de manière à améliorer les résultats du mesurage.	Les sources d'erreurs systématiques peuvent être identifiées afin de les éliminer et de réduire les erreurs aléatoires.	Les sources d'erreurs systématiques peuvent être identifiées afin de les éliminer et les incertitudes peuvent être évaluées à l'aide de fonction de probabilités.
place des instruments	Les instruments les plus « précis » doivent être utilisés si cela est possible. Les réglages ne sont expliqués uniquement que pour expliquer comment obtenir une valeur singulière.	Les instruments utilisés sont ceux à disposition. Des réglages sont effectués afin de rendre l'acte de mesurage plus simple. La problématique des erreurs n'est pas prise en compte.	Les instruments utilisés sont ceux à disposition. Une attention particulière est portée aux réglages afin de réduire les sources d'erreur.	Les instruments utilisés sont ceux à disposition. Une attention particulière est portée aux réglages afin de réduire les sources. De plus les incertitudes liées à ces sources d'erreur sont identifiées .
Recueil d'ensemble de valeurs	Une seule valeur est suffisante, mais une valeur ou deux peuvent être prises en plus pour plus de sûreté.	Une valeur ou plus sont prises afin de rechercher les répétitions de valeurs ou des groupes de valeurs proches les unes des autres.	L'utilisation d'un ensemble de valeurs permet d'effectuer un traitement statique de ces données (moyenne, calcul de pente) de manière à réduire les erreurs systématiques.	Un large ensemble de valeurs peut être utilisé de manière à estimer les incertitudes de type A et /ou, à l'aide d'une valeur singulière, estimer les incertitudes de type B basées sur les sources d'erreur.

Tableau 1. Modèle des raisonnements PMS, pour la seconde expérimentation

Ce tableau permet de modéliser les différentes manières de raisonner que les étudiants peuvent utiliser en fonction de 5 points : l'attribution d'une valeur vraie exacte à la grandeur ou non, l'objectif de l'acte de mesurage, la place donnée aux erreurs ou incertitudes durant

tout l'acte du mesurage, la place donnée aux instruments utilisés et enfin la dimension de l'ensemble de valeurs récoltées. Ici, comme dans le modèle utilisé lors de la première expérimentation, le raisonnement Point-Exact est le raisonnement le plus proche du raisonnement commun alors que le raisonnement Ensemble-Intervalle est le plus proche du raisonnement expert.

Dans chacune des situations, nous avons classé les réponses proposées par chaque binôme d'étudiants selon l'étape proposée et le « thème » abordé par la réponse. Plusieurs réponses similaires ont pu alors être définies par une « catégorie » qui puisse les regrouper selon leurs significations et leurs détails à propos du problème du mesurage. Ensuite, chaque catégorie a été classée selon un des trois raisonnements proposés dans le tableau 1. Enfin un code a été attribué à chacune de ces catégories, comportant le numéro de l'étape auquel il correspond, l'initial (P, M, ou S) du type de raisonnement et un nombre dont le premier chiffre correspond à son thème (voir exemple de grilles de codage en Annexe, G.3.2). Ainsi nous avons pu comptabiliser le nombre de fois que chacune des catégories est utilisée afin de pouvoir visualiser les fréquences d'utilisation des raisonnements dans chacun des groupes.

Code	Catégories	P-E	M-A	S-I
5P16	<i>mesurer l'angle i et l'angle r correspondant à la sortie / (valeur d'angle par rapport à la normale)</i>	1		
5MS17	<i>prendre différentes valeurs de r pour une même valeur de i</i>		1	1
5S18	<i>prendre des valeurs de 3° en 3°</i>			1

Tableau 2. Extrait de notre grille de codage : Exemple de catégories

Etape : partie du protocole constituée d'une ou plusieurs actions (voir image 4).
Action : une action est composée de descriptions et de commentaires sur ces descriptions, donnés par l'étudiant. Chacune des actions est découpées en unité de sens.
Unité : une unité est définie par le chercheur. Il s'agit d'une idée exprimée par l'étudiant en une ou plusieurs phrases.
Catégorie : chaque unité est classée dans une catégorie de la grille (tableau 2). Plusieurs unités vont pouvoir correspondre à une même catégorie.
Thème : un thème regroupe plusieurs catégories sur un même sujet.

Encart 5. Système de classification des réponses des étudiants

D.3.4.2. Analyse de l'expérimentation

Tout d'abord les réponses des binômes récoltées dans chacune des situations T1, T2 et T3 sous forme d'actions dans chaque étape du protocole, ont été classifiées en catégories après avoir été découpé en unité (encart 5). Le regroupement de ces catégories en groupe thématique a permis de dégager des thèmes spécifiques aux étapes dans chacune des situations. Ces thèmes ne sont pas particuliers à un raisonnement mais souvent un type de raisonnement s'en dégage. Chacune des catégories est, elle, classifiée selon l'outil de classification c'est-à-dire selon les raisonnements Point-Exact (P), Mixte-Approché (M) et Ensemble-Intervalle (S). Une réponse peut aussi correspondre à des critères partagés par deux types raisonnements proches (P-M, M-S ou P-S). Dans ce cas, cette catégorie est classifiée selon le raisonnement le plus proche du raisonnement commun des deux (par exemple une

catégorie classée M-S sera retenue comme une catégorie classée M).

Plusieurs exemples de catégories, concernant le même thème et correspondant à chacun des trois raisonnements, peuvent être donnés. Dans le cas de la situation 2, pour l'étape de réglages des instruments et le thème des catégories par rapport à l'angle d'incidence, les schèmes suivant existent :

Raisonnement Point-Exact : « *Le rayon incident doit passer exactement sur une des graduations et ressortir par une autre graduation* » (4P44).

Raisonnement Mixte-Approché : « *les rayons incidents doivent passer exactement sur une des graduations* » (4MS56).

Raisonnement Ensemble-Intervalle : « *Placer le demi-cylindre rempli du liquide inconnu sur le plateau, la face droite dirigée vers la lampe et formant par rapport à l'axe 0° un angle i inférieur à 45° afin d'être dans la limite des aberrations géométriques et des cas limites (réfraction totale, etc ...)* » (4S54).

Lorsque les réponses peuvent correspondre aux trois types de raisonnement ou alors sont hors sujets ou pas compréhensibles, elles sont classifiées comme Neutres (N=U, unclassified) : « *l'angle de réfraction mesuré est un angle de réfraction car le rayon n'est pas dévié quand il passe par la face arrondie du $\frac{1}{2}$ cylindre* » (5U05, TP d'optique) (pas lié à l'acte de mesure), « *la valeur de l'angle mesuré correspond au nombre de graduations séparant le rayon de l'axe 0° et de multiplier ce chiffre par 3°* » (5U10, TP d'optique) (trois types de raisonnements).

Le classement des réponses données par les étudiants est effectué par trois juges indépendants et le Kappa de Cohen a montré un bon accord entre les deux classements. Le premier a classifié toutes les actions des étudiants dans une grille de codage (catégories et thèmes). Le second a classifié les réponses de 5 binômes (34 catégories). Le kappa entre ce juge et le premier vaut 0,73. Le troisième juge a classifié 15 binômes (105 catégories). Le kappa entre ce juge et le premier vaut 0,63.

D.3.4.3. Raisonnement dans les protocoles

Afin de pouvoir répondre à mes questions de recherche, mes données ont été traitées par une ingénieure statisticienne à l'aide du logiciel SAS.

D.3.4.3.a. Utilisation des raisonnements en fonction des groupes, des situations et des étapes du protocole

En regardant la distribution des fréquences des réponses des étudiants selon les raisonnements utilisés, j'ai essayé d'en tirer un comportement général sur toute l'expérimentation concernant le type de raisonnement favorisé par les étudiants. J'ai aussi observé ces comportements en fonction des groupes, des situations et aussi des étapes.

Pour cela, j'ai compté le nombre de fois qu'une catégorie a été utilisée par des étudiants, puis réparti ce nombre selon les raisonnements auxquels les catégories correspondent. Premièrement, j'ai regardé cette distribution sans me soucier des situations, des étapes et des groupes d'étudiants. Deuxièmement, je l'ai regardée selon les groupes pour avoir une idée des évolutions des raisonnements en fonction des groupes et des situations (vérification des hypothèses H1, H2, H3).

Enfin je regarde la distribution des fréquences dans les différentes étapes sans me soucier des groupes et des situations. L'observation des raisonnements utilisés dans chacune des

étapes doit me permettre d'avoir une idée plus précise sur la validité de l'hypothèse 4 et aussi sur l'existence ou non, d'étapes utilisées de manière similaire par les étudiants. L'observation de ces distributions dans chacune des situations, doit me permettre d'avoir une indication globale de l'existence d'évolutions des raisonnements entre les situations. Si des évolutions existent, je pourrai ainsi les localiser et déterminer s'il existe un effet des spécificités des situations sur la manière dont les étudiants organisent leurs raisonnements.

D.3.4.3.b. Analyse par score

Comme chaque réponse est comptée dans l'analyse, et que la quantité de binômes dans chaque groupe n'est pas exactement la même, il est possible que certains groupes de binômes utilisent un nombre plus élevé de réponses que d'autres. Les comparaisons des distributions peuvent donc être faussées. Pour cette raison, nous utilisons une méthode attribuant un score à chaque binôme dans chacune des situations selon les raisonnements utilisés dans chacune des réponses codées. Cette méthode nous permet d'obtenir une évaluation de la qualité des stratégies utilisées par les étudiants sur une échelle des raisonnements définis par le modèle.

Premièrement, les réponses Neutres sont écartées. En effet, celles-ci ne contiennent pas d'informations reliées aux raisonnements PMS. Les scores doivent me permettre d'observer l'évolution des raisonnements PMS utilisés dans les différentes stratégies d'un binôme. Ainsi une réponse (sous la forme d'une catégorie) classée P-E vaut 0 point, une réponse classée M-A vaut 0,5 point, et une réponse S-I vaut 1 point. La somme des points obtenus est divisée par le nombre de réponses classées.

$$\text{score} = \frac{n(S)*1+n(M)*0,5+n(P)*0}{n(S)+n(M)+n(P)}$$

Encart 6. Formule pour le calcul des scores

Ainsi une stratégie (un ensemble de réponses) proche de 0 est proche d'un raisonnement Point-Exact, une valeur proche de 1 est proche d'un raisonnement Set-Intervalle. Lorsqu'une valeur se situe aux alentours de 0,5, cela peut indiquer l'utilisation d'une stratégie proche d'un raisonnement Mixte-Approché ou alors d'une stratégie mêlant des réponses Point-Exact et des réponses Set-Intervalle en quantité plus ou moins égale.

La moyenne de ces résultats dans chaque situation donne une tendance des raisonnements utilisés par chaque groupe et permet de les comparer. La distribution de ces scores ne suivant pas une loi bimodale, des tests non paramétriques sont effectués. Un test de Kruskal-Wallis est fait dans chaque situation afin de tester l'hypothèse selon laquelle les moyennes des valeurs de rang tirées des scores sont égales entre les groupes. Ainsi, il est possible de savoir si l'effet des rétroactions peut être observé ou pas dans cette expérimentation et donc de valider les hypothèses H1, H2 et H3.

L'observation de la variation des scores moyens par groupe entre les trois situations doit me permettre de mieux distinguer l'effet des situations sur l'évolution des raisonnements utilisés en moyenne dans les trois groupes pour chacune des situations (T3-T2 puis T2-T1).

D.3.4.3.c. Analyse des scores en fonction des étapes

Afin de pouvoir vérifier les hypothèses H5 et H6, je vais observer les scores moyens obtenus par les trois groupes dans chacune des situations et leur évolution. A l'aide de tableaux

contenant les thèmes utilisés par étapes dans chacune des situations, je vais comparer l'utilisation de ces thèmes (en fonction du nombre de réponses leur correspondant) avec les scores obtenus. La comparaison de l'évolution de ces scores avec celle des thèmes utilisés dans les tableaux doit me permettre d'évaluer l'effet des rétroactions sur les thèmes choisis pour définir les stratégies utilisées par les étudiants et les liens qui existent entre les points du modèle de raisonnement de ces thèmes.

D.3.4.3.d. Recherche des catégories classées comme Ensemble-Bayésien

Dans la grille de codage, les étudiants ont été classés seulement en Ensemble-Intervalle, je vais donc regarder quelle est la proportion d'étudiants utilisant des catégories qui peuvent être classées selon un raisonnement Ensemble-Bayésien. Je pourrai donc estimer quelle proportion d'étudiants sont capables d'utiliser une stratégie contenant une vue bayésienne de l'acte de mesurage.

D.4. Analyse a priori

D.4.1. Connaissances requises

Comme il l'a été décrit dans l'état de l'art, aucune connaissance métrologique n'est officiellement décrite. L'acte de mesurage est décrit dans l'enseignement des mathématiques et des sciences expérimentales durant l'enseignement secondaire. L'approche « erreur » de la métrologie semble y être clairement décrite et enseignée. De manière générale, les étudiants paraissent avoir été sensibilisés aux problèmes d'incertitudes et statistiques de la mesure. En début d'année scolaire, les étudiants ont effectué un TP portant sur des notions probabilistes de la mesure. Ceux-ci ont eu à calculer des écarts-types, des valeurs moyennes et des barres d'incertitudes après avoir collecté un large ensemble de données.

Je suppose donc que les étudiants sont capables d'utiliser le raisonnement Ensemble-Bayésien décrit comme le plus proche du raisonnement expert.

D.4.2. Domaines

D.4.2.1. Expérience d'optique

Le TP d'optique utilisé pour la situation T1 et T2 est très proche de celui utilisé pour l'élaboration et l'exécution de protocole de la première expérimentation. Quelques changements ont toutefois été effectués.

Les valeurs soulignées correspondent aux valeurs choisies dans la première expérimentation. Celles en gras sont celles choisies pour la deuxième expérimentation.

Objet de la variable didactique	variable didactique	Différentes valeurs possibles de la variable didactique
Source lumineuse	VDo1: nature de la source	<u>laser (monochromatique, intensité et largeur du faisceau fixes)</u>
		<u>lampe (polychromatique, intensité et largeur du faisceau variable)</u>

Éléments de réglages	VDo2: source lumineuse	
	Présence d'une tirette (possibilité de faire varier la distance ampoule/lentille)	oui
		non
		<u>oui pour l'une, non pour l'autre*</u>

	Présence d'une fente (possibilité d'ajuster la largeur du faisceau)	oui
		non
		<u>oui pour l'une, non pour l'autre*</u>

	Type de support (possibilité de régler la hauteur du faisceau)	fixe
		réglable
		<u>fixe pour l'une, réglable pour l'autre*</u>
	VDo3: schéma indiquant la place du 1/2-cylindre par rapport à l'instrument de mesure	oui
		non
VDo4: fixation du système de mesure dans son ensemble	oui	
	en partie	
	<u>non</u>	
VDo5: utilisation d'un plateau tournant avec un axe de rotation	fixe	
	<u>libre</u>	
VDo6: Feuille de travail		
taille	petite par rapport à l'espace disponible	
	<u>grande par rapport à l'espace disponible</u>	
	ajustée	

forme	ronde	
	<u>carrée</u>	
Instrument de mesure d'angle	VDo7: Taille	<u>ajustée à celle du demi-cylindre</u>

		plus grande que celle du demi-cylindre
		plus petite que celle du demi-cylindre
		ajustée à celle d'un rapporteur industriel
		plus petite que celle d'un rapporteur industriel
		<u>plus grande que celle d'un rapporteur industriel</u>
	VDo8: matière et instructions (possibilité de le compléter)	possibilité de le compléter
		impossibilité de le compléter
		<u>à compléter si nécessaire</u>
	VDo9: graduation	tous les degrés
		tous les 3 degrés
		tous les 5 degrés
		<u>quelques axes (0°, 30°, 45°, 90°)</u>
		aucune
Représentation mathématique évoquant la loi de Snell-Descartes	VDo10: formule: $n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(r)$	<u>oui</u>
		non
	VDo11: fonction $\sin(i) = f(\sin(r))$	<u>oui</u>
		non
	VDo12: Graphe	axes et points
		axes
		descriptions textuelles
		<u>aucune</u>
	VDo13: cas particulier: si $i=0^\circ$ alors $r=0^\circ$	<u>oui</u>
		non
Liste d'indices de	VDo14: Nombres d'indices	un

référence	pertinents	un
		<u>plusieurs</u>
	VDo15: Ecart entre les valeurs des indices pertinents	<u>faible</u>
		grand
	VDo16: nombres de chiffres significatifs	2
		<u>plus de 2</u>
	VDo17: Présence d'indices non pertinents	<u>oui</u>
		non
Contenant du liquide à caractériser	VDo18: forme	rectangulaire
		<u>demi-cylindrique</u>
		ronde
	VDo19 : Epaisseur des parois	<u>fines</u>
		épaisses

* dans le cas où deux sources lumineuses sont présentes

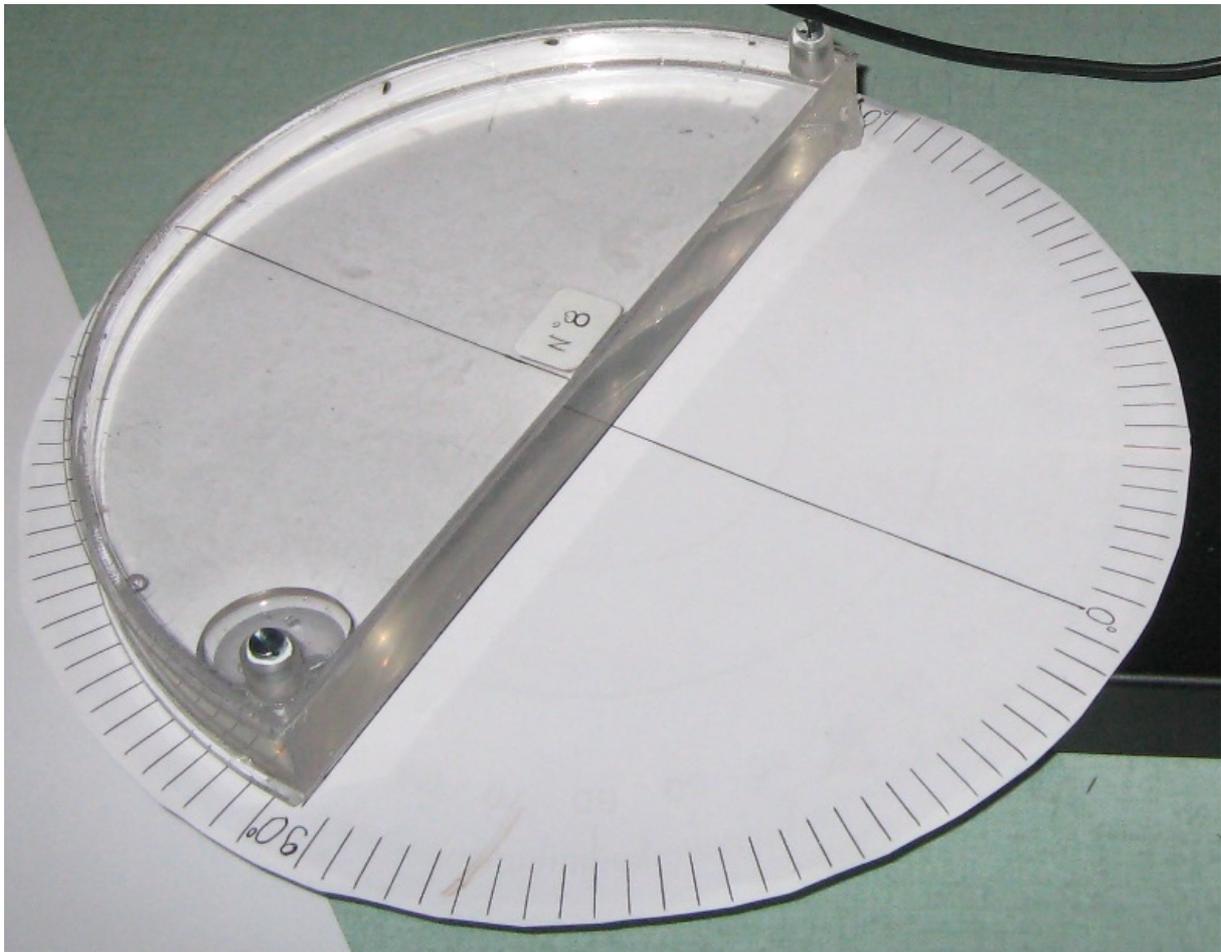
Tableau 2. Variables didactiques fixées dans l'expérimentation d'optique pour l'expérimentation

D'autres ont été modifiées :

Dans cette expérimentation, seule la lampe a été proposée (VDo1). Les aspects de polychromatisme ainsi que les réglages à effectuer doivent amener des réflexions sur la précision de la mesure. En effet, la largeur de bande du rayon chromatique peut entraîner une dispersion plus large du rayon réfracté. De plus, la première expérimentation a montré que les étudiants se focalisaient sur l'aspect technologique d'un laser sans se soucier des problèmes d'erreurs qui peuvent y être liés.

Concernant les variables VDo4 et VDo6 (fixation du système de mesurage et forme et taille de la feuille de travail, voir encart 7), la première expérimentation a montré que ces variables avaient une certaine efficacité, poussant les étudiants à vraiment prendre en main leur propre expérimentation. Mais peu d'entre eux se sont véritablement intéressés aux problèmes de précision que ces manipulations peuvent suggérer. D'autre part, ces manipulations étaient consommatrices de temps, temps que ne passaient donc pas les étudiants à réfléchir directement aux problèmes de précision de mesure. Pour cette raison dans la seconde expérimentation, les valeurs fixées ne soulèvent plus ces problèmes. Les étudiants vont donc

utiliser un plateau-tournant sur lequel est fixée la feuille de travail (VDo5). Ce système leur permet de conserver leurs réglages initiaux, réduisant ainsi des erreurs difficilement quantifiables voir remarquables.



Encart 7. Système de mesure et feuille de travail

La réalisation d'une graduation (VDo9) n'a pas eu, en majorité, les effets escomptés. Cela est dû surtout à une réalisation prenant trop de temps. Pour cette seconde expérimentation, l'instrument de lecture d'angle était gradué de 3° en 3° . Cet espace entre les graduations a été décidé de manière à ce que les étudiants ne soient pas poussés à rajouter des graduations par eux-mêmes, ainsi que pour fixer une source d'incertitude majeure dans ce protocole de mesure, facilement repérable et quantifiable. L'espace entre deux graduations est, dans cette expérience d'optique, la plus grosse source d'incertitude et aussi la source d'incertitude la plus facile à évaluer.

Ici, l'utilisation d'un graphe et des axes à utiliser (VDo12) est suggéré textuellement afin d'aider les étudiants à améliorer leur stratégie vers un raisonnement plus expert.

Les indices non pertinents (VDo17) présents dans la première expérimentation ont été retirés de la liste pour la seconde expérimentation, car ils n'ont pas eu l'effet souhaité mais aussi car ils pouvaient fausser la stratégie utilisée par rapport au raisonnement suivi par les étudiants.

D.4.2.2. Expérience de mécanique

Objet de la variable didactique	Variable didactique	Différentes valeurs possibles de la variable didactique
Solides à plonger	VDm1: forme du solide	cubique
		sphérique
		cylindrique
		pavé
	VDm2: caractéristiques du solide pour le calcul (paramètres donnés)	fournies
		à trouver
VDm3: nombre de solides différents proposés	1	
	plusieurs	
Cuve contenant le liquide	VDm4: utilisabilité	permet de contenir tous les solides
		permet de contenir seulement une partie des solides
	VDm5: présence d'une graduation	directement sur la cuve
		besoin d'un instrument de mesure supplémentaire
Instrument de mesure	VDm6 : taille	sur une partie de la cuve
		tout le long de la cuve
	VDm7: possibilité de le compléter	oui
		non
	VDm8: graduation	tous les mm
		tous les 5mm
		Tous les cm
	Représentation mathématique du principe d'Archimèdes	VDm9: formule brute $\rho_f = m / (\text{Solide} * h_{\text{immergé}})$
Non		
VDm10: formule sous forme de fonctions $h_{\text{immergé}} = f(m)$		oui
		non
VDm11: Graphe		axes et points
		axes
		descriptions textuelles
		aucune description

Liste d'indices de référence	VDm12: Nombres d'indices pertinents	un
		plusieurs
	VDm13: Ecart entre les valeurs des indices pertinents	faible
		grand
	VDm14: nombres de chiffres significatifs	2
		plus de 2
	VDm15: Présence d'indices non pertinents	oui
		non

Tableau 3. Variables didactiques fixées dans l'expérimentation de mécanique

De la même manière que dans le chapitre précédent, je décris ici les caractéristiques des variables sélectionnées ainsi que les raisons des choix de valeurs.

Avant de commencer, un point important concerne le fait que les étudiants n'ont pas accès au matériel. Celui-ci doit donc être simple et suffisamment défini pour que les étudiants puissent imaginer l'expérimentation à faire et sa réalisation.

Concernant le type de solides à plonger dans le liquide inconnu, leurs formes et leurs structures doivent répondre à deux critères (VDm1). D'un côté, un aspect réaliste de l'expérimentation, par exemple le solide le plus haut mesure 1,122 m lorsque le plus petit mesure dix fois moins, doit permettre aux étudiants de rester dans la réalisation d'une véritable situation expérimentale (par rapport à l'exécution de leur protocole) et non juste dans une situation d'exercice théorique. D'un autre côté, l'aspect de simplicité des calculs est important afin de ne pas perturber leur réflexion sur les problèmes de précision de la mesure. Pour cette raison, les blocs sont des pavés avec une base de forme carrée afin que les calculs de surface soient simples et que la lecture de la hauteur immergée soit facilitée. Deuxièmement, tous les paramètres des caractéristiques des solides (densité, surface, hauteur, masse) sont fournis. Ainsi, les étudiants connaissent toutes les variables nécessaires pour faire le calcul de la masse volumique recherchée, où la valeur de la hauteur immergée devient l'unique objet de l'acte de mesurage (VDm2).

Quatre solides sont proposés (VDm3). Ainsi, les étudiants peuvent utiliser différents types de stratégies liés à tous nos raisonnements, en collectant plusieurs valeurs de la hauteur immergée à l'aide de blocs différents, par exemple, et aussi des stratégies utilisant des outils statistiques.

Concernant la cuve contenant le liquide inconnu, les graduations sont directement présentes sur cette cuve (VDm5). Elles permettent d'effectuer une lecture directe des variations de volume. Aussi cette cuve doit pouvoir contenir tous les blocs, que ce soit selon leur largeur ou selon leur hauteur et ainsi pouvoir lire la variation de volume sans que le liquide déborde lors de l'introduction du solide (VDm4). L'instrument permettant de satisfaire ces conditions est une éprouvette graduée de diamètre de 15 cm et de 1,3 m de hauteur. Les étudiants connaissent ce type de matériel (peut-être pas sous ces dimensions) pour l'avoir utilisée lors de TP de chimie depuis le lycée. Ils doivent aussi connaître les problèmes de lecture liés à ce type d'instruments (par exemple les problèmes de parallaxe) et la manière de les minimiser (observation du bas du ménisque).

Dans cette expérimentation les réglages sont assez minimes, et concernent les conditions initiales avant de prendre les mesures. Pour cela, la cuve doit permettre de mesurer la quantité de liquide introduit (VDm5) afin d'avoir un volume de référence pour pouvoir mesurer la

variation de hauteur de liquide.

L'échelle des graduations existante sur la paroi de l'éprouvette doit être présente tout le long de l'éprouvette et doit correspondre aux variations de niveau imposées par les différents solides sans rompre les conditions initiales (VDM6). Ici, l'échelle de graduation ne peut pas être complétée par les étudiants (VDM7) afin qu'ils soient directement confrontés aux problèmes de lecture dans ce cas (parallaxe, distance entre deux graduations). Enfin, la distance entre les graduations est de 5 mm (VDM8). Premièrement, ce type d'échelle est courant pour les éprouvettes graduées. Deuxièmement, il nous permet d'obtenir des incertitudes relatives² assez importantes pour le calcul de la masse volumique (allant jusqu'à 30% pour le liquide ayant la plus forte masse volumique et le solide le plus léger).

Ensuite, les valeurs des variables VDM9 et VDM10 sur les types de formules mathématiques données, suivent celles du TP d'optique. Par contre, ici, rien ne vient suggérer directement l'utilisation d'un graphique pour représenter les mesures (VDM11). Premièrement parce que la validité d'un graphique avec quatre points peut légitimement être mise en cause par les étudiants, et deuxièmement parce que les étudiants ayant utilisé cette stratégie dans l'élaboration du protocole d'optique dans la situation précédente doivent être capables de réutiliser cette stratégie directement.

La construction de la liste de références a été identique à celle pour l'élaboration d'un protocole dans un TP d'optique lors de l'expérimentation (mêmes variables et mêmes valeurs).

D.4.2.3. Des domaines différents, un acte de mesurage similaire

<i>TP d'optique</i>		<i>TP de mécanique</i>	
Source lumineuse	VDo1: nature de la source	VDM1: type de solide VDM2: caractéristiques du solide pour le calcul VDM3: nombre de solides différents proposés	Solides à plonger
Éléments de réglages	VDo2: source lumineuse VDo3: schéma indiquant la place du 1/2-cylindre par rapport à l'instrument de mesure VDo4: fixation du système de mesure dans son ensemble VDo5: utilisation d'un plateau tournant avec un axe de rotation VDo6: Feuille de travail		Éléments de réglages

² Le calcul de ces incertitudes relatives a été fait en fonction de la hauteur de la graduation minimum par rapport à la hauteur de liquide déplacé par le solide.

Instrument de mesure d'angle	<u>VDo7: Taille</u> <u>VDo8: matière et instructions</u> <u>VDo9: graduation</u>	<u>VDm6: taille</u> <u>VDm7: possibilité de le compléter</u> <u>VDm8: graduation</u>	Instrument de mesure
Contenant du liquide à caractériser	VDo18: forme VDo19 : Epaisseur des parois	VDm7: taille de la cuve VDm8: présence d'une graduation	Cuve contenant le liquide
Représentation mathématique évoquant la loi de Snell-Descartes	<u>VDo10: Formule</u> $n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(r)$ <u>VDo11: fonction</u> $\sin(i) = f(\sin(r))$ <u>VDo12: Graphe</u> VDo13: cas particulier: si $i=0^\circ$ alors $r=0^\circ$	<u>VDm9: formule brute</u> $\rho_f = m / (\text{Solide} * h_{\text{immergé}})$ <u>VDm10: formule sous forme de fonctions</u> $h_{\text{immergé}} = f(m)$ <u>VDm11: Graphe</u>	Représentation mathématique du principe d'Archimède
Liste d'indices de référence	<u>VDo14: Nombres d'indices pertinents</u> <u>VDo15: Ecart entre les valeurs des indices pertinents</u> <u>VDo16: nombres de chiffres significatifs</u> <u>VDo17: Présence d'indices non pertinents</u>	<u>VDm12: Nombres d'indices pertinents</u> <u>VDm13: Ecart entre les valeurs des indices pertinents</u> <u>VDm14: nombres de chiffres significatifs</u> <u>VDm15: Présence d'indices non pertinents</u>	Liste d'indices de référence

Tableau 4. Objectif des variables didactiques et variables didactiques dans chacun des TP.

Cette situation est très proche de la situation d'élaboration précédente. Même si le domaine (ici, mécanique) est différent, la tâche de mesurage est semblable à celle demandée précédemment. La grandeur à mesurer se présente sous la même forme (liquide) et l'objectif final est identique (identification d'un liquide). La tâche de mesurage peut être reproductible et le manipulateur aura à prendre plusieurs valeurs à l'aide d'un instrument de graduation (éprouvette graduée). Là encore, les conditions initiales ne sont pas données et sont à la charge du binôme qui élabore le protocole (volume d'eau initial, état stationnaire du solide, ...). La liste de références soulève les mêmes questions concernant la procédure de prise de décision. Enfin, la tâche d'élaboration est la même, sans le travail sur les rétroactions spécifiques. La plus grande différence réside donc dans le fait que les étudiants ne peuvent pas manipuler les instruments mais sont quand même autonomes dans leur élaboration. Cette différence se retrouve, entre autres, dans la présence de nombreuses variables sur les réglages des instruments dans le TP d'optique, alors qu'aucune de ces variables n'est présente dans le

TP de mécanique.

Un des points importants dans cette étude est d'observer si les étudiants sont capables de réutiliser en T3 les stratégies et donc les raisonnements qu'ils ont pu développer à l'aide des rétroactions reçues en T1 et T2. Pour cela, lors de l'expérimentation, j'ai élaboré deux situations se différenciant peu dans leur protocole de mesure. Ainsi, dans les deux cas, les étudiants ont à concevoir un protocole de mesure afin d'expliquer à un autre binôme d'étudiants comment déterminer un liquide inconnu. Les étapes de ce protocole sont les mêmes dans les deux cas (figure 4). L'outil utilisé est organisé de la même manière avec l'aide à l'élaboration COPEX.

Dans les deux cas, les objectifs des variables didactiques sont quasi-identiques (sauf pour les réglages). Les variables, elles, ne sont pas toutes identiques (variables identiques soulignées dans le tableau 4). Des différences existent lorsqu'il s'agit d'aspects manipulateurs du TP (à propos du matériel, des grandeurs à mesurer et des réglages). Les variables concernant l'instrument de mesure, la représentation mathématique du modèle et la liste d'indices de référence sont identiques. Ainsi, l'instrument de mesure est dans les deux cas constitué d'une graduation, dont la taille et les intervalles entre graduations sont importants pour l'élaboration d'un protocole de mesure. Les formules obtenues par la théorie dans chacun des cas sont présentées sous leur forme brute puis sous la forme d'une fonction. Dans un cas, l'éventualité d'une représentation sous la forme d'un graphe est énoncée, dans l'autre, elle ne l'est pas. Enfin, les listes de références prennent les mêmes aspects en jouant sur un nombre important de valeurs possibles (environ une dizaine). Les écarts entre les valeurs sont définis par les incertitudes calculées à l'aide des plus grosses sources d'erreurs dans chacune des expériences. Et, enfin, le nombre de chiffres significatifs doit rendre l'utilisation de stratégies suivant le raisonnement Point-Exact plus compliquée.

Ces deux expérimentations sont des expérimentations déjà rencontrées dans le cursus des étudiants et suffisamment simples par rapport aux calculs et aux manipulations. L'instrument utilisé pour estimer les variations du paramètre à mesurer est un système gradué permettant d'évaluer une variation (angle dans un cas, niveau d'un liquide dans l'autre). La répétabilité³ de l'acte de mesurage est aussi une similarité importante. Cette répétabilité doit permettre aux étudiants de se pencher sur les problèmes statistiques de l'acte de mesurage et ainsi de pouvoir estimer des incertitudes-types de type A.

Les différences existantes, outre le domaine d'application de ces expérimentations, sont les suivantes :

- (1) L'aspect manipulateur de l'expérience : alors que dans la situation d'optique les étudiants utilisent le matériel pour vérifier leur protocole, ils n'ont aucun contact avec le matériel dans la situation mécanique.
- (2) Le temps imparti pour la réalisation de la tâche : dans la situation d'optique, il est trois fois supérieur au temps fourni pour la situation de mécanique.
- (3) Les conditions opératoires initiales sous la forme de valeurs pré-définies pour les sources permettant l'identification de la grandeur : dans l'expérience d'optique, le paramètre à faire varier n'a pas de valeur pré-définie et de nombreux réglages sont nécessaires (sur la position

³ **Condition de répétabilité** : « condition de mesurage dans un ensemble de conditions qui comprennent la même procédure de mesure, les mêmes opérateurs, le même système de mesure, les mêmes conditions de fonctionnement et le même lieu, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires pendant une courte période de temps. » (JCGM_VIM, 2008, p.23)

du matériel, la taille du rayon, l'utilisation d'une fente, la condition initiale pour $i=0$; dans l'expérimentation de mécanique, les blocs ont des paramètres pré-définis impossibles à modifier.

(4) La continuité de l'acte de mesurage : dans l'expérience d'optique, la mesure d'angle est continue car les réglages initiaux n'ont pas à être perturbés pour prendre une nouvelle mesure alors que, dans l'expérience de mécanique, le manipulateur doit remplacer les blocs et donc modifier à chaque fois les conditions initiales.

D.4.3. Rétroactions

Les étudiants du groupe B reçoivent une des deux rétroactions spécifiques. Ils peuvent comparer la forme de leur résultat avec dix résultats prétendument proposés par d'autres étudiants. Un point important de la consigne consiste en le fait que les étudiants ne savent pas si ces étudiants ont utilisé le même liquide inconnu qu'eux, donc ils ne peuvent pas comparer les valeurs obtenues pour valider ou invalider leur protocole. En comparant ces différentes formes, ils doivent se rendre compte qu'ils existent d'autres stratégies pour obtenir un résultat. A eux d'évaluer la qualité des stratégies que ces résultats sous-tendent, et de les reconstruire si elles leur semblent de meilleures qualités que la leur. Cette reconstruction nécessite qu'ils modifient quelque chose dans leur protocole. Cette modification peut aller de la création ou la suppression d'une ou plusieurs étapes, jusqu'à une simple modification de la ponctuation. Une fois cette modification effectuée, ils ont accès à une seconde boîte de résultat (voir figure 2). En effet, cette modification de la stratégie peut entraîner une modification du résultat obtenu. Le remplissage de cette nouvelle case « Résultat » leur donne l'accès à la liste d'indices de référence et à la dernière étape. Les étudiants du groupe C reçoivent la seconde rétroaction. L'enchaînement est le même que pour le groupe B. La rétroaction reçue prend la forme d'un protocole censé provenir d'un autre binôme d'étudiants et jugé pas suffisamment satisfaisant par un enseignant. Ce protocole est complet, c'est-à-dire que toutes les étapes sont complétées (même celle d'interprétation et de conclusion). Cette rétroaction doit pousser ces étudiants à modifier leurs actions sur l'ensemble de leur protocole, sans toutefois recopier directement la stratégie présentée dans ce protocole mais en l'adaptant à leur protocole. Comme pour le groupe B, ces étudiants doivent remplir une deuxième case « Résultat » puis reçoivent la liste d'indices de référence. Ils peuvent alors compléter la dernière étape.

D.4.3.1. Liste d'indices et de masses volumiques (voir encart 1)

La liste d'indices optiques dans le TP d'optique est fournie dans la situation T2 à tous les binômes. Cette liste est fournie aux étudiants lorsque ceux-ci donnent, soit leur résultat pour le groupe A, soit après avoir fourni un deuxième résultat pour le groupe B et C. Elle est donc totalement liée à l'étape d'interprétation et de conclusion sur le résultat. Les variables mises en avant et les valeurs choisies pour cette liste ont été expliquées dans le paragraphe précédent. Il s'agit des variables VDo 14, 15, 16 et 17.

Cette liste se distingue de la liste du TP d'optique de la première expérimentation essentiellement par la non-utilisation d'indices qui ne soient pas pertinents. Des liquides ont été remplacés (tel que l'éthanol remplacé par une solution sucrée à 18%) ou ajoutés (tel que le mercure liquide) pour des raisons pratiques, mais aussi pour obtenir une liste avec une gamme de liquides possibles suffisamment large. Cela doit permettre aux étudiants d'utiliser le maximum de stratégies. L'introduction de nouveaux liquides permet aussi d'obtenir des écarts entre les indices de références plus faibles afin de rendre plus difficile le choix d'un indice à l'aide de stratégies suivant un protocole approché.

Dans le sujet de mécanique, la liste de masses volumiques est donnée à tous les groupes dans l'espace « exploration ». Les masses volumiques proposées sont toutes probables dans un laboratoire de première année universitaire. La constitution de cette rétroaction se base sur les variables didactiques VDM12, 13, 14 et 15. La différence entre deux valeurs de masse volumique se situe entre 50 et 230 kg.m⁻³ de manière à ce que les incertitudes dues à l'écart entre les graduations puissent recouvrir cette distance.

D.4.3.2. Liste de résultats

La liste de résultats est la rétroaction donnée au groupe B. Les étudiants la reçoivent après avoir complété l'étape de traitement des données, testé leur protocole et donné un résultat dans l'espace *Résultats* du site web.

La consigne donnée dans l'espace mission de COPEX est la suivante :

« Une fois remplie vous cliquerez sur le bouton « validé » et vous obtiendrez une liste de résultats obtenus par d'autres étudiants à la même étape que vous. Cette liste peut vous aider à améliorer votre protocole. Une fois le protocole modifié, vous pourrez accéder une seconde fois à la boîte résultat. »

Cette rétroaction porte essentiellement sur le nombre de valeurs à recueillir et la manière de les présenter. Ces résultats peuvent correspondre à une mesure singulière, une moyenne de valeurs, la prise en compte des incertitudes, la définition d'un intervalle. L'objectif est que les étudiants choisissent une de ces propositions, la comparent avec leur propre résultat et décident laquelle est la meilleure. Ainsi dans le cas où les étudiants décident qu'une des formes proposées est meilleure, ils peuvent engager une réflexion sur la manière de modifier leur protocole afin d'obtenir le même type de résultat. Les valeurs proposées ne peuvent pas être comparées directement avec les valeurs obtenues par les étudiants car ceux-ci ne savent pas si les réponses proposées ont été obtenues avec le même liquide que celui qu'ils utilisent.

Dans le tableau, dix exemples de réponses sont décrits dans le cas où une solution sucrée à 30% serait utilisée. D'après la littérature, l'indice mesuré devrait correspondre théoriquement à un indice de $n=1,380$.

Imaginons que, durant l'expérience, les étudiants observés testent leur protocole et inscrivent le résultat suivant dans la case résultat : 1,4356, alors, ils reçoivent le tableau de l'encart 2.

Les dix exemples de réponses ont été choisis selon trois variables didactiques qui suivraient des objectifs de recueil des données associés au problème de traitements des données ainsi qu'au problème de prises de décisions.

La première des variables joue sur le nombre de chiffres significatifs après la virgule du résultat (VDO18). Deux valeurs de cette variable existent. Dans le cas du binôme 1 (1,56), seuls deux chiffres sont donnés, de manière à faire penser aux étudiants que le binôme 1 n'a récolté qu'une seule valeur ou alors qu'il a calculé une moyenne de plusieurs valeurs. Dans le cas du binôme 2 (1,367), 6 (1,768) et 9 (1,012), le fait de donner trois chiffres après la virgule a pour objectif de faire penser aux étudiants que le binôme a suivi une stratégie n'utilisant qu'une seule valeur. Celle-ci ayant pu être sélectionnée en essayant d'obtenir plusieurs fois la même valeur, en choisissant la première valeur collectée, en obtenant une valeur médium. La présence de deux valeurs extrêmes (binômes 6 et 9) ainsi qu'une forme différente (Binôme 1) doit mener les étudiants à réfléchir sur la validité d'une valeur unique ainsi qu'à l'utilisation d'un traitement statistique (en suivant un raisonnement du type : perdre

un chiffre significatif signifie que le binôme « gagne » autre chose en donnant un tel résultat).

La seconde des variables joue sur le nombre de valeurs à recueillir (VDo19). Le binôme 3 (1,320; 1,155; 1,432; 1,380; 1,556) et le binôme 8 (1,123; 1,242; 1,296; 1,344; 1,356; 1,378; 1,390; 1,398; 1,410; 1,425; 1,459; 1,485; 1,515; 1,562; 1,664) proposent aux étudiants non pas un résultat sous la forme d'une seule valeur mais un ensemble de valeur. La taille de ces ensembles doit faire réfléchir les étudiants sur la dispersion possible des valeurs, et les sources de ces dispersions. Il doit aussi amener leur réflexion sur la possibilité d'effectuer un traitement différent de celui d'une sélection de valeur (plus binôme 3), par exemple un traitement statistique (binôme 8).

La troisième des variables joue sur l'écriture du résultat sous la forme d'un intervalle (VDo20). Quatre résultats de binômes sont reliés à cette variable. Le binôme 5 ([1,267; 1,463]) et 10 ([1,34; 1,62]) décrivent un résultat sous la forme d'un encadrement tel qu'il peut être décrit en mathématique. J'ai repris la variable VDo18 pour différencier un intervalle constitué de valeurs qui peuvent être recueillies directement (binôme 5) et un encadrement avec des valeurs qui ont pu être traitées statistiquement (binôme 10). Le binôme 4 ($1,41 \pm 0,04$) et le binôme 7 ($1,37 \pm 0,005$) utilisent un résultat avec le symbole \pm qui est le plus souvent attribué pour décrire les incertitudes (ou erreurs) dans les sciences expérimentales. La valeur du second nombre du résultat donné par ces deux binômes peut correspondre à une évaluation des incertitudes. Celle du binôme 4 correspondrait à un calcul statistique provenant d'une ou plusieurs sources d'incertitudes. Celle du binôme 7, correspondrait plus à l'estimation d'un intervalle, par exemple sur la lecture de la valeur d'angle. Cette variable doit orienter les étudiants vers une réflexion sur l'utilisation d'un intervalle, son utilité, pour répondre aux problèmes soulevés par les incertitudes ou les erreurs dans l'expérimentation, leurs identifications et leurs estimations. Enfin, on retrouve le problème du traitement statistique des valeurs par rapport à une utilisation directe de celle-ci.

Ainsi ces trois variables doivent mener les étudiants à réfléchir sur les étapes de recueil de données, de traitement des données et de prise de décision à l'aide du résultat obtenu (figure 4).

D.4.3.3. Un protocole de qualité moyenne (voir encart 2 et annexe,

G.3.3.)

Lorsque les étudiants du groupe C finissent de compléter l'étape de traitements des données, testent leur protocole et complètent la case résultat, ils reçoivent comme rétroaction spécifique un protocole complet (la partie d'interprétation et de conclusion sur la mesure est décrite).

Ce protocole a été conçu afin de correspondre à une stratégie proche d'un raisonnement Mixte-Approché. Ce choix a été fait de manière à ce que les étudiants ne reçoivent pas un protocole « parfait » qu'ils puissent copier-coller. De plus, l'explication selon laquelle un enseignant ne juge pas ce protocole suffisamment satisfaisant pour pouvoir prendre une décision correcte et répondre au problème, doit permettre aux étudiants de penser que certains points du protocole ne sont pas corrects. Donc il ne faut pas qu'ils introduisent directement les actions proposées dans leur procédure sans y avoir réfléchi.

Dans ce protocole, les variables didactiques sont semblables à celles définies dans le tableau de variables didactiques du TP d'optique (voir tableau 2). Les valeurs de ces variables ont

toutefois été modifiées de manière à pouvoir obtenir des réactions de la part des étudiants. Malgré cela, de nouvelles variables sont introduites telle qu'une variable concernant le nombre de valeurs à recueillir (VDo20).

Concernant le réglage du matériel :

- Le faisceau lumineux doit être réglé de manière à obtenir des rayons parallèles. La déviation des rayons lumineux à l'interface est donc faible et peut être estimée (VDo2).
- Le faisceau doit être réglé en premier, suivant la relation si $i=0$ alors $r=0$, afin d'éliminer les déviations extrêmes du faisceau qui sont dues à un mauvais centrage du faisceau (VDo13).
- Les étudiants doivent recueillir des valeurs de r tous les 3° de i , afin d'obtenir un large ensemble de valeurs (plus de 10) (VDo21).

Ces valeurs de variables ont été choisies afin d'introduire l'idée que l'instrument de mesure (ici le faisceau) peut provoquer des erreurs de mesure par lui-même et que les réglages peuvent permettre de les réduire. La collecte d'un large ensemble de valeurs doit permettre aux étudiants qui proposaient de n'utiliser qu'une seule valeur, d'envisager l'option d'en prendre plusieurs.

Concernant la lecture des valeurs sur l'instrument de mesure :

Les étudiants doivent lire les valeurs de i soit sur la marque de la graduation sur laquelle le faisceau est situé ou, s'il est entre-deux, de lire la valeur médium en donnant un intervalle de $\pm 1,5$ avec la valeur (VDo9).

Ainsi, les étudiants doivent réaliser qu'il existe une incertitude sur la lecture de la valeur et que cette incertitude peut s'exprimer sous la forme d'un intervalle.

Concernant l'aspect mathématique du traitement des données :

- Les étudiants doivent calculer les sinus pour chaque valeur, et pas seulement pour une valeur moyenne (VDo10 – VDo11).
- Ils doivent tracer un graphique de la fonction définie par la loi de Snell-Descartes (donnée dans l'espace théorie) (VDo11-12). Ils ont aussi à déterminer une manière de représenter les intervalles obtenus ainsi que leur valeur médium (VDo12).
- Ils ont à tracer une droite passant par un maximum de points et l'origine (VDo12).

L'utilisation d'un graphique doit aider les étudiants à développer des stratégies basées sur des recueils d'ensembles de données. La dernière action est proche du raisonnement Mixte-Approché et semble être largement utilisée par les étudiants (Volkwyn, 2008). Ils doivent donc réfléchir sur la raison pour laquelle cela ne semble pas être une bonne action pour un expert. La notion de barres d'erreur doit aussi les amener à utiliser des stratégies proches du raisonnement Ensemble-Intervalle.

Enfin concernant la prise de décision :

- Dans ce protocole, la prise de décision est typique d'un raisonnement Mixte-Approché et est une manière habituelle de prendre une décision pour les étudiants. La première des deux solutions proposées permet de suivre une stratégie plus de type exact (sélection d'un liquide si le résultat correspond exactement à celui d'un des liquides) mais la seconde suit pleinement une stratégie de type approché (VDo16, 17).

Le travail sur un graphique, sur plusieurs valeurs et sur une moyenne devrait permettre aux étudiants d'obtenir une valeur comprise dans les valeurs de la liste mais avec une dispersion importante des valeurs obtenues. Cette dispersion ainsi que l'utilisation de barres d'erreur dans le graphique doit aussi permettre aux étudiants de se poser la question de la validité de la valeur choisie comme résultat (VDo12). Ce travail correspond à des stratégies caractéristiques du raisonnement Ensemble-Intervalle.

Durant toute l'élaboration du protocole, et même à la fin, la nature du liquide utilisé n'est jamais révélée aux étudiants. Cela pour deux raisons. Premièrement, pour éviter que les étudiants ne tentent de modifier leur protocole après-coup afin d'obtenir la « bonne valeur ». Deuxièmement, pour que les étudiants puissent s'intéresser aux problèmes de qualité de la mesure liée au protocole sans définir l'acte de mesurage comme bon ou mauvais, mais seulement sur la manière d'obtenir la « bonne valeur ».

Malgré une stratégie générale suivant un raisonnement Mixte-Approché, plusieurs fois la question des incertitudes et des erreurs est soulevée afin que les étudiants gardent à l'esprit ces problèmes et peut-être, aillent plus loin que ce qui est écrit dans ce protocole.

D.4.4. Stratégies attendues

Les étudiants peuvent utiliser une infinité de stratégies pour élaborer leur protocole. Celui-ci peut être basé sur différents raisonnements en fonction des étapes. L'objectif des rétroactions est de permettre aux étudiants de modifier les raisonnements qu'ils utilisent dans leur réponse de manière à tendre vers un raisonnement proche du raisonnement expert.

D.4.4.1. Evolution des stratégies du groupe ne recevant pas de rétroaction spécifique (groupe A).

La seule rétroaction que ces étudiants reçoivent est la liste d'indices de référence à la fin de leur rédaction de protocole. L'exécution de leur protocole doit leur permettre de découvrir l'existence de dispersion dans les données et donc de sources d'incertitudes. Dans le cas où les étudiants continuent à utiliser une stratégie liée à un raisonnement Point-Exact, la liste d'indices doit leur permettre de remettre en cause cette stratégie. Ils doivent alors rencontrer des difficultés pour choisir une valeur exacte dans la liste et donc avoir tendance à rechercher un indice proche de leur valeur, c'est-à-dire à utiliser un raisonnement Mixte-Approché. De plus, l'écart entre deux liquides reste faible et devrait les entraîner à réfléchir à une autre stratégie pour déterminer leur résultat. Je suppose qu'une stratégie basée sur un intervalle est accessible aux étudiants.

D.4.4.2. Evolution des stratégies du groupe recevant une liste de résultats (groupe B).

La rétroaction intervient après que les étudiants du groupe B aient fourni un premier résultat. Pour les inciter à s'intéresser au tableau qui leur est donné, les étudiants doivent modifier leur protocole puis fournir un deuxième résultat. Ce tableau contient des résultats correspondant aux trois types de raisonnements. Ces formes de résultats doivent pousser les étudiants à s'interroger sur la manière dont ils ont obtenu leur résultat et à de nouvelles stratégies suivant d'autres raisonnements. Par exemple, des étudiants ayant utilisé une stratégie suivant un raisonnement Point-Exact peuvent s'interroger sur la validité de leur premier résultat. La présence de réponses comportant plusieurs valeurs peut les inciter à utiliser un ensemble de valeurs plus important. La présence de résultats pouvant provenir d'un traitement des données impliquant un niveau supplémentaire à celui de l'application des formules mathématiques peut entraîner l'utilisation d'outils statistiques. Enfin, l'utilisation d'encadrement ou d'intervalles a pour objectif, de leur faire penser à une vision probabiliste de la grandeur à mesurer. La forme d'un résultat utilisant deux nombres a pour objectif, de leur rappeler les travaux sur les incertitudes et les erreurs qu'ils ont pu effectuer lors d'enseignements

ultérieurs, au lycée ou à l'université. Ces différentes formes de résultats devraient faire tendre les étudiants à modifier leurs réponses dans les étapes de recueil et de traitement des données, mais aussi dans le cas d'une réflexion sur les sources d'erreurs et d'incertitudes, dans les étapes précédentes liées à l'organisation du matériel et la manipulation.

D.4.4.3. Evolution des stratégies du groupe recevant un protocole de type Mixte-Approché (groupe C).

Une fois leur premier résultat donné, les étudiants du groupe C reçoivent un protocole jugé pas suffisamment satisfaisant de la part de l'enseignant. Cette consigne a pour objectif de faire réfléchir les étudiants sur ce qui, d'après eux, est correct dans la stratégie qui leur est proposée et ce qu'ils ne doivent pas réutiliser. De manière générale, ce protocole suit un raisonnement Mixte-Approché dans lequel les incertitudes et les erreurs sont présentes. Ainsi je suppose que les étudiants qui ont utilisé le raisonnement le plus proche du raisonnement commun (Point-Exact) vont s'interroger sur les différentes stratégies existantes, telles que, par exemple, le recueil d'un large ensemble de données, l'utilisation d'un graphique et de barres d'erreur. L'intérêt de cette rétroaction consiste aussi dans la possibilité pour les étudiants de reconnaître la continuité qui existe entre les étapes dans l'utilisation d'un raisonnement. Et donc leur permettre de ne pas, juste, modifier une réponse dans une seule étape mais de s'intéresser à l'implication de cette modification sur les autres étapes.

D.5. Résultats

Dans cette partie, sont présentés les résultats obtenus dans l'expérimentation. Afin de simplifier la lecture des graphiques et des tableaux, un code a été établie afin de présenter les informations sous formes de fonctions :

- R, r représente la variable « raisonnement des étudiants »,
- T représente la variable « situation »
- G, g représente la variable « groupe »
- S représente la variable « étape »

Par exemple, la nomination $R_{t1}(G)$ signifie que l'on observe les raisonnements des étudiants dans la situation T1 en fonction des groupes.

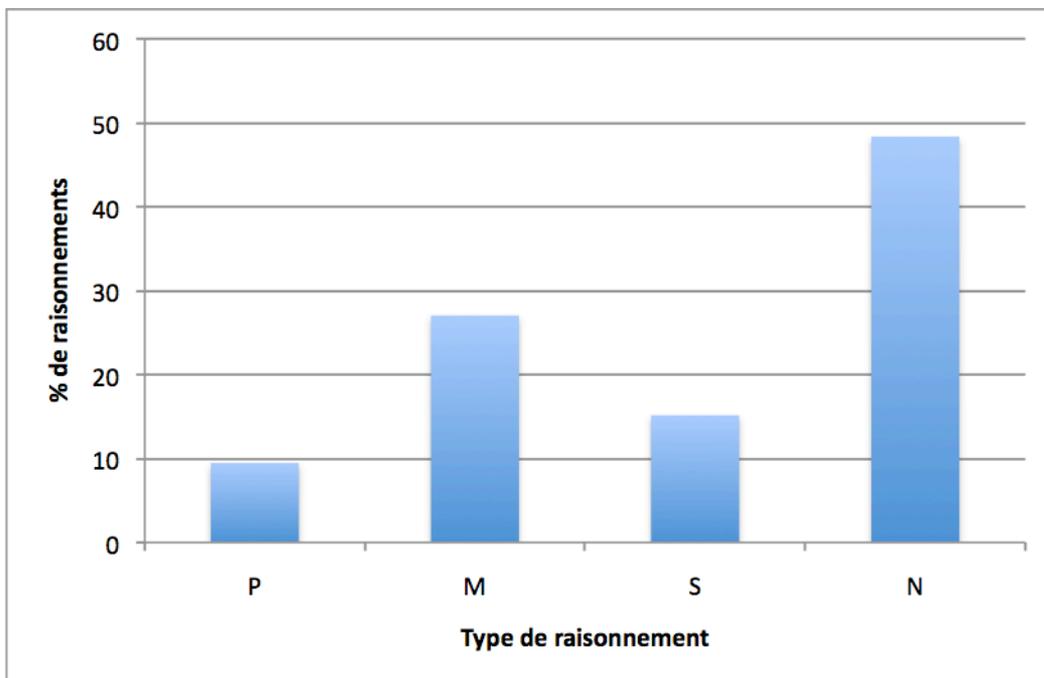
D.5.1. Résultats bruts

Un premier ensemble de résultats permet de visualiser les données avant traitement. Des traitements sur ces données sont ensuite effectués (calcul de scores, tests statistiques) afin de confirmer ou non nos hypothèses.

D.5.1.1. Raisonnements utilisés par les étudiants dans cette expérimentation

Les réponses des étudiants sont classées selon le modèle de raisonnement PMS. Ce graphique permet de visualiser la distribution des fréquences des raisonnements dans les unités pour toutes les situations confondues. Premièrement, on constate que le pourcentage de catégories classées Neutre atteint presque les 50%. Ce chiffre montre que la quasi majorité des réponses des étudiants ne sont pas liées à l'acte de mesurage ou sont génériques (ne discrimine pas les raisonnements PMS). Deuxièmement, ces résultats ne suivent pas ceux obtenus dans la

première expérimentation où il y avait une majorité de réponses P. Une des raisons expliquant ce résultat pourrait être l'utilisation d'un modèle de raisonnement différent de celle de la première étude. Ceci sera discuté plus loin.

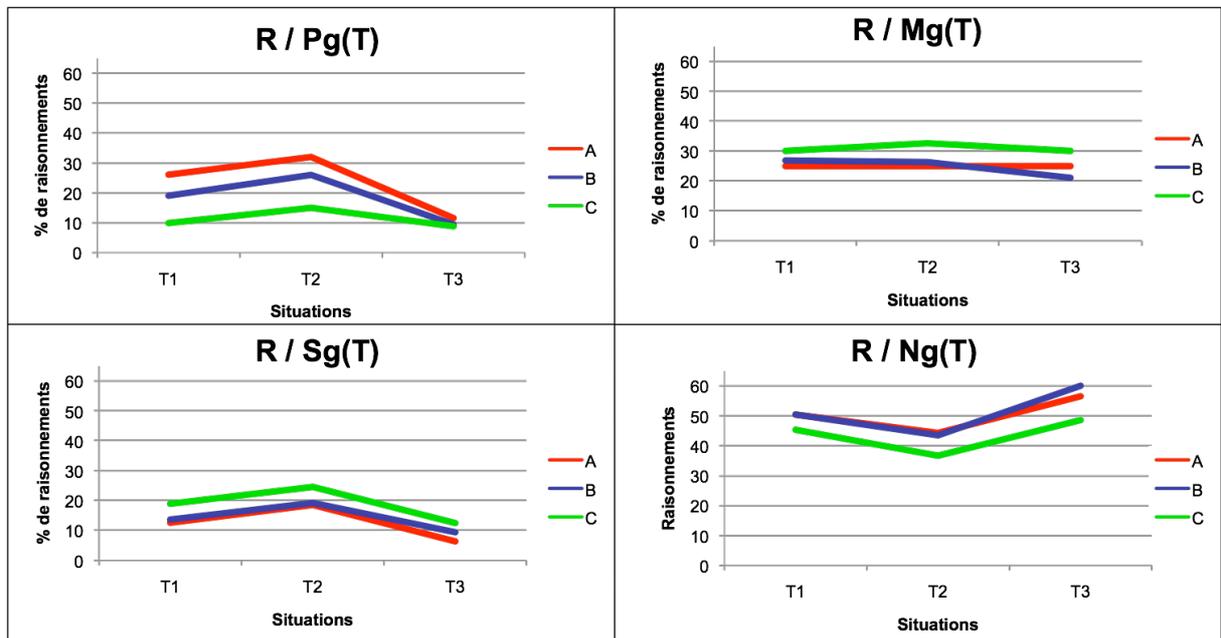


Graphique 1. Raisonnements utilisés durant l'expérimentation

D.5.1.2. Raisonnements utilisés par les trois groupes selon les situations

La comparaison des distributions dans chacune des situations (T1, T2, T3) me permet d'avoir une idée de l'influence de ces situations sur le type de stratégies choisies dans chacun des groupes. La distribution des raisonnements dans les 3 situations suit celle obtenue dans la distribution générale de l'expérimentation. Les quantités de raisonnements M restent stables pour les trois groupes. L'utilisation des raisonnements P et S montrent une évolution similaire. Le groupe C utilise le moins le raisonnement P, alors que ce groupe C utilise le plus le raisonnement S. Les groupes A et B montrent une évolution similaire dans leur utilisation des raisonnements pour les 3 situations.

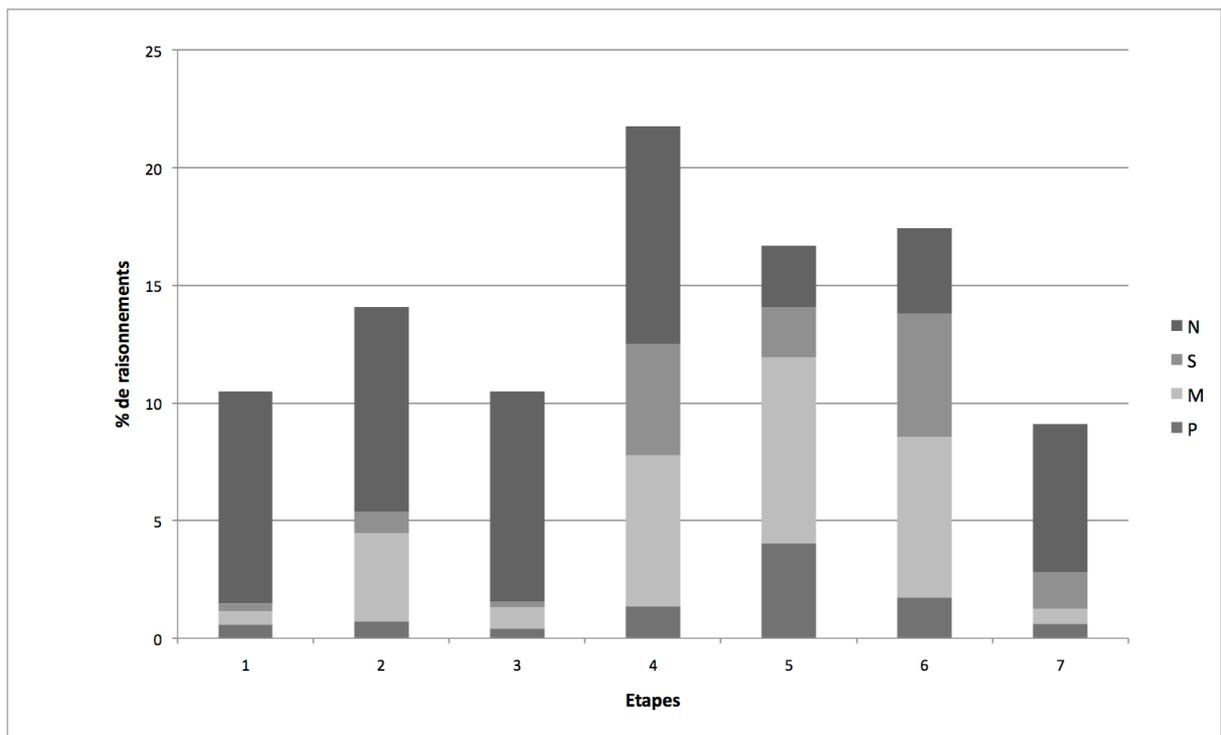
Les unités d'actions classées N sont majoritaires dans les 3 situations pour les 3 groupes. Leur évolution est l'opposé de l'évolution des raisonnements P et S. Cette observation laisse supposer que les groupes échangent des raisonnements P ou S avec des réponses classées Neutre dans la situation de mécanique (T3). À l'opposé, les étudiants changent leur unités d'action de type N utilisées dans la première situation (T1) pour répondre suivant le raisonnement P ou S après l'introduction des rétroactions (T2). Ces échanges peuvent donc être considérés comme des effets des rétroactions.



Graphique 2. Distribution des fréquences des unités selon leur raisonnement en fonction des 3 situations dans les 3 groupes.

D.5.1.3. Raisonnements utilisés dans les 7 étapes

D.5.1.3.a. Sur l'ensemble des situations



Graphique 3. Distribution des fréquences des unités selon leur raisonnement dans chacune des 7 étapes du protocole de mesure en générale.

Ce graphique permet d'observer la distribution des fréquences unités d'actions en fonction des raisonnements selon les étapes quelques soient les groupes et les situations.

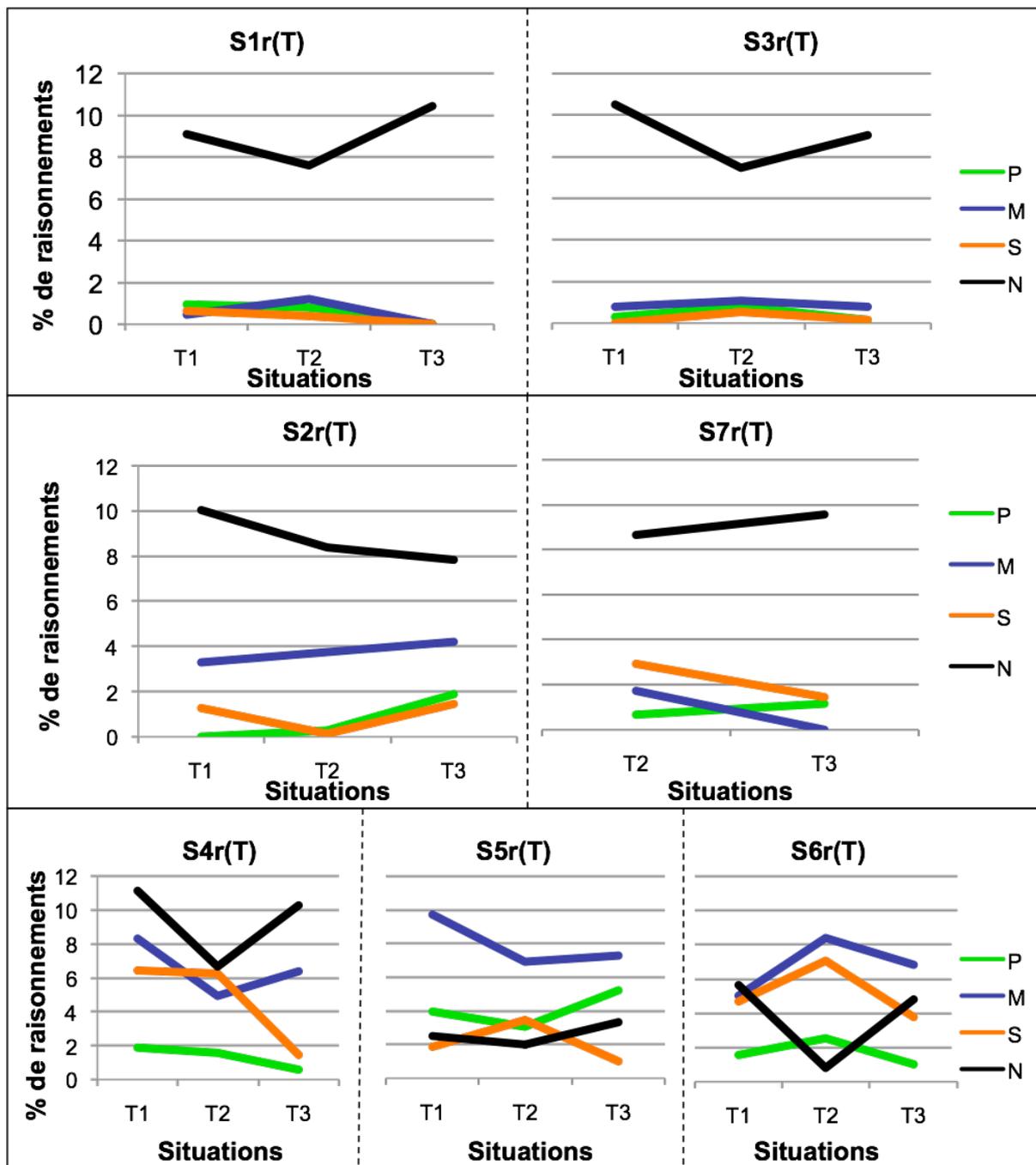
Trois groupes d'étapes se distinguent. Un premier comportant l'étape 1 et 3 pour lesquels les distributions des fréquences des unités sont essentiellement composées de réponses de type Neutres. Un deuxième groupe est composé des étapes 3 et 7 dans lesquels les unités Neutres sont toujours majoritaires mais où les réponses liées à un type de raisonnement P, M ou S se distinguent. Une majorité d'unités classées S dans l'étape montre que ce sont surtout les étudiants utilisant un raisonnement proche du raisonnement expert qui s'intéressent à cette étape. Enfin, le troisième groupe comporte les étapes 4, 5 et 6. Ces étapes sont les étapes qui correspondent à celles de l'enjeu de traitements de la mesure définis par Séré (2008). Ces étapes détiennent le plus grand taux de réponses (environ 55%) et les taux de réponses Neutres sont assez faibles. Ce sont donc les étapes sur lesquelles les étudiants semblent se concentrer. Malgré tout, les taux d'unités P, M, S ne sont pas similaires entre les étapes.

D.5.1.3.b. Selon les 3 situations

Sur l'ensemble des situations et des groupes, c'est lors de la situation 2 que les étudiants semblent utiliser le moins d'unités Neutres pour compléter leur protocole. Alors que les étapes 1 et 3 ne montrent quasiment aucune évolution dans l'utilisation des réponses, les étapes 2 et 7 évoluent légèrement montrant un intérêt (une utilisation de réponses liés à la problématique de l'acte de mesurage) décroissant concernant l'étape de prise de décision à la fin du TP d'optique et un intérêt légèrement plus important pour le choix du matériel dans cette même situation. Les étapes 4, 5 et 6 sont celles pour lesquelles les étudiants donnent le plus de réponses (plus d'unités) en général mais aussi concernant la problématique de l'acte de mesurage (selon le modèle de raisonnement).

Lors de la situation 2, c'est à dire après l'obtention des rétroactions, les étudiants utilisent des unités qui sont plus proches du savoir expert dans ces trois étapes que pour les autres situations (voir surtout S6r(T)).

Les évolutions des fréquences d'utilisation des raisonnements dans ces trois groupes confirment l'hypothèse 4 que nous avons émis précédemment (voir D.2). En effet les étudiants semblent utiliser des stratégies définies par des raisonnements différents selon les étapes.

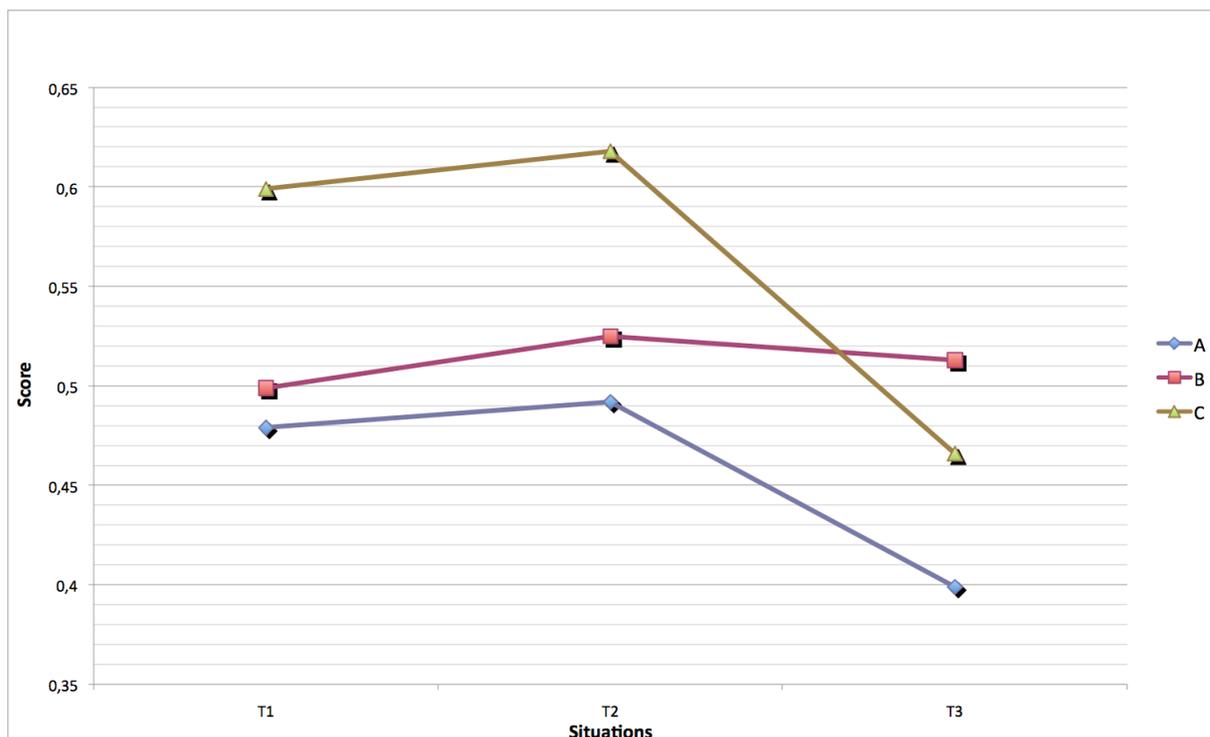


Graphique 4. Distribution des fréquences des unités en fonction de leur raisonnement (R) dans les différentes étapes (S) pour les 3 situations.

D.5.2. Scores

D.5.2.1. Evolution du score des trois groupes en fonction des différentes situations

D.5.2.1.a. Evolution des scores au long des trois situations



Graphique 5. Evolutions des scores moyens des trois groupes étudiants dans les trois situations.

L'évolution des scores moyens des trois groupes nous permet d'observer la tendance que les étudiants suivent dans chacune des situations en fonction de la tâche, autrement dit, en fonction de la rétroaction qu'ils ont reçu.

La tendance général de ce graphique montre que les trois groupes améliorent légèrement leur manière de raisonner lors du protocole d'optique lorsqu'ils reçoivent une rétroaction. Par contre lorsqu'ils doivent réutiliser leur connaissance dans un nouveau domaine, le groupe témoin et le groupe ayant reçu une rétroaction sous la forme d'un protocole entier (C), ne sont pas capable d'effectuer cette réutilisation. Leur niveau de raisonnement devient même plus faible qu'avant l'introduction des rétroactions. Seul le groupe B semble être capable d'effectuer cette réutilisation en gardant un score moyen stable lors de l'élaboration du protocole de mécanique.

D.5.2.1.b. Test de Kruskal-Wallis sur les scores

Situations	Valeurs de rang pour A	Valeurs de rang pour B	Valeurs de rang pour C	Probabilité d'erreur (DF=2)	Différence
T1	27,7	30,2	39,2	0,11	non
T2	27,2	29,8	40,3	0,06	oui
T3	26,9	34,9	35,0	0,23	non

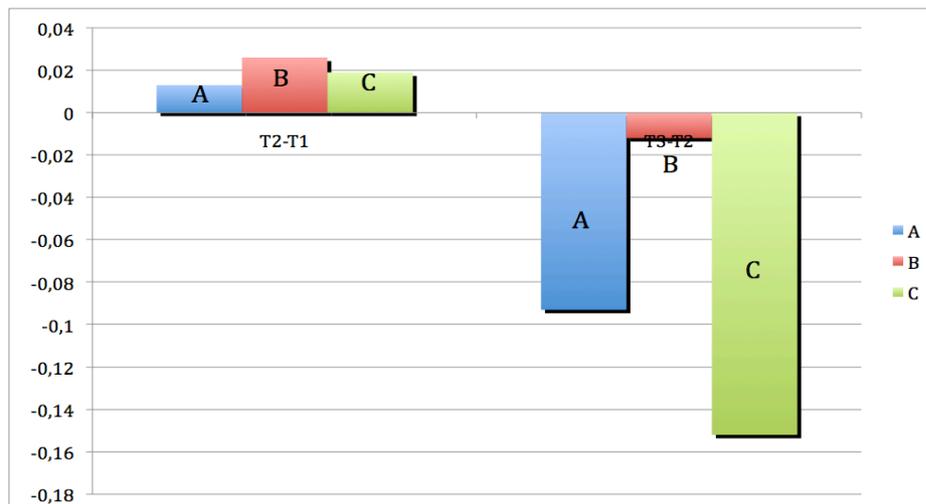
Tableau 1 : Test de Kruskal-Wallis sur les scores des 3 groupes d'étudiants en fonction de la situation

Le test de Kruskal-Wallis doit nous permettre de déterminer si la hauteur des scores obtenues est significativement différente entre les groupes d'étudiants, c'est-à-dire si la tâche attribuée

à chaque groupe a un effet sur la manière d'élaborer des stratégies et donc de raisonner des étudiants. Lors de la situation T1, les scores sont égaux (erreur à 11%) entre les groupes d'étudiants. Ce résultat suit notre hypothèse c'est à dire que nos groupes sont homogènes en termes d'élaboration de protocole de mesure. Lors de la situation T2, les scores des groupes d'étudiants sont différents. Ce résultat suit nos hypothèses (H1, H2 et H3) qui était que les étudiants allaient modifier leur raisonnement en fonction des rétroactions qu'ils recevraient. Enfin, lors de la situation T3, les scores des groupes d'étudiants sont égaux (23% d'erreur possible). Ce résultat ne suit pas notre hypothèse qui était que les étudiants seraient capables de réutiliser les stratégies qu'ils ont développés dans la situation précédente grâce aux rétroactions spécifiques fournies (ou non).

Pour conclure, les trois groupes d'étudiants sont initialement équivalents en termes de raisonnements utilisés. Les rétroactions fournies ont un effet sur la manière dont les étudiants raisonnent. Mais les étudiants ne réutilisent pas ces raisonnements dans une situation similaire par rapport à l'acte de mesure mais différentes par rapport au domaine.

D.5.2.2. Evolution des variations des scores des trois groupes entre les trois situations



Graphique 6. Variation du score moyen des trois groupes entre chacune des situations

Si on compare T1 et T2, les scores augmentent mais très peu. Si on compare T2 et T3, les scores évoluent différemment selon le groupe ce qui montre un impact des rétroactions. Cet impact est positif pour la rétroaction B (liste de résultats) puisque la différence avec le groupe témoin (A) est positive. Il est négatif pour la rétroaction C (exemple de protocole) puisque la différence avec le groupe témoin est négative. Les étudiants ayant reçu la rétroaction B semble avoir une utilisation plus stable des raisonnements présents dans leurs stratégies.

D.5.3. Scores en fonction des étapes

L'étude de l'évolution des scores moyens de chaque groupe pour les trois situations, dans chacune des étapes me permet de mieux caractériser la manière dont les groupes d'étudiants réagissent aux différents problèmes de mesure. La mise en parallèle de taux d'utilisation des différents thèmes dans chacune des étapes et dans chacune des situations par les trois groupes (pourcentage d'utilisation par rapport à l'ensemble des étapes dans une situation pour un groupe) doit me permettre de déterminer l'évolution des thèmes utilisés en lien avec l'évolution de la stratégie utilisée. Je ferais remarquer que les premiers thèmes de chaque

liste : « pas compréhensible ou hors sujet » sont essentiellement composés de catégories Neutres.

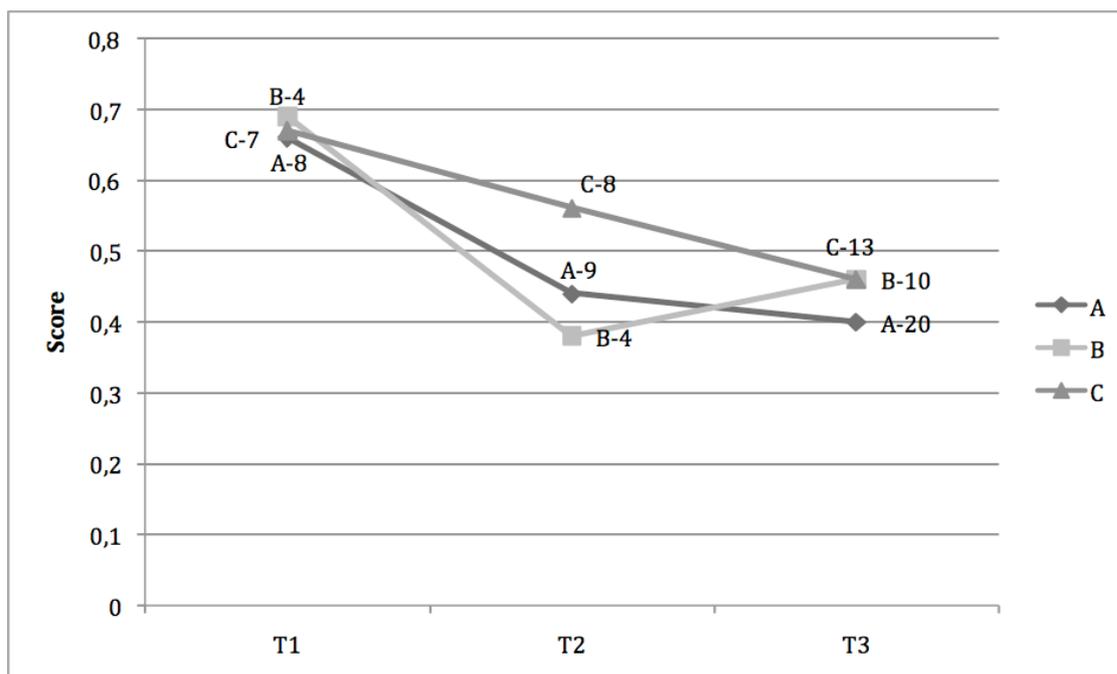
D.5.3.1. Etapes 1 et 3 : principe et schématisation de l'expérimentation

D'après l'analyse des fréquences des unités, ces deux d'étapes sont caractérisées par un très fort taux d'unités neutres. L'utilisation de l'analyse par les scores ne permet pas dans le cas de ces deux étapes d'obtenir une illustration représentative des stratégies utilisées par les trois groupes.

D.5.3.2. Etapes 2 et 7 : choix du matériel, interprétation du résultat et prise de décision

L'étude des distributions des fréquences dans ces deux étapes nous a montré que la majorité d'unités étaient neutres mais que les réponses en lien avec l'acte de mesurage étaient plus importantes que dans les étapes 1 et 3.

D.5.3.2.a. Etape 2



Graphique 9. Evolution du score moyen des trois groupes dans l'étape 2

Dans chacun des graphiques la quantité de binôme ayant fourni un score à la valeur de score moyen de chacune des situations pour chacun des groupes, est indiquée entre parenthèse à chaque points. Je rappelle le nombre de binômes pour chaque groupe : A, 23, B, 21, C, 19

			A	B	C
T1	2a	Pas compréhensible ou hors sujet	1	3	0
	b	Matériel imposé/ description général	21	20	20

	c	Caractéristiques du matériel par rapport au recueil des données / placement du matériel	2	1	2
	d	Caractéristiques du matériel par rapport aux sources d'erreurs	8	7	8
	Total		32	31	30
T2	2a	Pas compréhensible ou hors sujet	0	1	1
	b	Matériel imposé/ description général	24	17	17
	c	Caractéristiques du matériel par rapport au recueil des données / placement du matériel	3	4	6
	d	Caractéristiques du matériel par rapport aux sources d'erreurs	8	7	6
	Total		35	29	30
T3	2a	Pas compréhensible ou hors-sujet	0	3	0
	b	Matériel imposé/ description général	15	12	12
	c	Caractéristiques du matériel par rapport au recueil des données / placement du matériel	21	15	13
	d	Caractéristiques du matériel par rapport aux sources d'erreur / incertitudes / Précision	4	4	7
	Total		40	34	32

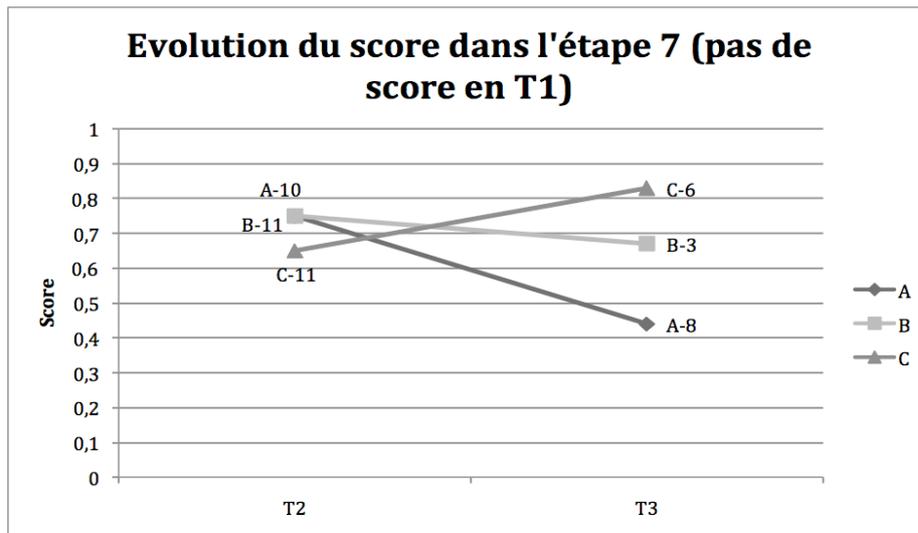
Tableau 1. Thèmes utilisés dans l'étape 2.

Dans les tableaux les thèmes grisés sont les plus utilisés dans les situations. Les chiffres en gras indiquent une augmentation de l'utilisation du thème par le groupe dans la situation. Ceux en italique indiquent une diminution de l'utilisation. Les thèmes « pas compréhensible ou hors sujet ne sont pas pris en compte dans ce code.

Ce graphique montre l'évolution du score moyen dans l'étape du choix du matériel. Les étudiants devaient ici expliciter les raisons d'utilisations du matériel proposé. En T1, le groupe B semble répondre avec des actions correspondant à des stratégies plus élaborées que le groupe A et le groupe C. En T2, le niveau des stratégies utilisées est plus faible (surtout pour le groupe B). Puis en T3, ce niveau se stabilise et les trois groupes utilisent des stratégies ayant un niveau très proche, comme le montre le niveau des scores moyens. Seul le groupe B semble améliorer son score entre les situations T2 et T3.

L'utilisation des thèmes privilégiés montre que les étudiants s'intéressent surtout à la description du placement du matériel ainsi qu'à la description d'informations liées au recueil des données. En T3, les réponses sont surtout développées autour des caractéristiques du matériel et de son emplacement alors que le taux de réponse diminue concernant des descriptions plus générales. Les thèmes liés aux sources d'erreurs ne sont presque pas utilisés (sauf en T2). L'étude des thèmes utilisés ne semble pas permettre de pouvoir expliquer la baisse du score des étudiants car aucune différence majeure ne ressort des thèmes utilisés entre les situations T1 et T2. L'augmentation des scores en T3 peut s'expliquer par des descriptions moins générales des problèmes liés au matériel, ainsi qu'une augmentation du nombre de binôme fournissant un score.

E.3.1.1.a. Etape 7



Graphique 10. Evolution du score moyen des trois groupes dans l'étape 7

			A	B	C
T2	7a	Pas compréhensible ou hors sujet	19	24	18
	b	Choix d'un indice exactement identique au résultat obtenu	2	0	1
	c	Choix d'un indice proche du résultat	9	6	5
	d	Choix d'un indice par rapport à un intervalle	4	0	3
	e	Place donnée aux incertitudes	0	7	5
	f	Élément de contrôle sur le liquide choisit	3	0	0
	Total		37	37	32
T3	7a	Pas compréhensible ou hors sujet	23	23	18
	b	Choix d'un indice exactement identique au résultat obtenu	1	2	2
	c	Choix d'un indice proche du résultat	4	0	1
	d	Choix d'un indice par rapport à un intervalle	0	0	1
	e	Place donnée aux incertitudes	4	2	3
	f	Élément de contrôle sur le liquide choisit	0	0	0
	Total		32	27	25

Tableau 2. Thèmes utilisés dans l'étape 7.

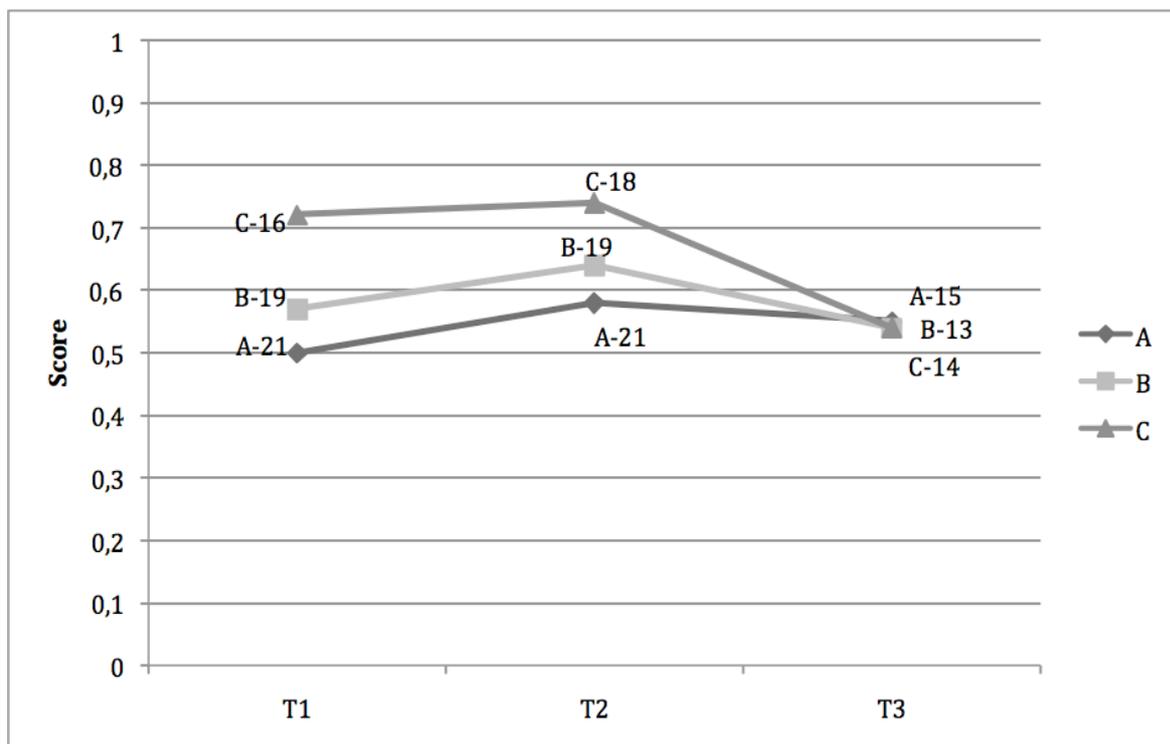
Ce graphique montre l'évolution des scores moyens pour chacun des groupes entre les situations T2 et T3 (T1 n'a pas d'étape 7) dans l'étape de conclusion sur le résultat et de prise de décision sur le type de liquide obtenu. Ici les étudiants devaient expliquer comment faire

cette prise de décision à partir d'un résultat obtenu dans le traitement des données. Beaucoup d'étudiants se sont contentés de répondre avec une catégorie très général, du type : « *comparer le résultat avec les valeurs de la liste / déterminer l'indice qui correspond à celui de votre résultat.* » (code 7U02, schéma de codage du TP d'optique). Le groupe A voit son score diminuer de manière importante alors qu'à l'inverse le groupe C voit le sien augmenter. Le groupe B diminue légèrement. Alors que les groupes A et C n'ont reçu aucune information concernant la manière de répondre à cette étape, le groupe C a reçu le protocole qui lui propose une manière de conclure. A la fin de la situation d'optique (T2), seul les groupes B et C utilisent des catégories liées aux incertitudes et le groupe A (contrôle) ne s'y s'intéresse pas. Lors de la situation d'optique la tendance s'inverse légèrement. Dans les deux situations, le groupe A propose surtout une méthode approché (classée M) sur le choix de la valeur d'indice.

D.5.3.3. Etapes 4, 5 et 6 : réglage des instruments, recueil et analyse des données

Cet ensemble d'étapes regroupe celles qui contiennent le plus de réponses d'étudiants liées aux problématiques de l'acte de mesurage.

D.5.3.3.a. Etape 4



Graphique 11. Evolution du score moyen des trois groupes dans l'étape 4

			A	B	C
T1	4a	Pas compréhensible ou hors sujet	6	3	4
	b	Placement du rayon par rapport à la lampe	11	12	15
	c	Placement de la cuve	16	16	17

	d	Actions par rapport à l'angle d'incidence	9	9	4
	e	Actions du réglage de l'épaisseur du rayon	6	2	8
	f	Actions par rapport aux sources d'erreurs (conditions limites, incertitudes, erreurs)	3	1	2
	g	Placement du rayon par rapport à la cuve	12	14	7
	Total		63	57	57
T2	4a	Pas compréhensible ou hors sujet	6	3	5
	b	Placement du rayon par rapport à la lampe	5	4	12
	c	Placement de la cuve	10	9	4
	d	Actions par rapport à l'angle d'incidence	8	7	4
	e	Actions du réglage de l'épaisseur du rayon	7	2	8
	f	Actions par rapport aux sources d'erreurs (conditions limites, incertitudes, erreurs)	5	2	10
	g	Placement du rayon par rapport à la cuve	13	15	9
	Total		54	42	52
T3	4a	Pas compréhensible ou hors sujet	8	9	5
	b	Généralités	3	0	3
	c	Remplissage de la cuve et conditions initiales	20	15	16
	d	Actions par rapport au bloc à immerger	11	13	8
	e	Actions par rapport aux choix des blocs à utiliser	2	3	3
	f	Action par rapport aux sources d'erreurs (conditions limites/incertitudes/erreurs/précision)	2	4	4
	Total		46	44	39

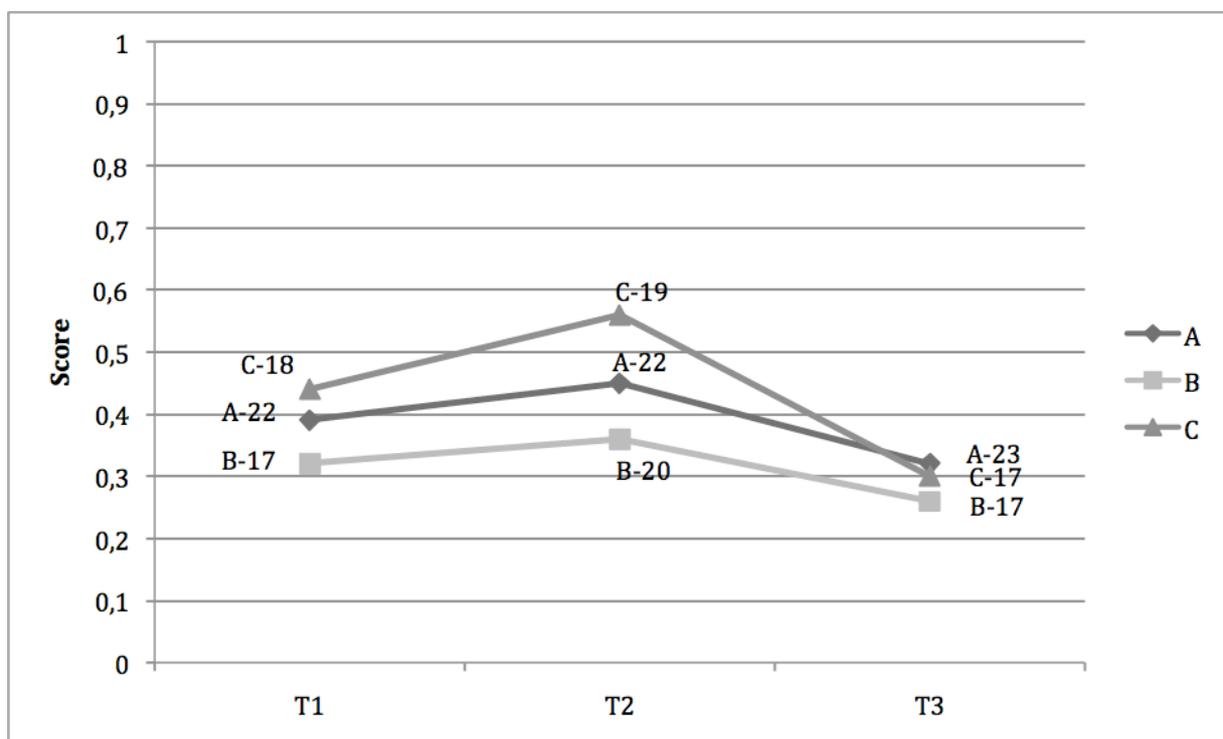
Tableau 3. Thèmes utilisés dans l'étape 4.

Dans l'analyse des distributions de fréquence des réponses, cette étape comporte le plus grand nombre de réponses sur l'ensemble des situations. Tout d'abord lors des deux premières situations, les étudiants des trois groupes répondent quasiment tous à cette étape avec au moins une action liée au modèle de raisonnement. En T3, les réponses des étudiants sont un peu moins nombreuses. Les trois scores sont éloignés les uns des autres en T1 puis cet écart est réduit en T2 avec une légère augmentation des scores pour les trois groupes. Les trois scores se rejoignent en T3 après une diminution importante des scores de C, une plus faible de scores de B et une quasi stagnation des scores de A.

Ces évolutions sont observables dans les thèmes utilisés. Entre les situations T1 et T2, les étudiants des trois groupes modifient les thèmes qu'ils utilisent en déplaçant leur intérêt sur le placement du matériel vers des problèmes de réglages ou des catégories qui peuvent être reliées aux sources d'erreurs. Cette évolution est surtout marquée pour le groupe C alors que

le groupe B semble simplement diminuer ses réponses dans les thèmes liés au matériel (4b et c). Dans la situation T3, les trois groupes se concentrent sur les aspects pratiques de la tâche de réglage telle que le remplissage de la cuve et la manière d’immerger le bloc. Même si la question des conditions initiales est soulevée dans ces thèmes, elle n’est pas centrale par rapport à la prise de mesure (comme par exemple pour le TP d’optique avec le centrage du rayon initial), et s’exprime souvent par la mise en équilibre du bloc à mesurer ou la hauteur d’eau nécessaire. De manière générale, l’aspect pratique de cette expérimentation était peu relié au principe d’Archimède (aspect théorique présent dans l’espace exploration). Par exemple les étudiants peuvent s’intéresser au matériel (la taille des blocs, la hauteur d’eau initiale) sans s’intéresser à leur influence au niveau théorique. Cela peut les avoir poussé à plus s’intéresser à des aspects pratiques des réglages qui ne sont pas liées directement aux problèmes d’incertitudes de la prise de mesure.

D.5.3.3.b. Etape 5



Graphique 12. Evolution du score moyen des trois groupes dans l'étape 5.

			A	B	C
T1	5a	Pas compréhensible ou hors sujet	3	3	2
	b	Nombre de valeurs à prendre	18	20	18
	c	Recueil de données de jusqu'aux conditions limites	1	2	2
	d	Description de la manière de recueillir les données	14	10	5
	e	Description des sources d'erreurs ou d'incertitudes	3	1	2
	f	Traitement statistiques pour diminuer les erreurs / incertitudes / améliorer la précision	3	1	7
	Total		42	37	36

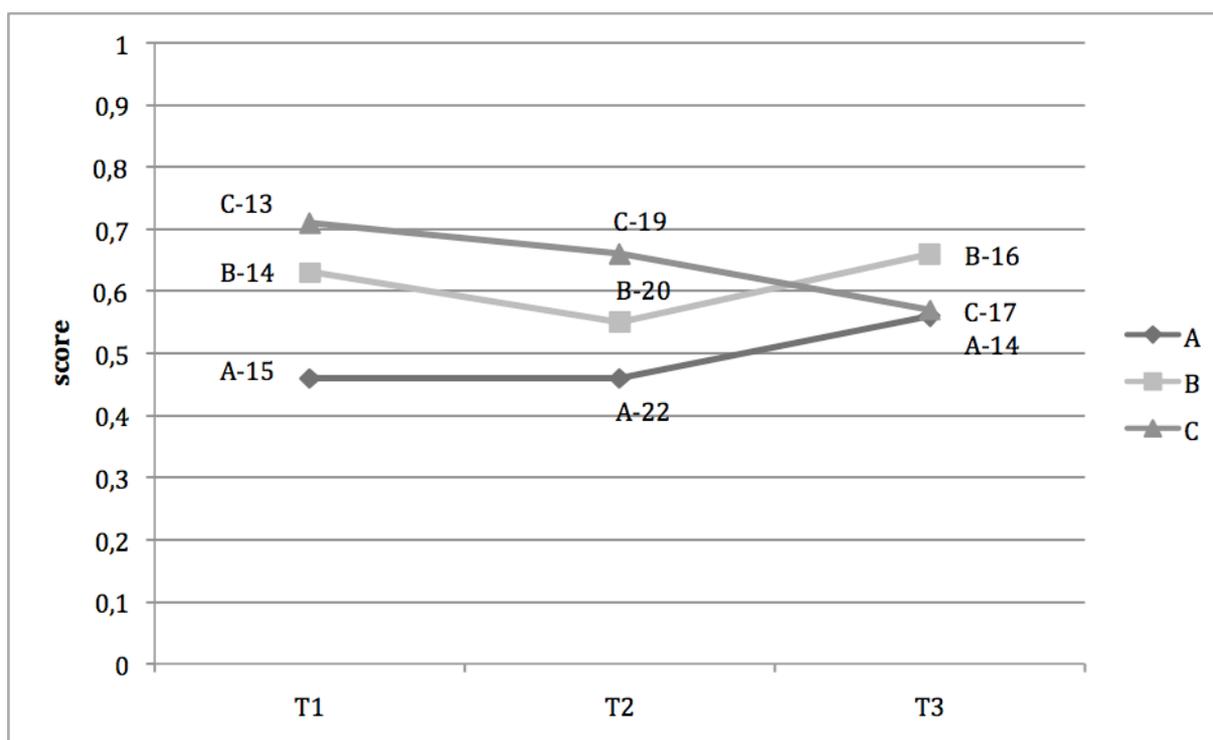
T2	5a	Pas compréhensible ou hors sujet	0	2	4
	b	Nombre de valeurs à prendre	11	16	10
	c	Recueil de données de jusqu'aux conditions limites	1	0	4
	d	Description de la manière de recueillir les données	17	14	13
	e	Description des sources d'erreurs ou d'incertitudes	4	2	4
	f	Traitement statistiques pour diminuer les erreurs / incertitudes / améliorer la précision	4	3	7
	Total		37	37	42
T3	5a	Pas compréhensible ou hors sujet	1	6	3
	b	Nombre de valeurs à prendre	19	13	15
	c	Recueil dans un tableau	8	4	4
	d	Actions sur les objets pour le recueil des données	8	3	4
	e	Indication sur la lecture du mesurande	6	7	4
	f	Description des sources d'erreurs ou d'incertitudes	3	2	3
	g	Traitements statistiques pour diminuer les erreurs / incertitudes / améliorer la précision	0	1	2
	total		45	36	35

Tableau 4. Thèmes utilisés dans l'étape 5.

Là encore la majorité des étudiants de chacun des groupes a décrit au moins une action liée à la problématique de l'acte de mesurage dans cette étape. A la différence de l'étape précédente cette constatation est valable pour les trois situations. L'évolution des scores dans ce graphique est proche de celle observée dans l'étape 4 à la différence que le groupe A atteint un score plus important que le groupe B. Là aussi le groupe C obtient un score moyen plus élevé que les deux autres groupes. Son évolution est aussi un peu plus contrastée que pour les deux autres groupes qui voient les leurs évoluer de manière quasi-parallèle.

Les thèmes principaux utilisés par les étudiants concernent pour les trois groupes le nombre de valeurs à recueillir et la manière de le faire. On peut relier cette utilisation au score obtenu. Par exemple, le groupe C semble décrire beaucoup moins la manière de recueillir des données et plus décrire la manière de traiter statistiquement les données afin de réduire les erreurs ou incertitudes. La version finale du protocole (situation T2) comporte plus de réponses décrivant la manière de recueillir les données et surtout en diminuant le nombre de valeurs à prendre. Dans la situation de mécanique, les étudiants utilisent principalement des réponses se contentant de définir le nombre de valeurs à recueillir. De manière moins importante, les étudiants utilisent des thèmes liés aux objets qui permettent de recueillir ces valeurs. Les thèmes liés aux sources d'erreurs ou aux traitements statistiques des incertitudes sont délaissés.

D.5.3.3.c. Etape 6



Graphique 13. Evolution du score moyen des trois groupes dans l'étape 6

			A	B	C
T1	6a	Pas compréhensible ou hors sujet	3	2	2
	b	Réponse sous forme de question	0	0	0
	c	Calcul à l'aide de la loi Snell-Descartes	25	19	18
	d	Sélection / réjection de valeurs	0	1	0
	e	Traitement statistique d'un ensemble de valeurs	3	6	5
	f	Détermination d'un intervalle	0	0	4
	g	Représentation des données et du résultat	4	3	2
	h	Intégration des incertitudes dans les calculs	3	4	4
	Total		38	35	35
T2	6a	Pas compréhensible ou hors sujet	2	2	1
	b	Réponse sous forme de question	1	0	0
	c	Calcul à l'aide de la loi Snell-Descartes	21	19	20
	d	Sélection / réjection de valeurs	0	1	0
	e	Traitement statistique pour diminuer d'un ensemble de valeurs	6	6	9

	f	Détermination d'un intervalle	1	2	3
	g	Représentation des données et du résultat	8	10	9
	h	Intégration des incertitudes dans les calculs	4	8	8
	Total		43	48	50
T3	6a	Pas compréhensible ou hors sujet	1	6	1
	b	Etapas intermédiaires avant le calcul de la masse volumique	2	1	3
	c	Calcul de la masse volumique à l'aide du principe d'Archimède ou sans	23	15	18
	d	Traitement statistique d'un ensemble de valeurs	7	6	5
	e	Détermination d'un intervalle	0	1	2
	f	Représentation des données et du résultat	2	7	8
	g	Interprétation des incertitudes dans les calculs	0	3	3
	total		35	39	40

Tableau 5. Thèmes utilisés dans l'étape 6.

Cette étape était celle où la fréquence des unités liées à l'acte de mesurage comparée aux unités classées neutres était la plus forte. Les étudiants sont moins nombreux à donner une unité dans la situation T1 et T3, mais après l'introduction des rétroactions, en finalisant leur protocole (situation T2), presque tous décrivent une action liée à la problématique de l'acte de mesurage.

A l'étape T1, les scores moyens sont répartis différemment, suivant la même tendance déjà observée pour les étapes 4 et 5. Cet écart se réduit à la situation T2. Le score du groupe C diminuant beaucoup plus que celui des deux autres et le score du groupe A restant stable. A la situation T3 le score du groupe C continue à diminuer alors que les score des deux autres groupes augmentent de manière identique. Le score du groupe A rejoignant celui du groupe C et le score du groupe B dépassant les deux autres. L'hypothèse (H2) concernant le groupe B était que le tableau de résultat inciterait les étudiants à se pencher plus sur cette étape puis l'étape 5 et ensuite les autres, or le score de ce groupe suit la tendance des deux autres entre T1 et T2. Le score de la situation T2 montre une baisse des raisonnements utilisés mais le nombre de binômes donnant une réponse liée à la problématique de l'acte de mesurage augmente. Cela signifie que les étudiants s'intéressent plus à cette étapes et la complète après avoir exécuté leur protocole. Dans la situation T3 le nombre d'étudiants impliqués dans la valeur du score moyen diminue mais les score augmentent pour le groupe A et B mais diminuent pour le groupe C. Cette évolution peut s'expliquer par l'utilisation de raisonnement plus évolué que dans la situation T2 de la part des étudiants qui continuent à répondre à cette étape suivant des catégories spécifiques à un raisonnement PMS. Relativement le groupe A semble être le plus efficace (du point de vue de l'évolution) des trois.

Dans la situation T1, avant l'introduction de rétroactions, les étudiants des trois groupes répondent essentiellement à l'aide d'unités décrivant les calculs définis par la loi de Snell-Descartes. Quelques-uns s'intéressent aussi aux traitements statistiques des données et à leurs représentations. A la fin de l'élaboration du protocole d'optique, les unités de réponses des étudiants augmentent surtout dans les thèmes concernant les incertitudes du mesurage tels que

le traitement statistique ou l'intégration des incertitudes dans les calculs. Dans la situation T3, les thèmes sont similaires mais mettent un peu en retrait les problèmes liés aux incertitudes. Ainsi le thème du calcul de la masse volumique à l'aide du principe d'Archimède, ou sans, prend une place majoritaire dans les catégories et les thèmes liés aux représentations des valeurs et aux traitements statistiques passent au second plan.

Pour conclure, nous pouvons affirmer que notre hypothèse H5 n'est pas validée : les évolutions des stratégies ne peuvent pas toutes être directement caractérisées par des évolutions dans les thèmes que les étudiants utilisent.

D.5.4. La classification Ensemble-Bayésien

Cette colonne du modèle de raisonnement (tableau 1, D.3.4.1) avait été ajoutée de manière à savoir si les étudiants utilisaient d'eux-même des raisonnements proches du savoir de la métrologie, en prenant en compte l'aspect probabiliste de la mesure. Ce point a été étudié par Evagellinos, Psillos et Valassiades (2002) qui ont définis définissent une vision bayésienne des étudiants sur la mesure.

Dans mon analyse précédente, les réponses des étudiants avaient été classées en catégories dans la grille de codage, puis définies selon le raisonnement Ensemble-Intervalle. En reprenant ces catégories, j'ai pu séparer les catégories correspondant à la classification Ensemble-Fréquentiste et celles correspondant à la classification Ensemble-Bayésien. Ainsi, j'ai obtenu que 31 des 64 binômes utilisent au moins une fois une unité étant classée dans le raisonnement Ensemble-Bayésien durant les trois situations, cela correspondant à 47 unités en tout (sur 2079 unités). La majeure partie (38 unités) sont définies dans la grille de codage des situation T1 et T2. 14 unités ont été données par le groupe A, 10 par le groupe B et 23 par le groupe C. Seul 4 binômes utilisent plus de trois unités pour les trois situations.

Le groupe C semble développer plus ce genre de réponses que les deux autres groupes. Mais de manière générale, j'estime que le très faible nombre d'unités correspondant à ce type de raisonnement illustre la difficulté des étudiants à utiliser des connaissances proches du savoir métrologique lorsqu'ils sont autonomes dans l'élaboration d'un protocole de mesurage. D'autre part, l'utilisation des rétroactions spécifiques proposées dans mon expérimentation ne permet pas d'inverser cette tendance.

D.6. Discussion

D.6.1. Les raisonnements des étudiants dans l'expérimentation

D.6.1.1. Les raisonnements et les groupes

Dans cette deuxième expérimentation, les groupes ayant reçu des rétroactions spécifiques (groupes B et C) ont utilisé ces rétroactions et ont dû modifier leur protocole après leur lecture. La distribution des fréquences des réponses dans les trois situations ne montre pas de différences très tranchées sur la manière dont les étudiants raisonnaient selon les groupes. Or la quantité d'étudiants est légèrement différente d'un groupe à l'autre et le nombre de réponses peut varier. Pour cela, la méthode de scoring m'a permis de vérifier les hypothèses H1, H2 et H3⁴. J'ai comparé les scores moyens des étudiants dans les trois groupes et les trois

4

(H1) les étudiants ne recevant pas de rétroaction spécifique montreront une évolution

situations (graphe 5 de la partie E.3.2.3a). Une analyse statistique à l'aide du test de Kruskal-Wallis m'a permis de valider une partie de nos hypothèses ; celle concernant la modification des raisonnements après avoir obtenu une rétroaction (dépendance entre les groupes d'étudiants et les situations).

Les résultats obtenus à l'aide de ces scores montrent l'évolution générale des raisonnements aux travers des situations. Les tests nous montrent que les stratégies utilisées par les étudiants au début de l'expérimentation (T1) ne sont pas liées aux groupes formés. Ces mêmes tests montrent ensuite que les rétroactions ont un effet sur les stratégies utilisées comme nous l'avions supposé. Plus exactement, à propos des différences entre chacune d'elles, les hypothèses H1, H2 et H3 sont validées dans la situation T2, c'est-à-dire que les groupes sont dépendants de la rétroaction qu'ils reçoivent. Par contre dans la situation de mécanique (T3), les rétroactions ne semblent plus avoir d'effet sur les stratégies des étudiants, ce qui va à l'encontre de mes hypothèses. En T3, le fait que, selon les tests, les scores des étudiants ne dépendent pas du groupe auxquels ils appartiennent recoupe le problème soulevé dans le chapitre précédent. Ce problème concerne la réaction des étudiants face à un problème de mesurage dans un domaine différent et la réutilisation de la stratégie utilisée précédemment (ce problème sera discuté dans la partie E.4.2.2.b).

Un autre résultat est illustré par le graphique 5 (partie E.3.2.3.a) qui montre que la proximité des scores est importante. Ce graphique nous permet aussi d'observer que l'évolution du groupe B se détache de celles des deux autres groupes de T2 à T3. Ce phénomène est très bien illustré par le graphe 6 (partie E.3.2.3.b). Ainsi, seul le groupe B reste stable sur les trois situations.

Deux « bémols » viennent se glisser dans cette analyse. Tout d'abord, la proximité des scores obtenus semblent ne pas montrer des résultats très tranchés. Cela s'observe en regardant les écarts-types associés à chacun des scores moyens, d'une valeur de $\pm 0,1$, et la différence entre les valeurs qui sont du même ordre voire plus faible. Ensuite les interprétations entre les différents modes d'analyse (analyse de fréquence, observation de scores moyens, test statistique sur ces scores) peuvent varier en particulier à cause de la proximité des résultats.

Pour conclure les hypothèse H1, H2, et H3 sont validées grâce à la méthode de scoring. Seulement les effets des rétroactions dans les groupes ne semblent pas être stable comme le montre l'indépendance des groupes dans la situation de mécanique T3.

D.6.1.2. Les raisonnements et les étapes

Dans l'état de l'art nous avons supposé que les étudiants allaient pouvoir mieux comprendre l'acte de mesurage dans son ensemble en s'intéressant et en réfléchissant à chacune des étapes.

limitée de leur raisonnement vers un raisonnement expert.

(H2) Les étudiants recevant une rétroaction sous la forme d'une liste de résultats, feront évoluer leur raisonnement plus loin que le groupe contrôle, mais le fait que leur rétroaction n'explique pas clairement son objectif et ne joue que sur l'aspect du traitement de données de l'acte de mesurage limitera ces évolutions.

(H3) Les étudiants recevant une rétroaction sous la forme d'un protocole entier feront évoluer leur raisonnement beaucoup plus loin que les deux autres groupes, car la rétroaction qui leur est fournie touche l'acte de mesurage en entier et comporte des exemples de solutions à chacune des étapes.

D.6.1.2.a. Trois groupes d'étapes

L'hypothèse H4 repose sur l'idée que les tâches à effectuer, dans les différentes étapes du protocole de mesure, font appel à différents éléments de l'acte de mesure comme le décrivent Séré, Journeaux, Larcher (1993, voir partie B.2.3). Ainsi dans notre expérimentation, les étudiants devaient élaborer leur stratégie en y incluant les différentes caractéristiques des raisonnements définis dans notre modèle. L'observation des distributions de fréquences des réponses m'a permis de distinguer 3 groupes d'étapes. Celles pour lesquelles les étudiants répondent à l'aide de réponses qui ne peuvent pas être classées selon le modèle des raisonnements, les étapes où ces réponses sont minoritaires et celles où elles sont majoritaires.

Dans le premier groupe, se trouvent l'étape du principe de l'expérimentation (étape 1) et l'étape du schéma expérimental (étape 3). Les étudiants n'ont quasiment pas utilisé de réponses classées en P, M ou S. Ces deux étapes avaient été incluses dans le protocole de manière à rendre son élaboration plus compréhensible pour les étudiants. Le principe de l'expérimentation avait été identifié comme important pour l'élaboration de protocole. En effet celui-ci devait permettre à l'étudiant de décrire l'objectif de son mesure et le statut qu'il donne à son résultat. Mais c'est aussi une tâche à réaliser assez nouvelle sous cette forme. En effet, Même si dans leur cursus, ils ont pu rencontrer la tâche d'élaboration d'hypothèse expérimentale, celle de justification de l'expérimentation, elle, est très rare. Concernant le schéma expérimental, celui-ci est souvent donné directement aux étudiants dans les protocoles des séances de TP traditionnel. Dans notre protocole, le schéma était donné et les étudiants n'avaient qu'à justifier les choix qu'ils avaient faits. Très peu ont utilisés des justifications qui ont pu être identifiées à l'aide de notre modèle des raisonnements. Pour ces différentes raisons, les étudiants n'ont pas été en mesure d'élaborer des réponses liées à ces problèmes. Ainsi la description de l'expérimentation doit peut-être être un peu plus guidée pour détailler le type d'action qui y est recherché. Quant à la réalisation du schéma expérimental, elle, devrait être libre et exécutée par les étudiants pour qu'ils prennent complètement en main l'expérience de physique qui leur est demandée.

Le second groupe d'étapes inclut l'étape du choix du matériel (étape 2) et l'étape d'utilisation du résultat et de prise de décision (étape 7). Ces étapes avaient été identifiées comme des étapes importantes du protocole de mesure car elles devaient être liées aux enjeux du « savoir-mesurer » et de l'« utilisation de la mesure ». Elles concernent l'aspect manipulateur et la détermination de sources d'incertitudes dans l'étape de choix du matériel (étape 2), et l'explication de la manière dont les étudiants relient leur résultat à la grandeur mesurée, c'est à dire à l'objectif du mesure (étape 7). Même si les étudiants semblent y réfléchir en utilisant des réponses qui peuvent être classées selon le modèle des raisonnements PMS, elles sont minoritaires, la majorité correspondant à des réponses classées Neutres. Les étudiants semblent donc mis en difficulté dans ces étapes. Ce qui montre, soit qu'ils n'ont pas compris la tâche, soit qu'ils ne ressentent pas la nécessité d'y répondre, soit qu'ils ne sont pas capables de détailler les raisons pour lesquelles ils utilisent certains types de matériel et comment ils définissent une grandeur à l'aide de leur résultat. Dans l'étape 7, une partie des étudiants a simplement réutilisé des formules empruntées aux protocoles de TP qu'ils suivent généralement (comme l'ont illustré certaines réponses sous forme de questions), ne décrivant pas l'action à effectuer mais en restant « vague » sur leur manière de choisir la valeur (exemple de catégorie tiré de la grille de codage du TP d'optique, « *comparer le résultat avec les valeurs de la liste/ déterminer l'indice qui correspond à celui de votre résultat* », 7U02).

Le troisième groupe d'étapes rassemble les étapes de réglage (étape 4), de recueil des données (étape 5) et de traitement des données (étape 6). L'enseignement de la mesure en TP se focalisant sur ces étapes (voir Séré 2008 et le travail de Goury (3.2.1)), nous avons suggéré que de nombreuses réponses pouvant être classifiées selon le classement PMS seraient

présentes dans ces étapes. Cette idée est confirmée ici. Les étudiants s'intéressent aux étapes du protocole qu'ils ont eu le plus l'habitude de traiter lors de leur précédent enseignement. La répartition des réponses en fonction des raisonnements est différente en fonction des étapes. J'approfondis ce point en discutant les scores des groupes dans ce groupe d'étapes dans les trois situations.

D.6.1.2.b. Scoring des étapes

L'évolution des scores moyens des trois groupes dans les différentes étapes vient confirmer les différences entre les étapes relevées précédemment. Chacun de ces graphes montrent des évolutions différentes, impliquant des valeurs de scores différentes selon les étapes et les situations. La relation entre la valeur du score moyen calculée pour chaque groupe et le nombre de binômes qui ont pu être scorés (les binômes n'ayant que des réponses Neutre ne sont pas scorés) est un facteur jouant une part importante sur la confiance du résultat obtenu. Le score moyen d'un groupe où beaucoup de binômes ont obtenu un score est plus représentatif que celui d'un groupe où peu de binômes ont été scorés. Le groupe des étapes 1 et 3 ne contient quasiment aucun binôme pour lesquels des scores ont pu être calculés. Son analyse des scores ne peut donc pas être pris en compte. Ainsi le groupe des étapes 2 et 7 montrent que les scores varient beaucoup en fonction de ce nombre de binômes impliqués. Dans le dernier groupe d'étapes (4, 5 et 6), beaucoup plus d'étudiants sont scorés et les scores moyens fournissent des évolutions avec moins d'amplitude (que dans le groupe d'étapes précédent).

Les évolutions sur les scores dans les groupes d'étapes montrent que lorsque les étudiants ont à élaborer de manière autonome un protocole de mesure, ils concentrent leur attention sur les enjeux de « traitement des données » et sur une partie des enjeux du « savoir-mesurer ». Les scores représentés dans les graphes ainsi que les distributions de fréquences permettent de supposer qu'une partie des étudiants ne se montre pas capable d'utiliser des raisonnements proches du raisonnement expert dans leurs stratégies. L'étape de réglage des instruments fait partie de l'enjeu de « savoir-mesurer » et les étudiants semblent être capables d'y répondre tout en gardant une forte part d'indécision dans les réponses utilisées comme le montre la quantité de réponses Neutres données.

Ces résultats nous donnent deux informations. L'une permet de valider l'hypothèse 4, c'est à dire que les étudiants utilisent des stratégies différentes selon les étapes du protocole. La seconde concerne les faiblesses de la méthode de scoring dues à l'influence de la quantité de réponses Neutres, non scorées, dans chacun des groupes.

Pour conclure, seules les étapes 4, 5 et 6, portant essentiellement sur les enjeux de « savoir-mesurer » et de « traitement des données », permettent d'avoir une véritable idée de l'utilisation des raisonnements dans les stratégies des étudiants. Ce résultat va à l'encontre de mon hypothèse de travail sur la capacité des étudiants à rédiger un protocole de mesurage. En effet, celle-ci statuait que les étudiants seraient capables en élaborant un protocole de mesurage dans son ensemble, de traiter tous les enjeux de mesurage selon les caractéristiques décrites par notre modèle PMS. Les étudiants traitent ici un acte de mesurage par rapport aux enjeux de « traitement des données » et au recueil de données ainsi qu'avec une partie des réglages qui concernent le « savoir-mesurer ».

D.6.1.3. Les raisonnements et les thèmes

Avec le travail sur les raisonnements utilisés dans les différentes étapes, mon objectif était de déterminer l'effet des situations, des rétroactions et des étapes sur les thèmes utilisés dans les stratégies proposées.

D.6.1.3.a. Dépendance entre les scores et les thèmes

La comparaison des scores moyens par groupes, situations et étapes, avec les thèmes obtenus dans la grille de codage et les fréquences d'utilisation, m'a permis d'obtenir des liens entre l'évolution des scores et les changements des thèmes utilisés par les groupes dans leur stratégie. J'ai aussi pu constater que la remarque faite dans le paragraphe précédent concernant les scores et les nombres de binômes scorés est valable pour cette analyse. En effet dans les étapes où les scores sont composés d'un faible nombre de binômes, la correspondance entre les scores et les thèmes utilisés, ainsi que les changements dans les thèmes ne sont pas observables. Pour cette raison, je ne suis en mesure de lire les relations entre les changements de raisonnements dans les stratégies et les thèmes utilisés, que dans le groupe des étapes 4, 5 et 6.

D.6.1.3.b. Thèmes majeurs

Les thèmes utilisés par les étudiants dépendent des étapes, c'est-à-dire des tâches qu'ils ont à effectuer et de l'enjeu de mesurage auquel elles sont reliées. Suivant ces enjeux, les thèmes vont concerner plus étroitement certains des cinq points de notre modèle des raisonnements. Une des suppositions initiales était justement que les étudiants seraient capables de reconnaître la multiplicité des enjeux dans chacune des étapes (deuxième hypothèse de travail). Les résultats concernant les étapes ont montré que les étudiants n'utilisaient pas une stratégie stable (basée sur un seul raisonnement) mais une composition de raisonnements sur l'ensemble du protocole. Les thèmes qui sont majoritaires dans chacune des étapes vont concerner la tâche à effectuer. Ils sont donc aussi liés aux enjeux traités dans l'étape correspondante. Un exemple de thème majoritaire est le placement de la cuve dans l'étape de réglage de la situation T1, ou encore le traitement statistique d'un ensemble de valeurs pour l'étape de traitements des données (T1, T2 et T3). Quelques d'étudiants reconnaissent les enjeux de « traitement de la mesure » et de l' « utilisation de la mesure » lorsqu'ils travaillent sur des étapes concernant le « savoir-mesurer ». Cela se remarque particulièrement dans les étapes de réglage et de recueil des données, par exemple dans les justifications sur le nombre de valeurs à prendre par rapport à un traitement statistique à effectuer plus tard. Mais très peu d'étudiants impliquent des enjeux du « savoir-mesurer » dans le traitement des données (tel que l'intégration des incertitudes définies à partir d'informations données par le matériel). D'une manière générale le « savoir mesurer » se limite pour les étudiants à des questions pratiques plus ou moins liées au recueil des données (tel que la description de la manière de recueillir les données ou encore la manière de placer la cuve demi-cylindrique de liquide inconnu dans le TP d'optique ou les actions à effectuer sur les blocs pour le TP de mécanique). Le traitement de la mesure prend essentiellement la forme d'un calcul défini par la formule théorique qui peut parfois inclure un traitement statistique simple. Même si l'étape suivant le traitement des données concerne l'enjeu de l' « utilisation de la mesure », les étudiants décrivent très peu cet enjeu dans l'étape de traitements des données. Je suppose que soit les étudiants ne s'intéressent pas à cet enjeu, soit ils ne relient pas leurs données aux aspects théoriques de l'expérimentation (formules mathématiques, principe expérimental). Pour conclure les étudiants ne semblent pas relier les différents enjeux de l'acte de mesurage dans les différentes étapes de celui-ci. Généralement ils se contentent de répondre directement à la tâche (et donc l'enjeu) que l'étape demande. De plus l'enjeu de « savoir mesurer » semble être le moins traité, favorisant les réponses concernant l'enjeu d' « utilisation de la mesure » et surtout l'enjeu de « traitement de la mesure ». Cela correspond à ce qui a été décrit par Séré dans son article (2008). Je suppose de mon côté que pour que les étudiants traitent de chacun de ces enjeux, il est nécessaire de les relier en montrant les connexions existantes entre les

étapes du mesurage et de les identifier par leur fonction et les actions. Ce travail a pour but de permettre aux étudiants de pouvoir établir un protocole en entier et de manière autonome pour ensuite leur donner la possibilité de réfléchir plus clairement aux différentes stratégies qui pourraient être utilisées.

D.6.2. Les outils de diagnostic

Afin d'obtenir les résultats présentés dans le chapitre précédent, nous avons observé les étudiants dans différentes situations. Les diagnostics portant sur les stratégies utilisées par les étudiants sont effectués à l'aide d'un outil d'analyse (modèle de raisonnement) dans différentes situations et en fonction des rétroactions rencontrées.

D.6.2.1. Le modèle des raisonnements

Dans cette seconde expérimentation, j'ai modifié mon modèle des raisonnements en y intégrant les schèmes Exact-Intervalle-Aproché développés par Evangelinos, Psillos, Valassiades (2002). Ce nouveau modèle m'a permis de pouvoir identifier avec une bonne régularité (κ de Cohen jugé bon) les raisonnements sous-tendus dans les différentes actions définies à partir des réponses des étudiants. Ce résultat a été obtenu en définissant des points caractérisant les raisonnements qui n'étaient plus uniquement liés au nombre de données à recueillir ou à traiter (comme dans le modèle de la première expérimentation). Ces nouveaux items caractérisent les raisonnements à travers la manière dont les étudiants abordent les problèmes de précision de la mesure et les moyens qu'ils mettent en œuvre pour les prendre en compte et parfois les traiter. Ces problèmes peuvent être observés selon trois points de vue qui peuvent être rapprochés des enjeux de la mesure présentés par Séré (2008). Il s'agit du point de vue instrumental et opérationnel (enjeux du « savoir-mesurer »), du point de vue du traitement des données et de l'utilisation d'outils statistiques (enjeux du « traitement de la mesure »), ou enfin sur l'utilisation du résultat obtenu afin d'identifier un liquide (enjeux de l' « utilisation de la mesure »). Ce modèle de raisonnement PMS m'a donc permis d'avoir une idée relativement fidèle des raisonnements utilisés par les étudiants dans leurs réponses.

Dans la représentation des distributions des fréquences d'unités d'action sur toute l'expérimentation, une majorité d'unités ont été classées Neutres (48,34%). La première expérimentation avait aussi soulevé cette particularité. Ces réponses sont composées de deux types d'informations : des réponses non liées à l'acte de mesurage et des réponses qui répondent à la tâche demandée (par rapport à l'acte de mesurage) mais ne sont pas discriminantes d'un raisonnement particulier (réponse trop vague ou très large). Ces catégories d'unités classées Neutres apportent des informations sur l'intérêt que les étudiants portent à la tâche mais aussi sur leur niveau de compétence pour y répondre. En utilisant une catégorie qui est classée Neutre, les étudiants peuvent essayer de faire passer un message lié au mesurage sans arriver à le transmettre clairement (problème de compréhension de la procédure, mauvaise utilisation du vocabulaire, Séré, Larcher et Journeaux 1993 ; Tomlinson, Dyson et Garratt, 2001). Ce type de catégorie Neutre peut aussi leur permettre d'essayer de compléter l'étape correspondante sans avoir idée de ce qui peut être une réponse correcte, mais pour satisfaire la nécessité de répondre à la tâche demandée. Ce type de réaction peut être mis en relation avec la notion de contrat didactique décrit par Brousseau dans sa théorie des Situations Didactiques (1998). On peut associer cette nécessité de donner une réponse même si elle ne répond pas au problème avec l'effet dit de « L'âge du capitaine ». Dans cet effet décrit par Brousseau, l'apprenant cherche à fournir une réponse même si l'intitulé de l'exercice ne lui permet pas de répondre à la question posée. Ici, le binôme ne possède que

peu d'informations provenant de l'énoncé sur la manière d'élaborer le protocole. Même s'il n'a pas d'idée sur la manière de répondre par rapport à l'acte de mesurage, il donne une réponse qui ne correspond pas au obligatoirement problème de l'acte de mesurage.

D.6.2.2. Les situations

La structure de notre expérimentation portait sur le fait que les étudiants seraient capables de développer leur stratégie en améliorant leur raisonnement lors de la situation T2 (qui peut être identifiée comme une situation d'apprentissage ou d'entraînement) puis de réutiliser ces stratégies dans la situation T3. Les résultats discutés auparavant ont montré de nombreuses différences par rapport à cette hypothèse.

D.6.2.2.a. Du point de vue de la méthodologie

La méthodologie d'expérimentation sur la mise en place des situations a montré quelques limites qui peuvent jouer sur les résultats obtenus. Une limite concerne l'implication des étudiants dans les quatre situations : Questionnaire (T0), TP optique (T1 et T2), et TP de mécanique (T3). De manière générale les protocoles rendus sont complets et les étudiants ont pris cette situation expérimentale avec sérieux et intérêt. Une autre limite concerne une certaine dissymétrie entre les groupes formés. Les consignes données au début des situations étaient identiques pour tous les groupes puisque les étudiants d'un même groupe TP se répartissaient sur les groupes expérimentaux A, B et C. Cependant, des inégalités ont pu être observées entre les groupes de TP. Par exemple certains n'ont quasiment pas rempli la première étape car ils n'ont soit pas trouvé la boîte à remplir, soit ne savaient pas comment la remplir. D'autres ont eu beaucoup de mal pour découvrir le fonctionnement de la feuille de données ou de l'affiche des informations du matériel dans l'espace « Elaboration » du site web. Enfin, une dernière limite concerne l'intérêt que les étudiants ont pu donner à cette expérimentation. Sachant que leur enseignant n'évaluerait pas leur protocole, ils se sont assez peu inquiétés de l'impact de cette expérimentation sur leur cursus. Ce dernier point a pu avoir des impacts positifs dans le sens où les étudiants n'ont pas trop tentés de répondre à tout prix et négatifs dans le sens où l'intérêt que les étudiants ont pu porter à ce problème a pu être très fluctuant.

D.6.2.2.b. Spécificité des situations

Comme il l'a été discuté précédemment, une différence existe entre les situations du contexte d'optique T1 et T2 et la situation du contexte de mécanique. Nous nous attendions à ce que la situation T2 soit une situation d'apprentissage c'est-à-dire que les raisonnements utilisés par les étudiants soient plus évolués qu'en T1. Les scores obtenus ne montrent pas de résultat probant sur ce point. Cela peut s'expliquer en partie par le fait qu'il n'existe aucun retour institutionnel sur la validité du protocole élaboré par le binôme. D'autre part la situation T3 dans le contexte de mécanique devait permettre de vérifier cet apprentissage, c'est-à-dire d'observer si les étudiants étaient capables de réutiliser les stratégies établies à la fin de T2. Or la situation T3 montre que cette réutilisation est très faible (si on compare avec le groupe contrôle). Le test de Kruskal-Wallis appliqué à cette situation montre aussi que les scores des groupes ne sont pas liés à la situation, montrant que les raisonnements des étudiants ne semblent pas être affectés par les rétroactions reçues dans la situation précédente. Le changement du contexte, c'est-à-dire la définition d'un acte de mesurage pour un domaine différent ainsi que la modification de continuité de cet acte (changement de bloc) influençant la répétabilité de l'acte de mesurage, peuvent expliquer en partie cette non réutilisation. D'autre part, la non présence du matériel pour tester le protocole dans cette situation peut

prendre part à l'explication des résultats obtenus. Enfin l'augmentation d'unités d'action Neutre en T3 illustrent de plus grandes difficultés de la part des étudiants à discuter de l'acte de mesurage dans ce TP que dans le TP d'optique précédent. Une des raisons serait que les étudiants ne reconnaissent pas la proximité du problème de mesurage de cette nouvelle expérience avec celle du TP d'optique. La situation T3 se rapproche de la situation de questionnaire en TD (T0) car les étudiants ne peuvent pas manipuler les instruments. Ils devraient donc tendre à suivre, ici, les raisonnements utilisés pour répondre aux questionnaire. Or ce n'est pas le cas. Je suppose que le fait d'être en TP entraîne les étudiants à raisonner en fonction de la manipulation à effectuer.

D'autre part, le tableau 4 de la partie E, montre qu'une des différences entre les deux expériences (optique et mécanique) concerne la présence de variables didactiques liées aux réglages des instruments. Dans l'expérience de mécanique, il n'en existe pas. Les étudiants donnent, tout de même, une importance à cette étape en la complétant à l'aide de thèmes liés à la manipulation des instruments. Je pense que la question du réglage est importante pour les étudiants quant à l'élaboration du protocole de mesure. Elle serait l'étape qui permettrait aux étudiants de d'écrire l'enjeux du « savoir-mesurer » dans le protocole.

Le milieu, composé du domaine et du type de mesurage, est donc important pour les étudiants dans leur réutilisation d'un protocole de mesurage et du raisonnement auquel il est relié.

D.6.3. Des rétroactions pour faire évoluer les raisonnements

Les rétroactions ont été introduites dans notre expérimentation lors de la situation T2 afin de permettre aux étudiants d'engager une réflexion sur la stratégie qu'ils avaient développée et aussi de l'améliorer afin de se rapprocher d'un raisonnement de type expert.

D.6.3.1. Impact sur les raisonnements dans l'expérimentation

L'observation des fréquences de raisonnement dans chacune des situations m'a permis de constater que les raisonnements utilisés dans les stratégies des étudiants dans les situations sont très similaires entre eux. Des différences existent tout de même, illustrant une certaine évolution de ces distributions au cours des situations. La situation T1 qui devait illustrer les raisonnements initiaux des étudiants dans les trois groupes montre une distribution quasi identique à la tendance générale (toutes situations confondues). En T2, après que les étudiants aient reçu une rétroaction, les raisonnements Ensemble-Intervalle augmentent et les Neutres diminuent. Enfin, en T3 (l'expérience de mécanique), les raisonnements Ensemble-Intervalle diminuent beaucoup et les Neutres augmentent. Ces observations montrent que les situations ont un effet sur la manière de concevoir une stratégie. L'obtention d'une rétroaction, quelle qu'elle soit, semble permettre aux étudiants d'être plus précis dans leur manière de répondre et de leur permettre d'utiliser des réponses qui s'approchent d'un raisonnement expert. La situation dans le TP de mécanique inverse cette tendance au point de dépasser de manière négative les scores obtenus en T1.

Un des résultats concerne les effets des rétroactions selon les groupes, vus à l'aide des scores. Ces effets semblent être différents de ceux prévus en H1, H2 et H3. D'un côté les groupes recevant une rétroaction spécifique obtiennent des scores plus élevés que le groupe contrôle. Mais d'un autre côté, le groupe B, recevant la rétroaction sous forme d'une liste de résultats, reste stable dans les trois situations alors que le groupe C augmente son score moyen légèrement en T2 puis celui-ci diminue beaucoup en T3. Ce résultat va à l'encontre de nos hypothèses car C devait être le groupe qui devait faire évoluer ses stratégies vers des raisonnements les plus proches du raisonnement expert et être capable de les réutiliser dans un

autre contexte de mesurage. Or seul le groupe B réussit à réutiliser ses raisonnements en T3. Enfin les tests de Kruskal-Wallis n'attestent le lien entre les groupes et les rétroactions que dans la situation T2. Ce résultat montre que l'effet des rétroactions reste faible lorsque les étudiants changent de contexte et donc que l'apprentissage lié à ces rétroactions est lui aussi, faible.

D.6.3.2. Effet du contenu des rétroactions

D.6.3.2.a. Selon leur forme

Alors que le groupe C voit ses scores s'améliorer en T2 par rapport aux autres groupes, le groupe B voit ses scores être bien plus importants que pour les deux autres groupes en T3. La rétroaction sous forme de protocole entier semble donc permettre aux étudiants d'améliorer leur stratégie dans le contexte mais non de la réutiliser dans un autre contexte. Je suppose que cette tendance tient au fait que les étudiants n'utilisent la rétroaction qu'en reprenant les éléments qui leur semblent intéressants à rajouter dans leur protocole, sans réfléchir à ce qui change alors dans leur stratégie. La rétroaction présentant différentes formes de résultats ne permet pas aux étudiants d'améliorer leur score. Par contre elle semble leur permettre de pouvoir réutiliser leurs stratégies dans un autre contexte. Cet effet pourrait s'expliquer par une meilleure compréhension de la stratégie qu'ils utilisent et du raisonnement correspondant. Cette compréhension semble leur permettre de réutiliser leur stratégie dans une tâche similaire.

D.6.3.2.b. Effet sur les thèmes utilisés

Suivant l'évolution des stratégies entre les situations, l'introduction de rétroactions provoque des changements dans la répartition de l'utilisation des thèmes. Certains changements existent dans les étapes de réglages et de traitement, illustrant surtout des changements entre des aspects pratiques des tâches demandées dans les cas du groupe A et B. Par exemple les unités d'action décrivant le placement des instruments ou le nombre de valeurs à prendre vont tendre, lors des situations suivantes, à décrire la manière de recueillir des données. Seul le groupe C se différencie en s'intéressant plus aux problèmes liées aux incertitudes ou aux sources d'erreurs ainsi qu'aux traitements statistiques qui devront être faits pour diminuer les erreurs. Lors de l'étape de traitement des données, les changements de thèmes entre les situations sont plus importants. Après la remise des rétroactions, en T2, les thèmes correspondant aux traitements statistiques, à la représentation des données et aux intégrations des incertitudes apparaissent.

Enfin, lors de l'expérience de mécanique (T3), ce sont justement ces unités d'action sur les thèmes des incertitudes et du traitement statistique qui diminuent. En effet les thèmes utilisés dans les différentes étapes tendent vers des aspects pratiques de la manipulation.

Cette remarque reprend la discussion faite dans le paragraphe E.4.2.2.b et montre l'importance du contexte et du type de mesurage dans l'utilisation des stratégies de mesure par les étudiants.

Ainsi dans le groupe des trois étapes (4, 5 et 6), les thèmes majoritaires utilisés par le groupe B dans cette situation (T3), ne semblent pas permettre d'expliquer la stabilité des scores que nous avons pu observer. En effet les fréquences des unités d'action dans chacun de ces thèmes sont très proches de celles utilisées par les deux autres groupes (A et C). Le fait que les thèmes n'expliquent pas les raisons de la stabilité du score du groupe B peut être dû à la présence, dans chacun des thèmes, de catégories classées selon des raisonnements différents.

Pour conclure, je m'attendais tout d'abord à ce que les rétroactions spécifiques données aux

étudiants les poussent à effectuer des changements sur l'ensemble des étapes. Puis qu'elles les poussent à utiliser des réponses correspondant à des thèmes caractérisant le raisonnement Ensemble-Intervalle (utilisation de réponses concernant l'item des erreurs et incertitudes, ainsi que celui du recueil d'un ensemble de valeurs). Finalement peu de changements ont été effectués vers les thèmes des incertitudes ou erreurs, des traitements statistiques et des représentations graphiques ce qui remet en cause notre deuxième hypothèse de travail. De plus, nous avons supposé, à partir des études sur les BUP et sur l'enseignement de la mesure (Séré, 2008 ; Goury, 2008), que les étudiants avaient compris et étaient capables d'utiliser les caractéristiques qui définissent le raisonnement Ensemble-Bayésien de notre modèle. Or le relevé des unités d'action correspondant à ces caractéristiques montre un très faible taux d'utilisation.

D.6.3.3. Timing des rétroactions

La différence entre les effets des rétroactions B et C en fonction de la situation pose la question de l'action des rétroactions dans le temps, qui est une des caractéristiques soulevées par Shute (2007) et reprise par Luengo (2009). Shute décrit des rétroactions dites *immédiates* ou *retardées* selon le temps s'écoulant entre la réponse de l'étudiant et l'administration de la rétroaction. Dans notre cas la remise des rétroactions peut être considérée comme *immédiate* par rapport à la remise du document mais *retardée* concernant le problème que l'étudiant va mettre en relation avec son protocole (le temps de lire la rétroaction et de relier les informations à leur propre protocole). Shute (2007, p.17) conclue son article en expliquant que « *l'efficacité des rétroactions ne dépend principalement pas du timing, mais de la nature de la tâche et des capacités de l'apprenant* ». On peut donc supposer que dans notre cas l'effet des rétroactions observé entre les groupes B et C dépend principalement de la tâche évoquée par la rétroaction spécifique que le binôme reçoit. La rétroaction C semble faire penser aux étudiants qu'ils doivent réutiliser les actions proposées par le protocole donné, alors que la rétroaction B semble plus les forcer à réfléchir à leur stratégie.

D.6.3.4. Caractérisation des rétroactions utilisées

D'après les définitions des classes de rétroactions définies par Shute (2007) et Luengo (2009) dans mon état de l'art, les rétroactions que nous avons utilisées peuvent être considérées comme formatives, orientées but, et basées sur la tâche à effectuer dans le but d'informer les étudiants et de leur permettre d'élaborer une nouvelle stratégie. Les résultats généraux (distribution des fréquences des réponses selon les raisonnements, scores) ne montrent pas de différences importantes sur les stratégies utilisées par les étudiants, juste après que ceux-ci aient reçus leurs rétroactions. Ces rétroactions semblent donc avoir eu un effet faible sur les stratégies des étudiants. Une des raisons pourrait être la forme facilitatrice de ces rétroactions. Cette forme ne bloquait pas les étudiants dans la résolution de la tâche et ne les forçaient que faiblement à modifier leurs stratégies en fonction de la rétroaction fournie. Dans sa conclusion, Shute (2007) explique que l'efficacité de la rétroaction dépend de la motivation qu'a l'étudiant à utiliser la rétroaction (la nécessité qu'il a à prendre en compte cette rétroaction), de la disponibilité de cette rétroaction (donnée à temps pour son utilisation) et le fait que les étudiants soient capables et veuillent bien l'utiliser (« utilisabilité »). Dans notre cas, les rétroactions étaient disponibles à temps et utilisables par les étudiants (selon leurs connaissances antérieures). Je suppose donc que les étudiants n'ont pas ressenti une grande nécessité à utiliser ces protocoles. Les résultats du groupe C sembleraient montrer que cette utilisation a été motivée par l'utilisation de réponses directement prises dans le protocole, alors que le groupe B semble utiliser sa rétroaction pour mieux comprendre les stratégies qu'il utilise. Pour conclure, ces rétroactions n'ont pas fournies les résultats espérés, tels que des

modifications des stratégies sur l'ensemble de l'acte de mesurage, ainsi qu'une évolution des raisonnements utilisés pour définir les stratégies se rapprochant d'un raisonnement expert. Cela peut s'expliquer de deux manières. Soit les rétroactions n'étaient pas suffisamment contraignante pour mener les étudiants à réfléchir aux problèmes de mesurage présents dans les rétroactions. Soit les connaissances des étudiants n'étaient pas suffisantes pour pouvoir leur permettre de comprendre ces problèmes (effet de la complexité discuté par Shute , 2007).

E. Conclusion

Dans cette conclusion, un retour sur les objectifs des travaux présentés dans ce document sera effectué afin de pouvoir donner plus de relief aux résultats obtenus. Puis je reviendrai sur les différences qui existent entre les résultats obtenus lors des deux expérimentations. Ensuite j'évaluerai la méthode de classement des réponses des étudiants dans chacune de ces expérimentations. Une discussion sera ouverte sur l'efficacité des valeurs de variables didactiques choisies dans les rétroactions. Enfin, je conclurai en ouvrant quelques perspectives liées à ce travail.

E.1. Résultats

L'étude de la littérature portant sur la métrologie, sur l'enseignement de la mesure et l'enseignement dans des situations d'élaboration de protocoles nous a permis d'émettre des hypothèses de travail. Ainsi, nous avons suggéré qu'impliquer les étudiants dans une procédure pratique de mesurage, où sont précisés les différents points d'un système de mesurage, devrait leur permettre de donner plus de sens à l'acte de mesurage. Nous avons aussi suggéré que des étudiants ayant à élaborer un protocole de mesurage afin de répondre à un problème, seraient en meilleures conditions pour comprendre et développer les différents concepts liés à cette procédure, que lors d'une situation traditionnelle d'enseignement.

E.1.1. Différents raisonnements selon le contexte

Plusieurs études présentées dans la littérature identifient des raisonnements d'étudiants sur la mesure lorsque ceux-ci se trouvent dans des situations de démonstration par l'enseignant et/ou face à une description graphique ou textuelle d'expériences de physique. D'autres études, par contre, suggèrent de placer les étudiants dans une situation plus pratique. Comme par exemple en leur faisant élaborer un protocole de mesure, à partir duquel ils peuvent, entre autres, prendre une décision concernant la grandeur mesurée. Nous avons supposé que le contexte dans lequel les étudiants étaient mis pouvait avoir, alors, une influence sur les raisonnements qu'ils emploient. Ceci a été vérifié lors de ma première expérimentation.

Le résultat principal de cette première expérimentation a été de mettre en évidence que les étudiants n'utilisent pas les mêmes raisonnements lorsqu'ils ont à élaborer un protocole de manière autonome que lorsqu'ils ont à répondre à un questionnaire. En effet, quand ils sont dans cette situation, ils utilisent un raisonnement proche d'un raisonnement expert. Pourtant lorsqu'ils doivent élaborer un protocole en TP, ils recourent, en majorité, à un raisonnement proche du raisonnement commun. Enfin, lorsque les étudiants ont à évaluer leur protocole sur la base d'un questionnaire, ils adoptent un raisonnement intermédiaire. Cette utilisation majoritaire d'un raisonnement commun dans une situation pratique d'élaboration de protocole conduit à s'interroger sur les motivations de ce changement de raisonnement. Ou à proprement parler, à s'interroger sur la manière dont les étudiants envisagent cette tâche lorsqu'ils doivent l'effectuer seuls. Et il est particulièrement intéressant d'observer les étapes de l'acte de mesurage qu'ils privilégient. Ceci pourrait permettre de déterminer les conditions dans lesquelles les étudiants sont amenés à développer un raisonnement plus proche d'un raisonnement expert lié à la pratique. Cela fait l'objet de ma seconde expérimentation.

E.1.2. Effet des rétroactions

Lors de la seconde expérimentation, j'ai étudié l'influence de rétroactions épistémiques sur les raisonnements des étudiants dans une situation d'élaboration de protocole. Ces influences ont été observées pendant un TP incluant des manipulations expérimentales, ainsi que lors d'un exercice de conception de protocole qui, lui, était réalisé sans manipulation.

Cette nouvelle expérimentation, basée sur l'élaboration d'un protocole de mesure, a été construite à partir des résultats de la première expérimentation. Le premier objectif de cette deuxième expérimentation était de pouvoir déterminer quelles variables didactiques, et quelles valeurs de celles-ci, permettent aux étudiants de modifier leurs raisonnements. Autrement dit, dans quelles conditions il peut y avoir évolution des raisonnements. Ces variables ont permis de définir des rétroactions portant, soit sur une étape spécifique du mesurage, soit sur l'ensemble du protocole.

L'hypothèse selon laquelle les deux groupes d'étudiants recevant les rétroactions épistémiques spécifiques font évoluer leurs stratégies a ainsi été confortée. En effet, les méthodes employées par les deux groupes d'étudiants sont plus proches du raisonnement expert que celles mises en œuvre par le groupe ne recevant pas de rétroactions spécifiques. Par contre, contrairement à mes hypothèses, le groupe recevant une rétroaction sur l'ensemble du protocole semble moins évoluer que celui recevant une rétroaction portant sur le traitement des données.

Ces résultats montrent que l'introduction de rétroactions épistémiques agissant sur différents points de l'acte de mesurage permet aux étudiants d'améliorer les raisonnements qu'ils utilisaient dans leurs stratégies initiales. Les résultats obtenus montrent que cette amélioration existe dans la durée (lors d'une réutilisation), alors qu'il n'existe pas d'effet visible lors de l'introduction des rétroactions. La rétroaction est donc plus efficace lorsque les étudiants ont à réfléchir sur l'intérêt des informations qui leur sont données, que lorsqu'ils peuvent réutiliser directement ces informations.

E.1.3. L'élaboration d'un protocole de mesurage

E.1.3.1. Les étapes

Un autre objectif de mon travail était de repérer à quelles étapes du mesurage les étudiants étaient le plus sensibles. J'ai donc recherché les étapes dans lesquelles les étudiants décrivent des actions qui correspondent à notre modèle de raisonnement. Il apparaît alors que seuls le réglage des instruments, le recueil des données et le traitement des données sont décrits par la majorité des étudiants, suivant notre modèle de raisonnement PMS. Les étapes de choix de l'instrumentation et de prise de décision sont, quant à elles, peu utilisées par les étudiants. Par ailleurs, l'analyse des stratégies suivies montrent que dans de nombreux cas, les étudiants n'ont pas compris la tâche à effectuer, ou ne ressentent pas la nécessité de répondre à notre demande, ou encore ne sont pas à même de détailler les raisons de leurs choix d'actions. Enfin, les étapes de description du principe du protocole de l'expérimentation et d'explication du schéma expérimental sont peu utilisées et ne sont quasiment pas décrites par des actions correspondant à notre modèle. Ceci montre que les étudiants se centrent essentiellement sur les enjeux de traitement des données. Quand leur intérêt se porte sur les enjeux liés au savoir-mesurer, ils ne semblent pas savoir comment les décrire. Quant aux enjeux liés à l'utilisation de la mesure, ils ne semblent pas être présents dans leurs stratégies de mesurage. La première explication possible à cette répartition des enjeux dans les stratégies des étudiants peut être rattachée à l'apprentissage de la mesure durant les années antérieures de la scolarité. En effet, l'enseignement de la mesure dans le secondaire semble se centrer essentiellement sur le traitement des données. C'est ainsi que le savoir-mesurer passe alors plutôt comme un enjeu

secondaire permettant uniquement d'obtenir des données afin de les traiter. L'utilisation de la mesure apparaît bien de temps en temps mais n'est que peu mise en avant. De plus, ces différents enjeux ne sont quasiment pas reliés les uns aux autres dans les TP habituellement effectués par les étudiants. Ainsi toute vue globale de l'acte de mesurage est occultée. En conséquence, les étudiants sont dans l'impossibilité d'appréhender les concepts qui dépendent de différents enjeux comme par exemple les incertitudes. Ce problème a commencé à être traité par l'utilisation de la méthode GUM dans les travaux de laboratoire. C'est le cas par exemple avec l'utilisation de bilans d'incertitudes reliant l'utilisation du matériel avec le traitement des données (Pillay *et al.*, 2008).

Une seconde explication envisageable, concomitante à la première, pourrait expliquer cette répartition de l'utilisation des enjeux par un effet de contrat. Les étudiants n'ont pas l'habitude, en TP, de résoudre ce type de tâche (résolution d'un problème dans son ensemble). Je suppose donc qu'ils se sont concentrés sur les types de tâches auxquelles ils sont habitués : le recueil et le traitement des données.

Une troisième explication peut être trouvée dans la formulation du problème général et des différentes étapes. Par exemple, l'étape de principe de la mesure a troublé les étudiants et ceux-ci ont dévié l'obstacle. Ils ont décrit de nombreuses actions qui ne sont pas liées à l'acte de mesurage mais se rapportent plus au phénomène physique.

La distinction faite par les étudiants dans l'utilisation des étapes de l'acte de mesurage illustre une difficulté majeure des étudiants. Ceux-ci ont des difficultés à avoir une idée globale de leur protocole de mesure, de son objectif (par rapport à la grandeur mesurée) et donc de la relation entre réalité et modèle. Cela montre la vision de la science qu'ont les étudiants. Pour eux, la science au travers de la mesure et de son outil de validation expérimentale, est centrée sur ses aspects mathématiques. Les étudiants mettent en avant une vision fréquentiste dans laquelle une réalité existe et où la théorie permet de la modéliser. L'utilisation de l'expérimentation, c'est-à-dire le retour au « réel », ne permet que de valider totalement ou de réfuter ce modèle.

E.1.3.2. Les thèmes

L'étude faite sur les étapes a permis d'observer les thèmes utilisés par les étudiants dans leurs actions pour chacune d'entre elles. Nous avons supposé qu'en observant l'évolution de ces thèmes nous pourrions mieux comprendre comment les étudiants sont à même d'améliorer leur stratégie. Or, de manière générale, les étudiants décrivent des actions qui sont centrées sur la tâche de l'étape sans relier ces descriptions à des actions définies dans d'autres étapes. D'après les thèmes utilisés, les étudiants ne font pas le lien entre les trois enjeux dans les étapes. En fait, les thèmes mettent surtout en avant l'enjeu de traitement des données dans l'ensemble des stratégies. Ces tendances sont à rapprocher des explications évoquées dans la partie précédente.

Enfin, même si des évolutions ont pu être observées dans les raisonnements utilisés dans les stratégies des étudiants, la correspondance de ces évolutions avec les thèmes utilisés est assez faible. Une des causes pourrait être que d'un côté certains thèmes sont composés d'unités d'actions qui peuvent recevoir différents classements selon notre modèle de raisonnement. D'un autre côté, d'autres thèmes sont surtout composés d'unités d'actions classées pour des mêmes raisonnements, ce qui les rend alors plus facilement repérables lorsqu'il existe des évolutions dans les stratégies des étudiants.

Ces résultats confirment ce que nous avons appris dans l'étude sur les étapes : les étudiants répondent aux tâches qu'ils connaissent déjà et ne sont pas de taille à relier les différents enjeux qui composent l'acte de mesurage. D'autre part, leurs évolutions semblent s'effectuer à l'intérieur d'un même thème dans chacune des étapes. Il n'y a que lorsque les étudiants s'intéressent au problème d'erreurs ou d'incertitudes, que ces thèmes permettent d'avoir une

idée de leur amélioration des raisonnements utilisés. Ce dernier point montre une des faiblesses de notre outil de diagnostic, c'est-à-dire le besoin d'aller à une échelle fine (les unités d'action) pour pouvoir observer l'évolution des stratégies des étudiants.

E.1.4. Le raisonnement Ensemble-Bayésien

Si on recherche, dans l'ensemble des unités d'actions proposées par les étudiants, des réponses concordant à des catégories qui pourraient correspondre à des raisonnements Ensemble-Bayésien, on voit que quasiment aucun étudiant n'a vraiment utilisé ce type de raisonnement. Cet état de fait montre que les étudiants n'utilisent pas ce type de raisonnement par eux-mêmes. Cela va donc à l'encontre des enseignements qui ont pu être menés auparavant (par exemple dans le TP de début d'année). Les rétroactions que nous avons introduites n'ont pas eu, elles non plus, d'effet sur ce point-là. Il semble donc important dans les recherches futures de définir un obstacle contraignant qui oblige les étudiants à utiliser un tel raisonnement.

E.2. Comparaison entre la première et la seconde expérimentation

Les résultats obtenus dans les deux expérimentations montrent des différences et des similitudes dans les répartitions des raisonnements utilisés par les étudiants dans leur stratégie. Alors que dans la première expérimentation, la majeure partie des étudiants utilise un raisonnement Point, dans la seconde les étudiants utilisent majoritairement des stratégies suivant un raisonnement Mixte-Approché. Malgré cette différence, les résultats de la seconde expérimentation suivent ceux de la première expérimentation. En effet, les étudiants ne raisonnent pas de la même manière lorsqu'ils élaborent un protocole de mesurage de manière autonome que lorsqu'ils répondent à des questions portant sur la mesure. Plus précisément, les stratégies développées par les étudiants durant l'élaboration de protocole sont proches d'un raisonnement commun tandis que lorsqu'ils répondent à un questionnaire, ces stratégies sont plus proches d'un raisonnement expert.

La seconde expérimentation m'a amené à tempérer les résultats de la première étude. Les raisonnements utilisés dans le questionnaire de la seconde expérimentation se rapprochent plus du raisonnement expert. Cela peut s'expliquer par le fait que ce questionnaire interrogeait les étudiants sur des points de l'acte de mesurage plus variés et moins utilisés par les étudiants habituellement. D'autre part, un nombre important de questions permet d'obtenir un spectre plus large de réponses. Et donc la possibilité d'obtenir des raisonnements différents selon les questions est plus importante.

Aussi, les différences de résultats entre les deux contextes d'élaboration des protocoles (première et deuxième expérimentation) peuvent avoir d'autres causes. Premièrement, ces différences peuvent être dues au changement de modèle de raisonnement utilisé pour classifier les réponses dans la première et la seconde expérimentation (ce point sera développé dans la partie suivante). Deuxièmement, les différences peuvent aussi s'expliquer par le choix des variables des situations. Les situations d'optique sont similaires entre les deux expérimentations mais des changements ont été effectués. De plus, nos observations suggèrent que le temps donné aux étudiants pour élaborer un protocole de mesure a un effet sur la qualité de leur raisonnement. Avec plus de temps ils ont la possibilité de faire des aller-retour entre les étapes. Ce qui leur permet d'utiliser des raisonnements plus proches de ceux de l'expert car ils se donnent le temps de faire plusieurs mesures ou de déterminer les incertitudes. De même, la possibilité d'avoir un retour expérimental au modèle proposé

semble avoir une incidence. En effet, comme le montre la situation de mécanique de notre seconde expérimentation, les scores des raisonnements obtenus sont les plus faibles des trois situations. L'analyse des thèmes montre que les étudiants se centrent sur des aspects pratiques de l'expérimentation, ce qui illustre bien la nécessité pour les étudiants de se rapprocher de la manipulation autant qu'ils le peuvent. Ceci semble en contradiction avec ce qui a été dit plus haut. Toutefois il semble que les étudiants utilisent des stratégies suivant notre modèle lorsqu'ils savent ce qu'ils doivent faire, et lorsqu'ils ne savent plus, ils se rapprochent de descriptions matérielles.

D'autre part, je suppose que le changement existant sur la procédure de mesurage entre les deux expériences joue un rôle dans la compréhension de l'acte de mesurage par les étudiants. Dans notre seconde expérimentation, ceux-ci semblent ne pas avoir observé la similitude entre les deux tâches du point de vue de la mesure. Cela peut être dû à la forme continue ou discontinue du système de recueil des données. Une forme discontinue nécessite de refaire les réglages pour chacune des valeurs recueillies et ainsi rompt la continuité du « mesurage ».

Pour conclure, une situation efficace pour faire changer les étudiants de raisonnement nécessite que la situation d'élaboration de protocole dure le temps nécessaire aux étudiants pour exécuter leur protocole et faire des aller-retour entre les données et leur stratégie. L'acte de mesurage doit aussi être lié à un système de recueil de données continu.

E.3. Validité de l'outil de diagnostic

Comme il l'a été décrit dans la partie précédente, la forme du modèle de raisonnement semble avoir eu un impact dans les résultats obtenus. Lors de la première expérimentation j'avais choisi d'utiliser un modèle de raisonnement tiré de l'étude faite par Buffler *et al.* (2001). Ce modèle avait l'avantage de présenter suffisamment de caractéristiques pour pouvoir classer les réponses des étudiants dans différentes situations. De plus, la comparaison de nos résultats basés sur le questionnaire avec les résultats de leurs études m'a permis de valider ceux-ci. Afin de pouvoir généraliser ce système de classement à ma situation d'élaboration de protocoles, j'ai défini ces raisonnements selon quatre points:

- l'objectif de la mesure
- la place donnée aux erreurs ou incertitudes
- la place et le rôle donnés à l'instrumentation
- la manière de recueillir les données

Les résultats obtenus m'ont permis de valider l'utilisation de ce modèle pour classer les réponses d'étudiants dans ce type de contexte.

Toutefois, j'ai pris en compte la nécessité d'ouvrir ce modèle à la vision qu'ont les étudiants de la mesure et d'y intégrer les points de vue bayésien et fréquentiste Ceci m'a donc fait ajouter à ce modèle un point sur la vision qu'ont les étudiants sur la notion de valeur vraie. D'autres changements ont été également opérés dans le but notamment de mieux prendre en compte des raisonnements décrits dans l'étude d'Evangelinos, Psillos et Valassiades (2002). Ces auteurs font intervenir des caractéristiques liées à l'enjeu de l'utilisation de la mesure et mettent plus en avant les liens qui peuvent exister entre les différents enjeux de la mesure.

La méthode de classement réalisée à l'aide de ce modèle a montré une certaine efficacité. Par ailleurs, l'utilisation de la méthode de score, m'a permis d'obtenir une image de la qualité des stratégies utilisées par les étudiants dans les situations et les étapes. Cette mesure de la qualité des stratégies m'a permis de comparer les différents groupes et donc d'évaluer les effets des rétroactions et des situations. Cette méthode de score a montré ses faiblesses dans les cas où les réponses des étudiants contenaient beaucoup de catégories Neutre. D'autre part, ces scores ne donnent pas une vision détaillée du type de raisonnement utilisé dans les stratégies.

Enfin, des tests statistiques ont été utilisés afin d'illustrer les différences obtenues entre les groupes dans les trois situations et selon les rétroactions. A l'aide de ces tests, j'ai pu valider en partie nos situations et les effets des rétroactions. Des probabilités d'erreurs importantes dans deux des trois situations me fait tout de même suggérer qu'il est nécessaire d'améliorer les situations et les rétroactions ainsi que la méthodologie de classement afin d'obtenir des résultats plus tranchés.

E.4. Influence des variables didactiques utilisées dans les rétroactions

Tout d'abord, je voudrais mettre évidence le fait que les rétroactions n'ont pas eu les effets que nous envisagions, a priori. Ces rétroactions étaient supposées avoir des effets directs dans les raisonnements des étudiants dans la situation. Et également leur permettre une réutilisation des raisonnements développés dans une situation différente. Mais le seul effet observé est une réutilisation probable des raisonnements déjà développés, dans une situation différente. Cet effet n'a lieu que pour une seule des deux rétroactions : celle comportant une liste de résultats. La seconde (protocole Mixte-Approché) n'a quasiment pas eu ni d'effet ni de réutilisation de raisonnement.

Je suppose que l'effet de réutilisation observé pourrait être dû à la mise en place d'une discussion entre les deux étudiants du binôme. Quand cette discussion a lieu, elle porte sur l'utilisation des actions que les étudiants proposent et surtout sur la justification des stratégies qu'ils proposent. De plus, cette rétroaction était essentiellement liée à l'enjeu de traitement des données (les variables didactiques sont liées au nombre de valeurs à recueillir, à l'écriture d'un résultat sous la forme d'intervalle, et sur le chiffre significatif nécessaires après la virgule). Cet enjeu a été identifié comme l'enjeu majoritairement traité par les étudiants dans leur protocole. Les étudiants ont donc pu porter une réflexion plus approfondie sur cette étape alors qu'ils ne l'ont pas fait sur d'autres.

L'effet de cette rétroaction pose question et nécessite une analyse plus approfondie sur la manière dont les étudiants interprètent les informations données. Mais aussi cela nous amène à réfléchir : dans quelles limites les valeurs des variables didactiques existantes jouent-elles un rôle ? Ce travail devrait avoir pour objectif la mise en place de rétroactions épistémiques portant sur les autres enjeux de l'acte de mesurage. Ce qui permettrait aux étudiants d'établir un lien entre ces enjeux afin de pouvoir résoudre le problème de mesurage posé.

E.5. Perspectives

Cette étude a été menée avec l'idée de mieux comprendre les raisonnements sur la mesure utilisés par les étudiants de première année universitaire de physique, lorsqu'ils sont engagés dans une activité expérimentale. J'ai pu identifier les grandes lignes de ces raisonnements et leurs spécificités dans l'apprentissage de la mesure scientifique. Les étudiants expriment facilement leurs connaissances lorsqu'ils répondent aux questions de l'enseignant, mais sont mis en difficulté lorsqu'ils doivent élaborer un protocole de mesurage complet en étant autonomes. En effet, un travail dans ce cadre demande à l'étudiant de construire un sens à l'acte de mesurage qu'il effectue. Il doit donc employer ses connaissances pour les mettre au service d'un modèle et, ce, afin de répondre à un problème de physique et/ou prendre une décision. Les expérimentations que j'ai pu mener se déroulent sur un temps court (une séance de TP) et n'avaient pas pour vocation d'améliorer les connaissances des étudiants à l'aide de ce travail d'élaboration de protocole uniquement. Pourtant, l'équipe enseignante avec laquelle nous avons travaillé, a repris la situation expérimentale que nous avons développée pour

l'insérer dans son enseignement. Je suppose donc que ces situations ont été suffisamment positives en donnant aux étudiants l'opportunité de développer de nouvelles capacités. Cette réutilisation de mon expérimentation me pousse à conforter le bien-fondé de l'utilisation de ce type de situation. Elle permet aux étudiants de donner du sens à leurs connaissances surtout dans le cadre d'outil tel que l'acte de mesurage.

La quasi non-utilisation de stratégies utilisant un raisonnement comportant une vision probabiliste de l'acte de mesurage illustre un problème existant dans l'enseignement de la mesure en tant que science. Je suppose que cet enseignement ne peut être dissocié d'un enseignement de la mesure selon ses trois enjeux. Cela se justifie car les concepts d'incertitude, d'intervalle, ou de valeur vraie, ne prennent du sens que lors d'une utilisation de l'acte de mesurage à l'aide d'instruments et suivant un modèle scientifique.

Ce dernier point s'observe aussi dans le type de mesure qui doit être fait. Comme nous avons pu l'observer, le savoir-mesurer ainsi que le retour à la grandeur (l'utilisation de la mesure) semble avoir une influence pour les étudiants sur l'enjeu de traitement des données. Par exemple, les étudiants ne recueillent pas les données de la même manière pour une mesure de temps et une mesure de longueur. De même, les réglages ou l'influence des objets pour observer un phénomène semble modifier la vision de l'acte de mesurage pour les étudiants (mesure continue ou discontinue). Il me semble important d'obtenir une caractérisation de ces différents aspects avant de pouvoir étudier la manière dont les enseignants peuvent faire prendre conscience aux étudiants les différents enjeux de la mesure.

Enfin, la situation d'élaboration de protocole de mesurage ne peut être pleinement efficace qu'à l'aide de rétroactions épistémiques. Ces rétroactions sont les éléments principaux qui permettront aux étudiant d'améliorer leur raisonnement. Il est donc essentiel d'en définir les caractéristiques (les variables didactiques) qui permettent aux étudiants de réfléchir à leurs stratégies par eux-mêmes et aux raisonnements qu'ils sous-tendent. Ils doivent permettre aussi aux étudiants d'utiliser ces réflexions pour chacun des enjeux de la mesure et ainsi de les mettre en relation.

Un travail sur l'automatisation des rétroactions adaptées aux stratégies développées par les étudiants lors d'une élaboration de protocole de mesure, pourrait permettre le développement du logiciel Copex en un véritable outil d'apprentissage.

F. Bibliographie

- Allie, S., Buffler, A., Campbell, B., Lubben, F., Evangelinos, D., Psillos, D., et al. (2003). Teaching measurement in the introductory physics laboratory. *The physics Teacher*, 11(7), 394-401.
- Arce, J., & Betancourt, R. (1997). Student-designed experiments in scientific lab instruction. *Journal of College Science Teaching*, 27, 114-118.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin. (édition 2004)
- Bindi, C. (2006). *Dictionnaire pratique de la métrologie*. La Plaine St-Denis: AFNOR.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques* (La pensée sauvage ed.). Grenoble. (édition 2004)
- Buffler, A., Lubben, F., & Ibrahim, B. (2009). The relationship between student's views of the nature of science and their views of the nature of scientific measurement. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1137-1156.
- Buffler, A., Allie, S., Lubben, F., Campbell, B. (2001). The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1137-1156.
- Buffler, A., Allie, S., & Lubben, F. (2008). Teaching measurement and uncertainty the GUM way. *The Physics Teacher*, 46, 539-543.
- Coelho, S. M., & Séré, M.-G. (1998). Pupils' reasoning and practice during hands-on activities in the measurement phase. *Research in science & technological education*, 16(1), 79-96.
- Cotteret, M.-A. (2003). *Métrologie et enseignement*. Thèse de doctorat en science de l'éducation. Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, Paris.
- Darley, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année. *Didaskalia* 9, 31-55.
- D'Ham, C., & Giraut, I. (2009). *Scaffolding the students' activity of experimental design with a dedicated software: copex-chimie*. Paper presented at the ESERA, Istanbul, Turquie.
- Evangelinos, D., Psillos, E., & Valassiades, O. (2002). An Investigation of Teaching and Learning about Measurement Data and their Treatment in the Introductory Physics Laboratory. . In D. Psillos & H. Niederer (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 179-190). Dordrecht: Kluwer Academic.
- Fondère, F., Pernot, C., & Richard-Molard, C. (1998). Analyse comparative de la gestion du mesurage en travaux pratiques de Deug à Orsay (biologie, chimie, physique). *Didaskalia*, 12, 63-92.

- Giraut, I., D'Ham, C., Ney, M., Sanchez E., Wajeman, C. (à paraître). Characterizing the « experimental procedure » in science laboratories : a preliminary step toward students' experimental design.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2003). The laboratory in science education: Foundations for the twenty--first century. *Science Education*, 88(1), 28-54.
- Ibrahim, B., Buffler, A., & Lubben, F. (2005). *The relationship between first year physics students' views on the NOS and the nature of scientific measurement*. Papier présenté à the 13th Annual meeting of the Southern African association for research in mathematics, science and technology education, Winbdhoek, Namibia.
- JCGM. (2008a). *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections)*.
- JCGM. (2008b). *International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM)*.
- Jedrzejewski, F. (2002). *Histoire universelle de la mesure*. Paris: Ellipse.
- de Jong, T. (2006). Computer simulations - Technological Advances in Inquiry Learning. *Science*, 312, 532-533.
- van Joolingen, W., de Jong, T., & Dimitracopoulou, A. (2007). Issues in computer supported inquiry learning in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23, 111-119.
- Journeaux, R. (1996). La référence au réel : les sciences physiques et les recours à la mesure. In Nathan (Ed.), *Didactique appliquée de la physique-chimie* (pp. 179-194). Paris.
- Karelina, A., & Etkina, E. (2007). Acting like a physicist : Student approach study to experimental design. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 3 (2).
- Koyré, A. (1948). Du monde de l'à-peu-près à l'univers de la précision. In *Critique* (Vol. IV, pp. 806-823).
- Leach, J., Millar, R., Ryder, J., Séré, M.-A., Hammelev, D., Niedderer, H., Tselfes, V. (1998). [Survey 2: Students' images of science as they relate to Labwork learning](#). Dans *Labwork in science education* (Working Paper 4).
- Lubben, F., Campbell, B., Buffler, A., & Allie, S. (2001). Point and set reasoning in practical science measurement by entering university freshmen. *Science Education*, 85(4), 311-327.
- Luengo, V. (2009). *Les rétroactions épistémiques dans les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches en Informatique. Université Joseph Fourier - Grenoble I, Grenoble.
- Marzin, P., & De Vries, E. (2008). *How can we take into account student conceptions of the facial angle in a palaeontology laboratory work?* Paper presented at the International

Conference on Learning Science, Utrecht, Pays-Bas.

- Nota, M. (2002). *Comment le physicien mesure-t-il ses propos? Un point de vue épistémologique sur "grandeur et mesure" en Physique*. Papier présentée à la 11^{ème} Ecole d'Eté de Didactiques des Mathématiques.
- Perdijon, J. (2004). *La mesure: histoire, science et philosophie*. Paris: Dunod.
- Pillay, S., Buffler, A., Lubben, F., & Allie, S. (2008). Effectiveness of a GUM-compliant course for teaching measurement in the introductory physics laboratory. *European Journal of Physics*, 29, 647-659.
- Ruthven, K., Laborde, C., Leach, J., & Tiberghien, A. (2009). Design tool in didactical research: Instrumenting the epistemological and cognitive aspects of the design of teaching sequences. *Educational Researcher*, 38, 329-342.
- Ryder, J., & Leach, J. (1999). University science students' experiences of investigative project work and their images of sciences. *International Journal of science Education*, 21(9), 945-956.
- Séré, M. G. (2008). La mesure dans l'enseignement des *sciences physiques*. Evolution au cours du temps. *Aster*, 47, 25-42.
- Séré, M. G., Journeaux, R., & Larcher, C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, 15(4), 427-438.
- Séré, M.-G., & Beney, M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences : observation de séance de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique. *Didaskalia*, 11, 75-102.
- Shute, V. J. (2007). *Focus on formative feedback*. ETS Research Report, Princeton, NJ.
- Taylor, J. R. (1997). *An introduction to error analysis. The study of uncertainties in physical measurements*. (2nd ed.). Sausalito, California: University Science Books.
- Tsai, C. C. (1999). "Laboratory exercises help me memorize truths": A study of eight graders scientific epistemological views and learning in laboratory activities. *Science Education*, 83(6), 654-674.
- Tiberghien, A., Veillard, L., Maréchal, J.-F. L., Buty, C., & Millar, R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85(5), 483-508.
- Tomlinson, J., Dyson, P. J., & Garratt, J. (2001). Students misconceptions of the language of error. *2001*, 5, 1-8.
- van Joolingen, de Jong, Dimitracopoulou, 2007
- Viennot, L. (2007). La physique dans la culture scientifique : entre raisonnement, récit et rituels. *Aster*, 44, 23-45.

Viennot, L. (1992). Raisonner en sciences. *Aster*, 14, 127-141.

Volkwyn, S. T., Allie, S., Buffler, A., & Lubben, F. (2008). Impact of a conventional introductory laboratory course on the understanding of measurement. *Physical Review Special Topics-Physics Education* 4(1), 10.

TEXTES OFFICIELS

Bulletin officiel du ministère de l'éducation nationale et du ministère de la recherche (2007). Programmes d'enseignement de l'école primaire. Ecole maternelle – Cycle des apprentissages fondamentaux Cycle 2 – Cycle des approfondissements Cycle 3. BO hors série n°5. 12 avril 2007.

Bulletin officiel du ministère de l'éducation nationale et du ministère de la recherche (2007). Programme d'enseignement des mathématiques, des sciences de la vie et de la terre, de physique chimie du collège. Annexe 2, Annexe 4, Annexe 5. BO hors série n°6. Vol. 2. 19 avril 2007.

Bulletin officiel du ministère de l'éducation nationale et du ministère de la recherche (2001). Programme d'enseignement de la classe de seconde générale et technologique. Physique-Chimie, Mathématique. BO hors série n°2. 30 août 2001.

Bulletin officiel du ministère de l'éducation nationale et du ministère de la recherche (2000). Programme d'enseignement de la classe de première de la série scientifique. Physique-Chimie, Mathématiques. BO hors série n°7. 31 août 2000.

Bulletin officiel du ministère de l'éducation nationale et du ministère de la recherche (2001). Programme d'enseignement en classe terminale de la série scientifique. Physique-Chimie, Mathématique. BO hors série n°4. Vol.9. 30 août 2001.

G. ANNEXE

G.1. ANNEXE 1 : Vocabulaire métrologique (JCGM-VIM, 2008)

- « **Grandeur** : propriété d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance, que l'on peut exprimer quantitativement sous forme d'un nombre et d'une référence. » (p.2)
- « **Valeur d'une grandeur** : ensemble d'un nombre et d'une référence constituant l'expression quantitative d'une grandeur. » (p.12)
- « **Valeur vraie d'une grandeur** : valeur d'une grandeur compatible avec la définition de la grandeur. » (p.20)
- « **Mesurage** : processus consistant à obtenir expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur. » (p. 16) Ce terme remplace le terme traditionnel mesure.
- « **Métrologie** : science des mesurages et ses applications. » (p.16)
- « **Mesurande** : grandeur que l'on veut mesurer. » (p.17)
- « **Résultat de mesure** (résultat de mesurage) : ensemble de valeurs attribuées à un mesurande, complété par toute autre information pertinente disponible. » (p. 19)
- « **Exactitude de mesure** : étroitesse de l'accord entre une valeur mesurée et une valeur vraie d'un mesurande. » (p. 21)
- « **Erreur de mesure** : différence entre la valeur mesurée d'une grandeur et une valeur de référence. » (p. 22)
- « **Erreur systématique** : composante de l'erreur de mesure qui, dans des mesurages répétés, de mesure constante ou varie de façon prévisible. » (p. 23)
- « **Erreur aléatoire** : composante de l'erreur de mesure qui, dans des mesurages répétés, varie de façon imprévisible. » (p. 23)
- « **Incertitude de mesure** : paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande, à partir des informations utilisées. » (p. 25)
- « **Evaluation de type A de l'incertitude** : évaluation d'une composante de l'incertitude de mesure par une analyse statistique des valeurs mesurées obtenues. » (p. 26)
- « **Evaluation de type B de l'incertitude** : évaluation d'une composante de l'incertitude de mesure par d'autres moyens qu'une évaluation de type A de l'incertitude. » (p.27)
- « **Incertitude instrumentale** : composante de l'incertitude de mesure qui provient de l'instrument de mesure ou du système de mesure utilisé. » (p. 43)
- « **Instrument de mesure** (appareil de mesure) : dispositif utilisé pour faire des mesurages, seul ou associé à un ou plusieurs dispositifs annexes. » (p. 34)
- « **Intervalle de mesure** : ensemble des valeurs de grandeurs d'une même nature qu'un instrument de mesure ou un système de mesure donné peut mesurer avec une incertitude instrumentale spécifiée, dans des conditions déterminées. » (p. 39)
- « **Méthode de mesure** : description générique de l'organisation logique des opérations mises en œuvre dans un mesurage. » (p.18)
- « **Procédure de mesure** (procédure opératoire) : description détaillée d'un mesurage conformément à un ou plusieurs principes de mesure et à une méthode de mesure donnée, fondée sur un modèle de mesure et incluant tout calcul destiné à obtenir un résultat de mesure. » (p. 18)
- « **Principe de mesure** : phénomène servant de base à un mesurage. » (p.17)
- « **Système de mesure** : ensemble d'un ou plusieurs instruments de mesure et souvent d'autres

dispositifs, comprenant si nécessaire réactifs et alimentations, assemblés et adaptés pour fournir des informations destinées à obtenir des valeurs mesurées dans des intervalles spécifiés pour des grandeurs de natures spécifiées. » (p.34)

« **Condition de répétabilité** : condition de mesurage dans un ensemble de conditions qui comprennent la même procédure de mesure, les mêmes opérateurs, le même système de mesure, les mêmes conditions de fonctionnement et le même lieu, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires pendant une courte période de temps. » (p.23)

G.2. ANNEXE 2 : Première expérimentation

G.2.1. Situation Q : le questionnaire

Nom : _____ **Prénom :** _____
Filière/Majeure(s) : _____

Votre binôme en TP d'optique : _____

Votre Baccalauréat : _____
Série : _____ **spécialité :** _____ **mention :** _____ **année**
d'obtention : _____

Questionnaire : Exactitude d'une mesure

I- Lecture d'un temps à l'aide d'un chronomètre automatique :

Un système de mesure automatisé utilisant un chronomètre de haute précision donne la lecture suivante : 1,55834 sec. Quelle conclusion un chercheur peut-il (ou ne peut-il pas) tirer de cette lecture ? Justifiez dans chacun des cas.

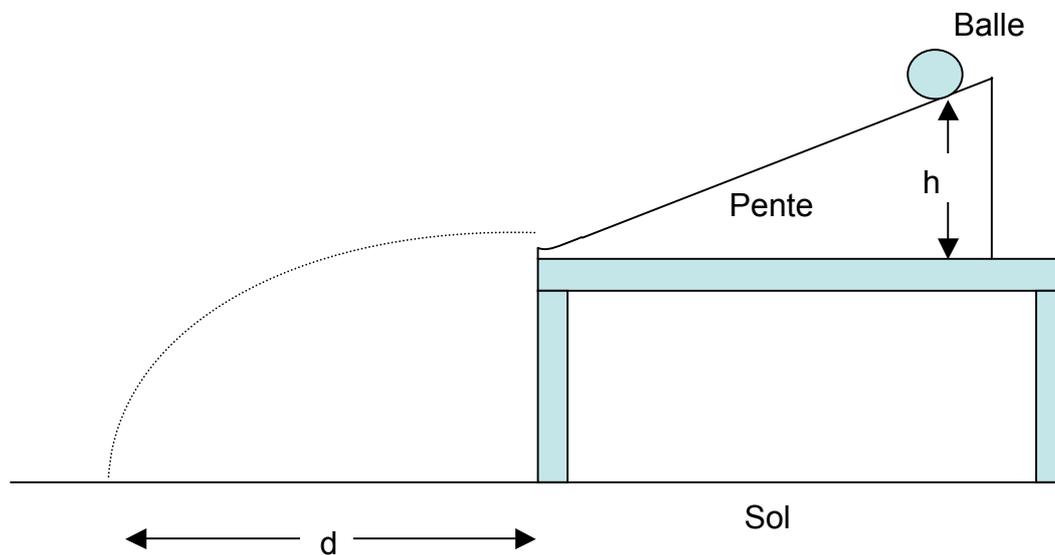
- a) La vraie valeur de temps est exactement 1,55834 sec.
- b) La vraie valeur de temps est approximativement 1,55834 sec.
- c) La vraie valeur de temps se situe sans aucun doute entre 1,558335 et 1,558345.
- d) La vraie valeur de temps se situe probablement entre 1,558335 et 1,558345.

II- Mesure en mécanique :

Une expérience est effectuée en TP de physique. Un plan incliné en bois (pente) est fixé sur le bord d'une table. Une balle est lâchée d'une hauteur h sur la table suivant le schéma ci-dessous.

Cette balle quitte le plan incliné de manière horizontale et retombe sur le sol à une distance d du bord de la table. Un papier spécial est placé sur le sol et permet d'obtenir une marque là où la balle est entrée en contact avec le sol.

On demande aux étudiants de chercher à savoir comment la distance au sol, d , varie quand la hauteur, h , varie. Un mètre est utilisé pour mesurer d et h .



- a) Après avoir mesuré le temps entre le lâché de la balle et son contact avec le sol, les étudiants ont à déterminer d pour $h = 400$ mm. Un groupe laisse tomber la balle le long de la pente à une hauteur $h = 400$ mm et, à l'aide du mètre, ils mesurent $d = 436$ mm.

La discussion suivante a lieu entre les étudiants :

Je pense que nous devrions lancer la balle *encore quelques fois* de la même hauteur et mesurer d à chaque fois.

Pourquoi? Nous avons déjà le résultat. Nous n'avons pas besoin de relancer la balle.

Nous devons relancer la balle sur la pente *encore une fois* à partir de la même hauteur.



A



B



C

Avec quel étudiant êtes-vous le plus d'accord?

A	B	C
---	---	---

Justifiez votre choix :

b) Le groupe d'étudiant décide de lâcher la balle encore une fois de la hauteur $h = 400$ mm. Cette fois, ils mesurent $d = 426$ mm.

Premier lâché : $h = 400$ mm; $d = 436$ mm

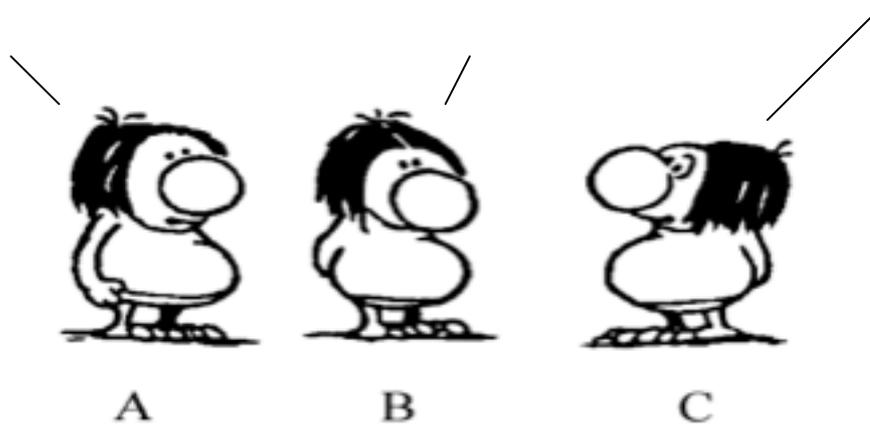
Second lâché : $h = 400$ mm; $d = 426$ mm

La discussion suivante à lieu entre les étudiants :

Nous en savons suffisamment. Nous n'avons pas besoin de répéter la mesure encore une fois

Nous devons lâcher la balle *juste encore une fois*

Trois lâchés ne sont pas suffisants. Nous devons lâcher la balle *encore plusieurs fois*.



Avec quel étudiant êtes-vous le plus d'accord?

A	B	C
---	---	---

Justifiez votre choix :

- c) On a donné un chronomètre aux étudiants. Il leur est demandé de mesurer le temps pris par la balle pour aller du bord de la table jusqu'à son premier contact avec le sol, après avoir été lâchée d'une hauteur de $h = 400$ mm.

Ils discutent de ce qu'ils ont à faire :

Nous pouvons lâcher la balle une fois de $h = 400$ mm et mesurer le temps. Une fois est suffisant.

Lâchons la balle deux fois de la hauteur $h = 400$ mm et mesurons le temps dans chacun des cas

Je pense que nous devrions lâcher la balle de $h = 400$ mm plus de deux fois et mesurer le temps dans chacun des cas.



A



B



C

Avec quel étudiant êtes-vous le plus d'accord?

A	B	C
---	---	---

Justifiez votre choix :

G.2.2. Situation D et E

Mais quel est ce liquide??????

Caractérisation d'un liquide inconnu par la
détermination de son indice optique

Rappels Théoriques

On peut schématiser la réfraction d'un faisceau lumineux passant d'un milieu à un autre milieu d'indice différent de cette manière:

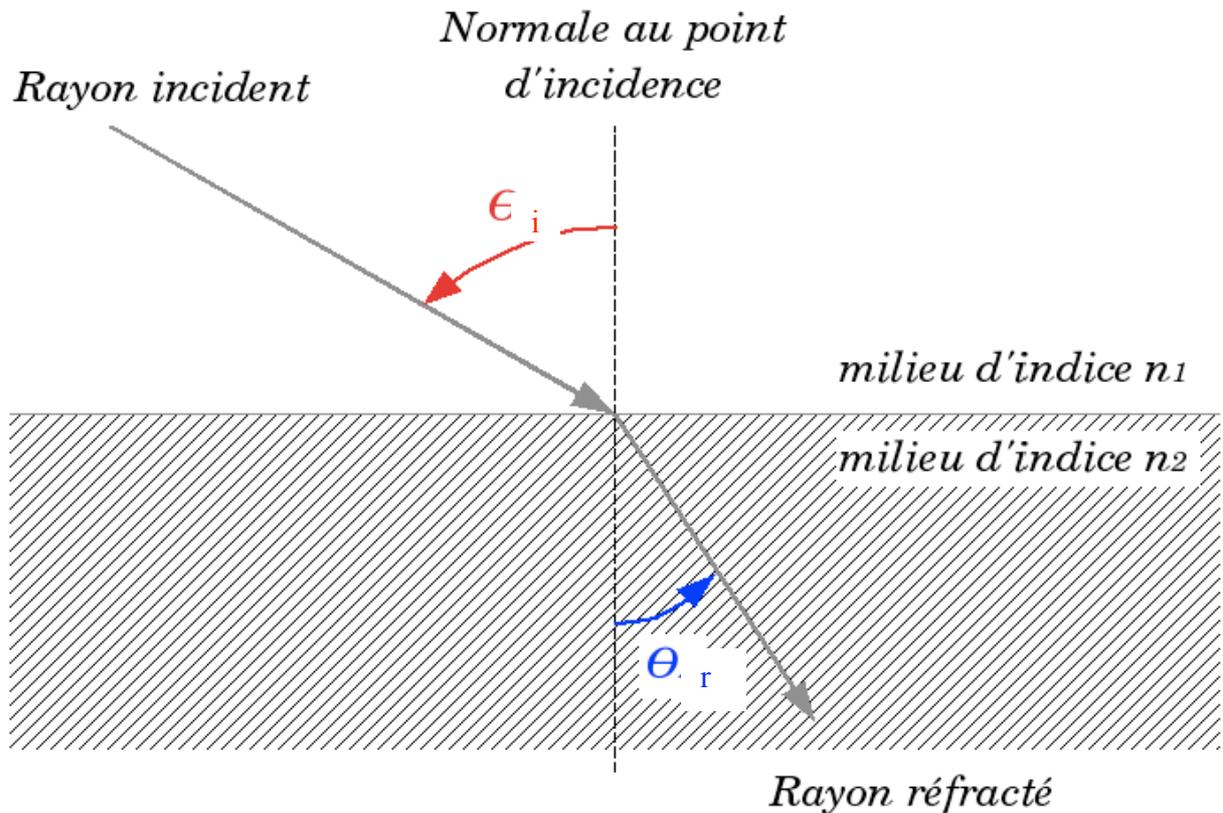


Schéma de la réfraction : le faisceau incident va être dévié selon la loi dite de Snell-Descartes.

- La **loi de Snell-Descartes** s'exprime sous cette forme:
$$n_1 * \sin(i) = n_2 * \sin(r)$$
- Dans le cas où le rayon incident se situe dans l'air, on peut écrire la loi de Snell-Descartes sous la forme d'une fonction :
$$\sin(i) = f(\sin(r))$$
- Lorsque le rayon de lumière est perpendiculaire à la $\frac{1}{2}$ cuve, alors on a :
Si $i = 0$, alors $r = 0$

Instructions :

Pour répondre à la question du titre, une des manières est de mesurer l'indice optique du liquide contenu dans ce $\frac{1}{2}$ cylindre.

Votre mission est d'élaborer un protocole expérimental permettant de mesurer cet indice. Vous allez ensuite évaluer la solution proposée par un binôme d'un autre groupe.

Ainsi vous aurez à élaborer un protocole expérimental qui sera transmis ultérieurement à l'un des binômes d'un autre groupe afin qu'il puisse déterminer sans ambiguïté l'indice de réfraction du liquide contenu dans le $\frac{1}{2}$ cylindre et donc qu'il puisse caractériser ce liquide.

I) Élaboration d'un protocole : (3/4h)

Principe :

Suivant la loi de Snell-Descartes, l'obtention de l'indice qui permettra de caractériser le liquide contenu dans le $\frac{1}{2}$ cylindre à partir de la liste d'indice fournie (cf. annexe), se fait par la lecture de l'angle réfracté en fonction de l'angle incident (ou l'inverse) grâce à la chaîne optique décrite dans l'annexe expérimentale.

Afin de vous aider à rédiger un protocole clair et complet, nous vous proposons de travailler en deux étapes:

Etape 1 :

- Ecrire les étapes du protocole de mesure d'un indice sur la fiche-réponse « Protocole d'expérimentation ». Le matériel est à votre disposition mais pas le $\frac{1}{2}$ cylindre.
- Appelez l'enseignant qui vous apportera la cuve $\frac{1}{2}$ cylindrique remplie avec un liquide inconnu, pour passer à l'étape 2.

Etape 2 :

- Vous avez à tester rapidement votre protocole (afin de vérifier si les consignes concernant la manipulation sont effectives) et ensuite le modifier (si cela est nécessaire).
- Une fois que votre expérimentation vous semble prête, rédigez-la de manière à ce que le binôme qui reçoit votre protocole puisse l'appliquer sans problème. Il s'agit donc d'être précis dans la description des étapes et complet.

II) Exécution et évaluation d'un protocole : (1h 1/4)

Une fois le protocole rédigé, vous le rendrez à l'encadrant de TP. Celui-ci vous transmettra un protocole provenant d'un autre groupe de TP. Vous suivrez *scrupuleusement* le protocole reçu, sans chercher plus d'indications de la part d'un autre binôme ou de l'enseignant. Pour cela vous remplirez la fiche-réponse Exécution-Evaluation, qui contient 2 parties :

1. Exécuter le protocole fourni et décrire ses résultats: (3/4 h)

Obtenir des résultats et conclure sur le type de liquide présent dans la cuve utilisée.

2. Évaluer ce protocole conçu par un autre binôme : (30 min)

Différences entre ce protocole et celui conçu par vous, et efficacité du protocole proposé, un

retour pour le binôme émetteur du protocole (changements à faire), représentation de la valeur n mesurée.

Une fois cette fiche-réponse rendue à votre enseignant, vous pouvez retourner au polycopié du TP sur la partie II, « Réflexion Totale ».

Annexe expérimentale

Liste d'indice optique de différents matériaux et liquides :

Vide	1,000
Air	1,00029
Oxygène liquide	1,221
Eau à température ambiante	1,333
Ethanol	1,360
Solution sucrée à 30%	1,380
Solution sucrée à 100%	1,410
Glycérine diluée	1,450
Plexiglas	1,490
Verre classique	1,520
polystyrène	1,550

Feuille de brouillon

G.2.2.1. Situation D : élaboration de protocole

Protocole d'expérimentation permettant d'obtenir l'indice optique du liquide contenu dans la cuve $\frac{1}{2}$ cylindrique (3/4h)

Pour vous aider à écrire votre protocole, les grandes étapes nécessaires sont données ci-dessous, complétez-les selon vos besoins.

Vous écrivez pour d'autres étudiants alors essayez d'être clair, synthétique et organisé dans votre rédaction. Ces feuilles seront ramassées à la fin du temps imparti et passées en tant que telle aux étudiants donc soyez propres, vous pouvez utiliser les feuilles de brouillons dans le photocopié « instructions » comme brouillons mais aussi pour garder une trace de votre travail pour la suite de cette étude.

1) Principe :

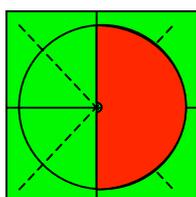
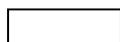
Utilisation de la loi de Snell-Descartes afin de déterminer l'indice d'un matériau par la mesure d'angle incident et réfracté. (Voir schéma théorique)

2) Matériel à utiliser : (cocher le matériel à utiliser)

- Lampe
- Diode Laser verte
- Carton avec ébauche de vernier
- Rapporteur
- Équerre
- Règle
- Calculatrice

3) Schéma de montage :

Source lumineuse



4) Réalisation du « rapporteur maison »

5) Montage et Réglage

6) Recueil des données

7) Traitement des données

8) Interprétation et conclusion sur le liquide :

G.2.2.2. Situation E : Exécution et Evaluation

Exécution et Evaluation d'un protocole d'un binôme d'un autre groupe (1h 15)

- I- Exécuter le protocole proposé jusqu'aux choix concernant le liquide étudié, sans y apporter de modifications
(Notez ici vos calculs, graphiques, résultats, ainsi que votre décision concernant le type de liquide)

Valeur d'indice trouvée :

Type de liquide utilisé (justifiez) :

II- Évaluation du protocole :

- a) Y a-t-il des différences entre le protocole que vous avez produit dans la première partie et ce protocole : dans les réglages à effectuer, le recueil et le traitement des données et enfin dans la manière de prendre une décision. Si oui, quelles sont ces différences ? Classez-les par ordre d'importance. Quel est d'après vous l'élément essentiel et nécessaire pour pouvoir prendre la meilleure décision possible ?

- b) Résumez votre évaluation en indiquant au binôme qui a créé ce protocole, les éléments à améliorer et vos commentaires personnels, afin que ce protocole puisse permettre d'obtenir de meilleures valeurs, c'est-à-dire de pouvoir décider au mieux du type de matériau utilisé.

c) En TP, trois binômes ont élaboré un protocole pour mesurer l'indice optique d'un liquide à l'aide du système optique étudié précédemment. Dans chacun des protocoles, une manière différente de prendre une décision, en fonction de la valeur obtenue, est décrite. Ces étudiants obtiennent des valeurs de n entre 1,35 et 1,50 avec une moyenne de 1,44 et décident ainsi :

1. « 1,44 n'est pas dans la liste, il faut que je reprenne des valeurs »
2. « 1,44 s'approche le plus de 1,45 dans la liste. Le liquide utilisé est donc de la glycérine. »
3. « Le liquide que nous avons utilisé est forcément un des 4 liquides dans l'intervalle 1,35 et 1,50. »
4. « Les liquides dans l'intervalle [1,35 ; 1,50] sont les plus probables. »

Avec laquelle de ces manières de décider êtes-vous le plus d'accord ? Argumentez vos points d'accord et de désaccord.

G.2.3. Protocole introduit pour la situation E, l'Evaluation

Les valeurs avec un chiffre correspondent aux étapes de l'acte de mesurage fourni aux étudiants. En écriture normale à la suite sont des actions susceptibles d'être utilisées par des étudiants. En italique sont les justifications du type d'action décrite pour des étudiants suivant le raisonnement type auquel correspond le protocole.

G.2.3.1. *Protocole relatif au raisonnement « Point »*

1) Principe

Grâce à la loi de Snell-Descartes, à l'aide d'une valeur du rayon incident et d'une valeur du rayon réfracté (cf schéma sur la feuille d'instruction) on obtient la valeur d'indice optique du liquide et on peut en déduire le type de liquide utilisé

2) Matériel à utiliser :

- X Lampe
- Diode Laser verte

L'étudiant choisit ici la lampe car il a remarqué qu'elle pouvait donner un rayon plus fin (car parallèle) que celui obtenu à l'aide du laser.

- X Carton avec ébauche de vernier
- Écran

L'écran ne sert à rien car on voit facilement le rayon sur le bord du rapporteur maison ou à travers la cuve.

- X Rapporteur
- X Équerre
- Règle

La règle n'est pas utile car on ne rapporte pas de point très loin et on ne trace pas de grande ligne, l'équerre est suffisante pour cela

- X Calculatrice

3) Schéma de montage

Placement de la cuve avec la face plane en face de la source lumineuse pour être dans les conditions d'observations simples.

4) réalisation du « rapporteur maison » :

- déterminer l'axe sur lequel la face plane du $\frac{1}{2}$ cylindre sera aligné. Cet axe correspondra à un angle de 90° . L'axe perpendiculaire à celui-ci correspondra à un angle de 0° . Les pointillés forment des angles à 45° avec ces axes.

Élément permettant de positionner correctement le matériel et de définir les réglages initiaux.

- utiliser le petit rapporteur pour placer un angle $i = 30^\circ$ (voir schéma en 5)).

Choix d'un seul angle incidence, 30° car cela permet de faire une valeur suffisamment éloignée de 0° (problèmes avec les angles proche de 0°) est suffisamment éloignée de la zone de réflexion totale.

5) Montage et réglage :

- Tirer la tirette au maximum afin d'obtenir le rayon le plus fin possible.

L'obtention d'un rayon très fin permet d'obtenir un rayon plus fin à la sortie de la cuve et ainsi de tracer le rayon sortant à l'aide d'un seul trait afin de pouvoir mesurer la valeur de l'angle r à l'aide du rapporteur.

- Placer le $\frac{1}{2}$ cylindre dans le cercle, la face plane du côté de la lampe
- Mettre le rayon au centre bien perpendiculaire à la face plane, de manière à ce que si $i = 0$ alors $r = 0$

Élément de réglage pour la valeur initial selon ce qui est donné dans la feuille d'instruction.

6) Recueil des données :

- Prendre une valeur de r , pour $i = 30^\circ$: après avoir tourné le vernier de manière à ce que le

rayon coïncide avec la marque pour i , marquer avec un crayon l'endroit où le rayon est ressorti.

On fait tourner le vernier et non la lampe afin de ne pas perdre la centration faite précédemment. Dans de très nombreux cas, les étudiants feront tourner la lampe.

• Enlever le $\frac{1}{2}$ cylindre, tracer la droite passant par la marque et le centre du vernier et prendre à l'aide du rapporteur la valeur de l'angle r .

La lecture de l'angle effectuée avec le rapporteur pourrait être plus explicité mais elle semble naturelle pour un étudiant de première année de Licence.

7) Traitement des données

• Transformer les angles en radian : $\theta_{\text{rad}} = (\theta_{\text{deg}} * \pi) / 180$

Si besoin est.

• Calculer n : $n = \sin(i) / \sin(r)$

Opération calculatoire simple directement tirée de la loi.

8) Décision

• Chercher dans la liste des différents indices, quel matériau a le même n (avec les mêmes chiffres significatifs) que le n trouvé.

Élément essentiel de la démarche « point » : recherche d'une valeur qui est la valeur vraie et qui correspond exactement avec une des valeurs de la liste.

• Si aucun des matériaux n'a de n identique à celui trouvé, reprendre une valeur pour le même i

Prise en compte d'une erreur qui serait dû à l'expérimentateur donc on fait jouer l'idée d'entraînement et de comparaison entre plusieurs valeurs pour sélectionner la meilleure possible.

• Si aucune valeur de n trouvée ne correspond, suivre la même démarche mais pour mesurer un r pour un autre i (toujours dans les environs de 30°).

Idée à la limite avec le raisonnement « mixte », l'étudiant recherche de nouvelles valeurs avec d'autres valeurs d'angles incidents. Mais c'est tout de même la recherche d'une valeur d'indice qui soit « bonne » c'est à dire qui corresponde exactement avec une des valeurs de référence.

G.2.3.2. Protocole relatif au raisonnement « Mixte »

1) Principe :

Les étudiants font références à la loi sous la forme calculatoire, mais aussi sous sa forme de fonction : la valeur vraie de l'indice doit être définie par un ensemble de points qui doivent donner une moyenne la plus proche possible de cette valeur vraie.

2) Matériel

o X Lampe

o Diode Laser verte

La lampe donne l'avantage d'ajuster le rayon lumineux à partir d'un réglage intermédiaire du système optique pour obtenir un faisceau ni trop large ni trop faible.

o X Carton avec ébauche de vernier

o X Rapporteur

o X Équerre

o (X) Règle

Utile pour tracer les graduations sur le cercle extérieur à partir du rapporteur

o X Calculatrice

3) Montage

Placement de la cuve avec la face plane en face de la source lumineuse pour être dans les conditions d'observations simples.

4) Élaboration du « rapporteur maison » (vernier)

- Utiliser le rapporteur pour tracer les graduations qui forment le vernier
- Graduer le vernier en degré d'angle de 1 en 1 pour la mesure de r et de 5 en 5 pour la mesure de i . On peut se limiter à faire 2 quarts opposés du cercle (pour mesurer r et i).

Le traçage de graduation sur le système de mesure est un élément nécessaire pour pouvoir effectuer une infinité de lecture. Il est fondamental dans l'idée de collecter un ensemble de valeur. Comme on cherche à pouvoir lire un maximum de valeurs possibles avec le moins d'erreurs possibles, on gradue avec le minimum d'écart entre chacune des graduation pour la lecture de r . Pour la valeur de i on sait que l'on va prendre des valeurs tous les 5° donc on gradue tous les 5° .

5) réglage du rayon lumineux

- Régler la tirette de la lampe de manière à obtenir un rayon le plus intense possible tout en le gardant aussi fin que possible.

On cherche à obtenir un rayon le plus fin possible pour obtenir une valeur lue la plus exacte possible et en même temps à avoir un rayon le plus lisible possible (donc suffisamment intense) après avoir traversé la cuve.

- Placer la cuve $\frac{1}{2}$ cylindrique sur le vernier, la face plane du côté de la lampe.
- Positionner la lampe suffisamment loin pour pouvoir tourner le vernier sans la toucher et le plus proche possible pour que faisceau lumineux soit le plus intense possible en sortant du vernier.

On veut pouvoir garder les réglages initiaux autant que possible, donc on doit éloigner la lampe suffisamment pour que lorsque le rapporteur maison tourne il ne soit pas gêné par la lampe. En même temps la lampe doit rester le plus proche possible afin de garder un maximum d'intensité à la sortie de la cuve et donc une lecture simple de la position du rayon.

- Positionner le rayon lumineux bien perpendiculaire et au centre de la face plane, de manière à ce que si $i = 0$ alors $r = 0$.

Élément de réglage pour la valeur initial selon ce qui est donné dans la feuille d'instruction.

- A partir de maintenant vous ne devez plus toucher à la lampe. Pour prendre les différentes valeurs d'angles, vous ne tournerez que le vernier avec le $\frac{1}{2}$ cylindre situé dessus.

6) Recueil des données :

- Prendre une valeur de r chaque fois que i varie de 5° , jusqu'à la disparition du rayon.

On cherche à prendre un maximum de valeur (pas d'idée sur la nature de ces valeurs, c'est un ensemble de valeurs singulière).

- Faire attention quand on tourne le vernier de bien faire passer le rayon incident au centre la face plane.

7) Traitement des données

- Faire un tableau des valeurs d'angle en radian obtenus (r en fonction de i)

L'utilisation d'un tableau permet d'avoir une idée générale de l'ensemble de valeur et de les traiter de la même manière. Il existe peut-être aussi une référence à des situations déjà observé dans l'enseignement secondaire (en TP ou en TD).

- Passez au sinus

- Calculer dans chaque cas, la valeur de n , grâce à l'équation: $n = \sin(i) / \sin(r)$

Le calcul dans chacun des cas relève du traitement des valeurs comme celui d'un ensemble de valeurs singulières, d'où le calcul de chaque n puis ensuite de la moyenne de ces n .

- Calculer la moyenne d'indice obtenu en y intégrant toutes les valeurs

On intègre toutes les valeurs car on ne peut justifier de l'élimination de certaines valeurs extrêmes.

8) Décision

- Comparer la moyenne obtenue avec les valeurs présente sur la liste d'indice. 2 cas sont possibles :

a. Elle correspond à une des valeurs

b. Elle est comprise entre deux valeurs d'indice

Dans le cas a. le matériau étudié correspond à celui de l'indice de la liste.

Dans le cas b. le matériau étudié correspond à l'indice dont il est le plus proche.

On cherche à retrouver la « valeur vraie » de la grandeur qui doit faire parti de la liste d'indice. Donc si la valeur moyenne correspond à une seule valeur c'est la meilleure situation. Si elle ne correspond pas (cas normal du à des erreurs mais on ne sait pas lesquelles) c'est qu'on est proche de la vraie valeur, donc l'indice le plus proche correspond.

G.2.3.3. Protocole relatif au raisonnement « Set »

1) Principe :

Les étudiants vont utiliser la loi de Snell-Descartes afin de récolter des valeurs qui vont représenter la grandeur mesurée (indice d'un liquide). L'obtention d'une valeur de la grandeur se fait à l'aide de la fonction définie par la loi et d'une représentation graphique.

2) Schéma du phénomène physique théorique: voir la feuille annexe

o X Lampe

o Diode Laser verte

Il faut utiliser la lampe car elle permet d'obtenir un rayon ayant une largeur égale durant toute la traverse dans le liquide. Elle est surtout plus simple à placer que le laser.

o X Carton avec ébauche de vernier

o X Rapporteur

o X Équerre

o X Règle

La règle est utile ici pour tracer les graduations mais aussi pour effectuer le graphique et tracer la droite passant par les différents points.

o X Calculatrice

(+ feuille millimétrée)

L'ajout d'une feuille millimétrée est nécessaire pour pouvoir accomplir correctement le protocole c'est à dire tracer le meilleur graphique possible et aussi diminuer les erreurs dans le traitement des données.

3) Montage

Placement de la cuve avec la face plane en face de la source lumineuse pour être dans les conditions d'observations simples.

4) Réalisation du « rapporteur maison »

• Graduer tous les 5 degrés de 0° jusqu'à 90° à l'aide du rapporteur, sur le bord du quart de cercle où vous mesurerez i . Sur le quart où vous mesurerez r (celui opposé au précédent), graduez tous les 3 degrés jusqu'à 90° .

Remarque : 90° doit se trouver sur l'axe parallèle à la face plane du $\frac{1}{2}$ cylindre et 0° sur l'axe perpendiculaire à la face plane.

La lecture de i se fait sur des valeurs multiples de 5 donc il suffit de graduer de 5 en 5 la partie sur laquelle on lit i . Les valeurs de r qui seront obtenues peuvent être prises de 0 à 90° . L'incertitude de lecture due à la largeur du rayon incite à ne pas graduer de 1 en 1 (long et possibilité d'erreur lors du traçage) et d'effectuer des graduations avec un intervalle inférieur à 5° . Des graduations avec un intervalle de 3° semblent donc un bon compromis pour obtenir des valeurs avec une incertitude minimum sur la lecture.

5) Montage et Réglage

• Faire une image à l'infini avec la lampe. (Enlever la fente et projeter le rayon sortant de la lampe à plus de 3-4 m sur un mur et régler l'image à l'aide de la tirette à l'arrière de la lampe, afin qu'elle soit nette. Enfin replacer la fente sur la lampe.)

Le réglage à l'infini du système optique de la lampe permet d'obtenir des faisceaux parallèles afin de réduire les erreurs dues aux différentes déviations entrant dans la cuve avec des

angles légèrement différents.

- Placer le $\frac{1}{2}$ cylindre sur le vernier, la face plane du côté de la lampe (comme sur le schéma de montage)

Face plane du côté de la source lumineuse pour pouvoir lire directement r (sans calcul intermédiaire) et éviter le phénomène de réflexion totale.

- Marquer le centre du vernier sur la table en le perçant au croisement des axes (trou dans le vernier + marque au stylo sur la table). Ne plus déplacer le vernier durant le réglage.

Cette marque permet d'avoir un repère pour pouvoir tourner le rapporteur-maison sans le déplacer afin de pouvoir garder les réglages initiaux et ainsi d'éviter les erreurs dues à des problèmes de centration.

- Positionner le rayon lumineux bien perpendiculaire et au centre de la face plane, de manière à ce que si $i = 0$ alors $r = 0$.

Ce réglage doit permettre d'être sûr que le rayon passe bien par le centre et donc que le rayon sortant soit réfracté de manière quasi-identique sur toute sa largeur.

- À partir de ce moment, la lampe et le centre du vernier ne doivent pas bouger de place, le vernier tournera autour de ce centre de rotation. Attention à placer la lampe suffisamment proche du vernier mais à bonne distance pour ne pas gêner la rotation de la feuille de papier. *On ne fait pas bouger la lampe afin d'éviter de décentrer l'entrée du rayon dans la demi-cuve.*

6) Recueil des données

- Prendre une valeur de r pour $i = 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ, 55^\circ$ et 65° . Quand le rayon se situe entre deux graduations, on choisit celle qui semble être la plus proche.

L'ensemble de valeur est limité à 7 afin de pouvoir avoir le temps de prendre chacune des valeurs avec suffisamment de soin. La valeur maximale doit correspondre à la valeur limite pour laquelle la valeur de r correspondante soit lisible. L'indication du choix entre deux valeurs doit permettre d'obtenir un choix régulier de la part du lecteur et de pouvoir estimer correctement l'incertitude sur la lecture.

- La prise de mesure se fait en tournant le vernier autour de son centre, en vérifiant que le rayon passe bien par le centre du $\frac{1}{2}$ cylindre et que ce même centre du vernier n'as pas bougé de sa position initiale.

- A chaque lecture de valeur de r , déterminer la largeur du rayon réfracté (l_{ray})

La lecture de la largeur du rayon réfracté doit permettre ensuite d'estimer l'incertitude sur la lecture de l'angle réfracté

- Placer les valeurs de i , r et l_{ray} dans un tableau

L'utilisation d'un tableau doit permettre de faciliter le traitement des données et d'avoir une vision d'ensemble des données.

7) Traitement des données

- Compléter le tableau obtenu avec : une colonne $\sin i$, une colonne $\sin r$

Remarque : vérifiez si votre calculette est bien sur le mode degré.

- Ajouter une colonne portant l'incertitude de la lecture de l'angle (Δr), tel que :

$$\Delta r = \theta l_{\text{ray}} + 1,5 * (\pi / 180)$$

Où l'angle correspondant à l_{ray} vaut : $\theta l_{\text{ray}} = \arctan (l_{\text{ray}} / \text{rayon du } \frac{1}{2} \text{ cylindre})$ et l'incertitude dans le choix entre deux graduations vaut $3/2$.

Ce calcul doit permettre de prendre en compte la largeur du rayon sortant et l'incertitude du à la largeur de l'intervalle de graduation.

- Ajouter une colonne où on passe l'incertitude au sinus tel que : $\Delta \sin(r) = \Delta r \cos(r)$

L'incertitude est calculée sur chacune des valeurs et transposée au sinus pour pouvoir être traitée.

- Tracer un graphique de la relation $\sin(i) = f(\sin(r))$, sur la feuille de papier millimétré avec les valeurs obtenues dans le tableau.

Attention, vous devez être le plus soigneux possible lors du placement des points
Le soin apporté au traçage de ce graphique est important et joue un rôle dans le résultat obtenu car il peut diminuer l'exactitude de l'indice obtenu.

- A chaque point tracer son segment horizontal de taille $\Delta \sin(r)$ correspondant (chaque segment est centré sur le point).
- Tracer deux droites passant par tous les segments ainsi que par l'origine. Si une telle droite est impossible, exclure le minimum de points possible. La première droite doit avoir la pente la plus forte possible (n_{\max}), la seconde la pente la plus faible possible (n_{\min}).

Le traçage des deux pentes permet d'encadrer l'ensemble des valeurs mesurées et donc la valeur d'indice de la grandeur mesurée. Le fait de passer par les barres d'incertitudes doit permettre de prendre en compte les incertitudes expérimentales dues, entre-autre, à la lecture des angles.

- Calculer la pente de chacune des deux droites.

8) Interprétation et conclusion sur le liquide :

- Chercher dans la liste, les indices contenus dans l'encadrement (n_{\min} ; n_{\max}) obtenus.

On cherche les différentes valeurs d'indice du tableau présentes dans l'encadrement afin d'avoir une idée du type de liquide que peut-être le liquide de la cuve.

- Exclure ceux qui ne peuvent pas correspondre au matériau qui est étudié (liquide/solide)
- S'il existe plusieurs possibilités, alors le choix est impossible, même si la valeur moyenne semble proche d'un des indices.

Si l'intervalle contient plusieurs valeurs d'indice cela signifie que l'ensemble de valeurs obtenues peut correspondre à chacun de ces indices. Il est donc nécessaire de réduire les incertitudes dues à l'expérimentation afin de réduire l'encadrement et le nombre de valeurs qui pourraient correspondre à l'indice de réfraction du liquide mesuré.

G.2.4. Les schèmes de codages dans la situation Q

G.2.4.1. Pour la question RD

Répétition de valeurs (Repeating Data)

code P/S Catégorie

N00 Pas de réponse

U00 impossible de coder la réponse

A Je pense que nous devrions lancer la balle encore quelques fois de la même hauteur et mesurer d à chaque fois parce que ...

A00 (pas de raisons données)

A01 (pas capable de coder la raison donnée)

A1 *l'habitude prise pour faire la mesure doit permettre de réduire les erreurs des au mesurage et d'obtenir des valeurs plus proches les unes des autres*

A10 P s'entraîner, permettra d'obtenir une mesure meilleur ou plus précise

A11 P s'entraîner, réduira l'erreur systématique sur la mesure

A12 P vous devez répéter jusqu'à ce que les valeurs lues soient proches entre elles

A13 augmenter le nombre de valeurs permet de diminuer l'erreur liée aux mesures

A2 *recherche d'une moyenne avec une faible dispersion des valeurs*

A20 S vous avez besoin de plus de lectures afin d'obtenir une moyenne/ espérance

A21 S vous avez besoin d'obtenir une espérance/ moyenne fiable/plus précise

A22 S vous avez besoin d'obtenir une moyenne et une dispersion/une incertitude

A23 S vous avez besoin d'obtenir une moyenne et une dispersion/incertitude meilleure/ plus étroite

A24 S vous avez besoin d'obtenir une moyenne afin d'être au plus proche de la valeur vraie

A3 *plusieurs valeurs pour obtenir des valeurs identiques et valider ainsi la*

valeur moyenne comme la valeur vraie

- A30 P quelques lancés en plus permettent d'obtenir la même (i.e. correcte) réponse
- A31 plus de mesures ; identiques ; permet de trouver une moyenne plus juste /plus précise/ la meilleur valeur approximative
- A32 refaire la même manipulation pour vérifier si la première mesure est correct
- A33 plusieurs lancés permettent d'être plus sûr de la mesure ; car il existe des imprécisions
- A34 plus le nombre de mesure est important plus la valeur moyenne est bonne / fiable / proche de la "vraie" valeur
- A35 plusieurs mesures; dans les mêmes conditions; permettent d'obtenir une meilleur précision
- A36 un maximum de mesures pour obtenir la meilleur précision moyenne et l'écart type sur un ensemble de valeurs
- A37 plusieurs mesures permettent d'avoir une meilleure approche de la réalité
- A4 *plusieurs valeurs pour obtenir des valeurs différentes*
- A40 P vous avez besoin d'obtenir une variété de résultats
- A50 une mesure est approximative
- A6 *il faut faire plusieurs mesure pour réduire les erreurs / incertitudes et être plus précis*
- A60 P vous avez à le faire plusieurs fois (pas de raisons fournis)
- A62 P vous devez toujours faire trois mesures
- A63 il faut prendre plusieurs mesures car il peut y avoir des incertitudes/ pour minimiser les incertitudes
- A64 P les réponses obtenues sont plus précises, plus proches de la vraie valeur
- A65 une mesure n'est pas suffisante car il peut y avoir des erreurs, il faut le faire plusieurs fois pour comparer les valeurs obtenues
- A66 plusieurs lancés pour minimiser les incertitudes et obtenir une valeur moyenne plus précise et moins erronée qu'avec un seul lâché
- A67 plusieurs valeurs pour éliminer les valeurs extrêmes dues aux erreurs et obtenir une moyenne pour minimiser les erreurs restantes

- A7 *nécessité d'avoir une idée quantitative des incertitudes/dispersions pour les réduire*
- A72 S on a besoin de déterminer la dispersion / l'incertitude
- A73 S on a besoin de déterminer une dispersion / incertitude plus précise plus étroite
- A74 P vous avez besoin de déterminer l'incertitude afin d'être le plus proche de la vraie valeur
- A75 permet de déterminer l'ordre de l'incertitude liée à la mesure du temps
- A8 *la moyenne de plusieurs valeurs permet de les comparer, de réduire les incertitudes et d'améliorer la précision*
- A80 on a besoin du plus de mesures possible afin de pouvoir calculer la valeur moyenne car il existe des incertitudes / les valeurs sont dispersés
- A81 il existe toujours des incertitudes liées à la manipulation donc il faut prendre plusieurs mesures
- A82 répéter les mesures permet de diminuer les erreurs dues aux Manipulations / les incertitudes et d'avoir une meilleure précision
- A83 comparer plusieurs résultats permet d'obtenir une bonne précision
- A84 faire la moyenne de plusieurs valeurs permet d'obtenir la mesure la plus exacte/précise possible
- A85 une moyenne faite sur plusieurs mesures permet de diminuer les Incertitudes / les différentes inexactitudes
- A86 pour faire une étude statistique et diminuer les incertitudes / les erreurs
- A87 il existe des incertitudes donc une moyenne de plusieurs valeurs est plus réaliste et plus précise

B Pourquoi? Nous avons déjà le résultat. Nous n'avons pas besoin de relancer la balle, parce que...

- B00 P (pas de raisons données)
- B01 P (pas capable de coder la raison donnée)
- B3 *plusieurs valeurs donneront un résultat identique car valeurs constantes*
- B30 P répéter la mesure fournira le même résultat
- B31 données physiques constantes dans l'équation donc résultat constant

- B4 *perte de transparence dans la compréhension du résultat*
- B40 P répéter la mesure fournira des résultats différents ce qui nous embrouillera
- B5 *problème de temps et d'énergie*
- B50 P répéter la mesure est une perte de temps et d'énergie

C **Nous devons relancer la balle sur la pente encore une fois à partir de la même hauteur, parce que ...**

- C00 (pas de raisons données)
- C01 (pas capable de coder la raison donnée)
- C1 *l'habitude prise pour faire la mesure doit permettre de réduire les erreurs dues au mesurage et d'obtenir des valeurs plus proches les unes des autres*
- C10 P l'entraînement permettra d'obtenir une valeur plus sûr
- C11 P l'entraînement réduira l'erreur systématique de la mesure
- C2 *recherche du calcul d'un moyenne pour diminuer les erreurs/incertitudes*
- C20 S vous pouvez calculer la moyenne de deux mesures
- C21 S vous pouvez obtenir une moyenne plus précise/plus fiable
- C22 une moyenne faite sur plusieurs mesures, permettent de diminuer les incertitudes
- C3 *les valeurs doivent être constantes donc le résultat ne devrait pas changer*
- C30 P vous avez besoin de voir si / de s'assurer qu'on obtient le même (i.e.correct) resultat
- C31 P permet d'avoir 2 valeurs plus ou moins proches ; si trop éloignées l'une de l'autre, recommencer le lancé
- C4 *recherche de plusieurs valeurs*
- C40 P on a besoin d'obtenir une variété de résultats
- C5 *problèmes de temps et d'énergie*
- C50 P de nombreuses répétitions de la mesure sont des pertes de temps et d'énergie
- C51 P de nombreuses répétitions sont souhaitables, mais prennent trop de temps
- C6 *pas de nécessité de prendre en compte les incertitudes*
- C60 incertitudes négligeables
- C7 *recherche de précision*

C70 permet d'avoir plus de précision

G.3. Deuxième Expérimentation

G.3.1. la situation T0

Nom : _____ **Prénom :** _____
Filière/Majeure(s) : _____

Votre binôme en TP d'optique : _____

Votre Baccalauréat : _____
Série : _____ **spécialité :** _____ **mention :** _____ **année**
d'obtention : _____

Si vous avez effectué un autre cursus entre votre baccalauréat et aujourd'hui, précisez-le ici : _____

Questionnaire : Exactitude d'une mesure

Instructions :

Tout d'abord, complétez la partie en haut de cette page.

Vous trouverez 7 questions dans ce questionnaire. Chaque question doit vous prendre au maximum 5 minutes. Vous devez pour chaque question justifier votre réponse dans la partie inférieure de la page. Vous n'avez pas le droit de modifier votre réponse sur la page de la question mais vous pouvez signaler les corrections que vous aimeriez faire, sur la dernière page.

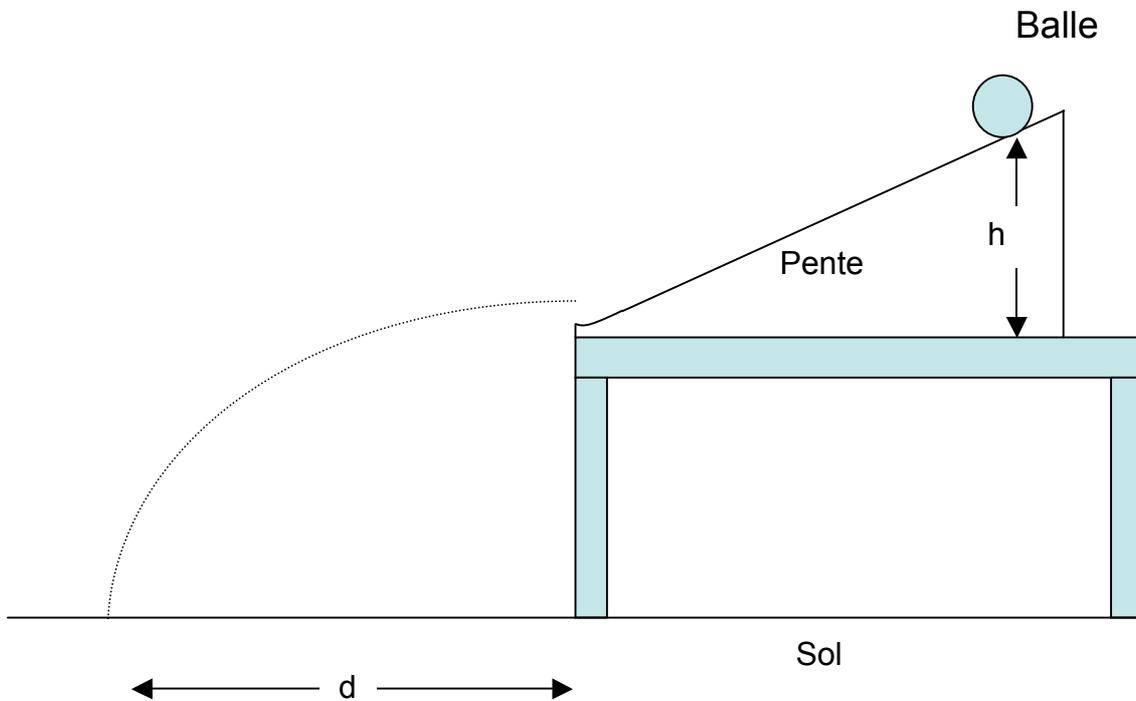
Concernant vos justifications, ne vous reportez pas à une justification donnée précédemment, écrivez-là, même si vous avez le sentiment de vous répéter.

Contexte :

Une expérience est effectuée en TP de physique. Un plan incliné en bois est fixé sur le bord d'une table. Une balle est lâchée d'une hauteur h sur la table suivant le schéma ci-dessous.

Cette balle quitte le plan incliné de manière horizontale et retombe sur le sol à une distance d du bord de la table. Un papier spécial est placé sur le sol et permet d'obtenir une marque là où la balle est entrée en contact avec le sol.

On demande aux étudiants de mesurer comment la distance au sol, d , varie quand la hauteur, h , varie. Un mètre est utilisé pour mesurer d et h .



Question 1 :

un groupe d'étudiants détermine d pour $h = 400$ mm. Ils lâchent la balle le long de la pente à une hauteur $h = 400$ mm et, à l'aide du mètre, ils mesurent $d = 436$ mm.

La discussion suivante a lieu entre les étudiants :

Je pense que nous devrions lancer la balle *encore quelques fois* de la même hauteur et mesurer d à chaque fois.

Pourquoi? Nous avons déjà le résultat. Nous n'avons pas besoin de relancer la balle.

Nous devons relancer la balle sur la pente *encore une fois* à partir de la même hauteur.



A



B



C

Avec quel étudiant êtes-vous le plus d'accord?

A	B	C
---	---	---

Justifiez votre choix :

Question 2 :

Le groupe d'étudiant décide de lâcher la balle encore une fois de la hauteur $h = 400$ mm. Cette fois, ils mesurent $d = 426$ mm.

Premier lâché : $h = 400$ mm; $d = 436$ mm

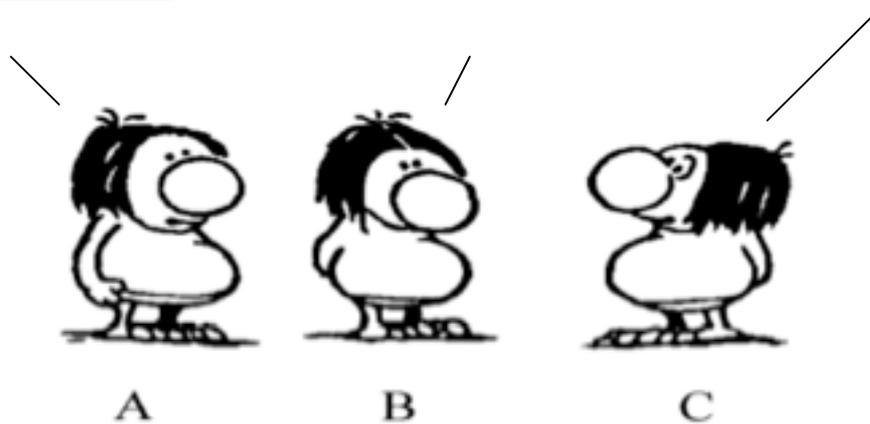
Second lâché : $h = 400$ mm; $d = 426$ mm

La discussion suivante à lieu entre les étudiants :

Nous en savons suffisamment. Nous n'avons pas besoin de répéter la mesure encore une fois

Nous devons lâcher la balle *juste encore une fois*

Trois lâchés ne sont pas suffisants. Nous devons lâcher la balle *encore plusieurs fois*.



Avec quel étudiant êtes-vous le plus d'accord?

A	B	C
---	---	---

Justifiez votre choix :

Question 3 :

Les étudiants continuent à lâcher la balle le long de la pente avec une hauteur $h = 400\text{mm}$.

Leurs résultats après 5 lâchés sont :

<u>Lâchés</u>	<u>d (mm)</u>
1	436
2	425
3	440
4	425
5	434

La discussion suivante a lieu entre les étudiants concernant leur valeur finale de d :

Je me demande ce
que l'on devrait
écrire
comme résultat final
pour la valeur de d



Inscrivez ce que vous pensez que les étudiants devraient choisir comme résultat final pour la valeur de d :

Justifiez votre choix :

Question 4 :

Deux groupes d'étudiants comparent leurs résultats pour d , obtenus par des lâchés successifs de la balle avec une hauteur de $h = 400$ mm.

Leurs résultats obtenus pour 5 lâchés sont les suivants :

<u>Lâché</u>	<u>Groupe A</u> <u>d (mm)</u>	<u>Groupe B</u> <u>d (mm)</u>
1	444	441
2	432	460
3	424	410
4	440	424
5	<u>435</u>	<u>440</u>
Moyenne :	435	435

La discussion suivante a lieu entre les différents groupes :

Nos résultats sont meilleurs.
Ils sont tous entre
424 mm et 444 mm
Les vôtres s'étalent entre 410 mm
et 460 mm



A

Nos résultats sont
aussi bon que les vôtres.
Notre moyenne est la même
que la vôtre : nous aussi nous
avons obtenu 435 mm pour d .



B

Je pense que
les résultats
du groupe B
sont meilleurs
que les résultats
du groupe A.



C

Avec lequel de ces groupes êtes-vous le plus d'accord :

A	B	C
---	---	---

Justifiez votre réponse :

Question 5 :

Deux autres groupes d'étudiants comparent leurs résultats de d qu'ils ont obtenu en lâchant la balle avec $h = 400$ mm. Les résultats de 5 de leurs lâchés sont les suivants :

<u>Lâché</u>	<u>Groupe A</u> <u>d (mm)</u>	<u>Groupe B</u> <u>d (mm)</u>
1	440	432
2	438	444
3	433	426
4	422	433
5	<u>432</u>	<u>440</u>
Moyenne :	433	435

Notre résultat est le même que le vôtre

Non, votre résultat n'est pas le même que le nôtre.



A



B

Avec lequel de ces groupes êtes-vous le plus d'accord :

A

B

Justifiez votre réponse :

Question 6 :

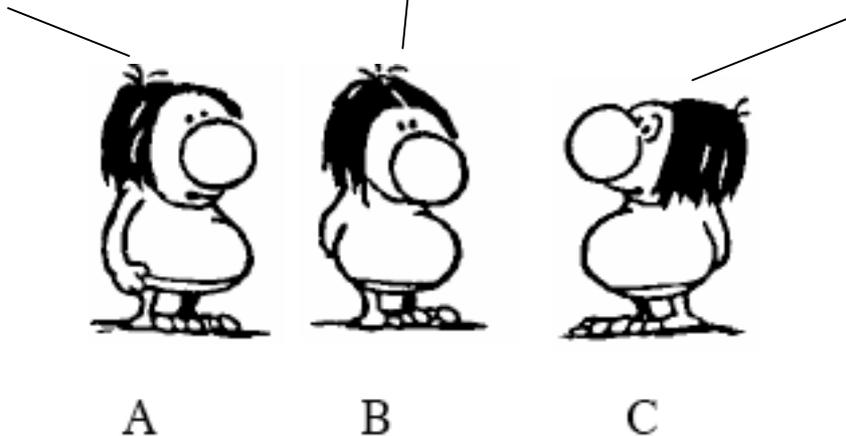
Les étudiants reçoivent un chronomètre et il leur est demandé de mesurer le temps que la balle met pour toucher le sol à partir de l'extrémité basse du plan incliné après avoir été lâchée avec une hauteur $h = 400$ mm.

La discussion suivante a lieu entre les différents groupes :

Nous pouvons lancer la balle une fois d'une hauteur $h = 400$ mm et mesurer le temps.
Une seule fois est suffisante.

Lançons la balle *deux fois* d'une hauteur $h = 400$ mm et mesurons le temps dans chacun des cas.

Je pense que nous devrions lâcher *plus de 2 fois* d'une hauteur $h = 400$ mm et mesurer le temps dans chacun des cas.



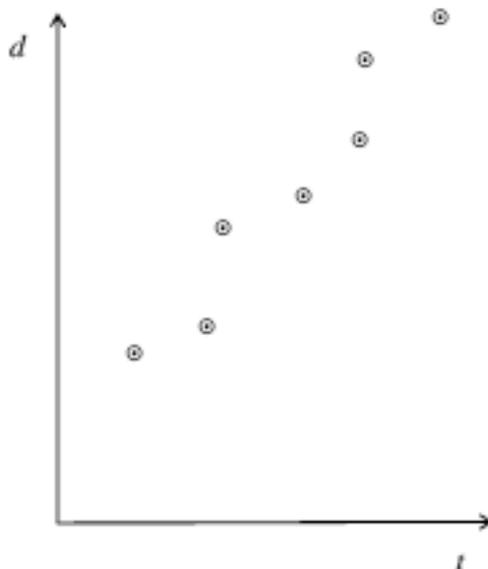
Avec lequel de ces groupes êtes-vous le plus d'accord :

A	B	C
---	---	---

Justifiez votre réponse :

Question 7 :

Un groupe d'étudiants recueille des données pour différentes hauteurs et les utilise pour tracer un graphe. Sur ce graphe, tracez la droite qui correspond le plus à ces données.



Expliquez soigneusement ce que vous avez fait et pourquoi.

Commentaires :

Écrivez ici les changements que vous aimeriez apporter à vos réponses à certaines des questions précédentes.

G.3.2. Exemple de grille d'analyse

Cette grille est tirée de la grille d'analyse de la situation T1-T2 (expérience d'optique) pour l'étape 5. Les thèmes sont présentés ici en gras. Les catégories en italique sont reprises directement des unités de réponses sélectionnées.

Code	Catégorie	P-E	M-A	S-I
500	pas de réponse	X	X	X
5U00	pas compréhensible ou hors-sujet			
5U01	rappel de la loi de Snell-Descarte	X	X	X
5U02	donne des indications de traitements de données	X	X	X
5U03	<i>on pourra utiliser la loi de Snell-Descartes</i>	X	X	X
5S04	<i>le calcul de la moyenne permet aussi de déterminer les incertitudes</i>			1
5U05	<i>l'angle de réfraction mesuré est un angle de réfraction car le rayon n'est pas dévié quand il passe par la face arrondie du ½ cylindre</i>	X	X	X
5U06	<i>on recueille des résultats que nous a donné la manipulation</i>			
5U07	Description de ce que sont les angles d'incidences et les angles réfractés			
5..1-2	nombre de valeurs à prendre			
5U10	<i>la valeur de l'angle mesuré correspond au nombre de graduations séparant le rayon de l'axe 0° et de multiplier ce chiffre par 3°</i>	1	1	1
5P11	<i>prendre une seule valeur</i>	1		
5PM12	<i>vérifier une seconde fois si on obtient la même valeur dans les mêmes conditions</i>	1	1	
5PM13	<i>Prendre une autre valeur de r avec une autre valeur de i</i>	1	1	
5P14	<i>prendre une valeur de i pour obtenir une valeur de r correspondant exactement à une graduation (i=45°, r=30°)</i>	1		

5P15	<i>Obtenir / mesurer une valeur de r à la sortie de la cuve</i>	1		
5P16	<i>mesurer l'angle i et l'angle r correspondant à la sortie / (valeur d'angle par rapport à la normale)</i>	1		
5MS17	<i>prendre différentes valeurs de r pour une même valeur de i</i>		1	1
5S18	<i>prendre des valeurs de 3° en 3°</i>			1
5MS19	<i>prendre plusieurs valeurs (moins de 5) de r en fonction de différentes valeurs de i judicieusement choisies</i>		1	1
5MS20	<i>prendre au minimum des valeurs de r pour i variant de 15° en 15°</i>		1	1
5MS21	<i>modifier les valeurs de i en faisant tourner le plateau et relever les différentes valeurs de r correspondantes</i>		1	1
5MS22	<i>on relève r pour i = 0°, 30°, 60°, 90°</i>		1	1
5MS23	<i>prendre 5/10 valeurs de r en faisant varier i de 0° à 90°</i>		1	1
5MS24	<i>prendre des valeurs de 9° en 9°</i>		1	1
5MS25	<i>mesurer la valeur de r pour i variant tous les 6°</i>		1	1
5S26	<i>prendre une dizaine de valeurs de 0° à 90°</i>			1
5MS27	<i>mesurer r pour i = 30, 60, 45° afin d'obtenir des résultats entiers</i>		1	1
5MS28	<i>prendre plusieurs valeurs de r en fonction de différents i en faisant tourner le plateau</i>		1	1
5MS29	<i>Prendre 3/5 valeurs de r pour 3/5 valeurs différentes de i</i>			
5..3	Collection jusqu'à condition limite			
5MS30	<i>prendre un maximum de valeurs jusqu'à ce que le rayon disparaisse de la zone de réfraction</i>		1	1
5MS31	<i>prendre des valeurs de r pour i variant de 10° en 10° jusqu'à la réflexion totale</i>		1	1
5MS32	<i>prendre plusieurs valeurs et déterminer l'angle limite</i>		1	1
5MS33	<i>mesurer l'angle de réfraction pour i = 20, 30, 45, 70, 90</i>		1	1

	<i>(angle limite)</i>			
5MS34	<i>prendre des valeurs jusqu'à la réflexion totale</i>		1	1
5MS35	<i>il y a réflexion totale pour un angle supérieure à 45°</i>		1	1
5M36	<i>Mesurer l'angle limite, lorsqu'il y a réflexion totale</i>		1	
5..4-5	Description de la manière de recueillir les données			
5U40	les étudiants donnent les valeurs qu'ils ont obtenues lors des tests	X	X	X
5U41	<i>prendre plusieurs valeurs de r en fonction de i mais sans expliquer combien ni comment</i>		1	1
5U42	<i>il y a réflexion totale à partir d'un angle x°.</i>	X	X	X
5U43	<i>faire bien attention à ce que le rayon incident passe par le centre de la face plane</i>	X	X	X
5U44	<i>ne pas prendre de valeurs de i inférieur à 15°</i>	X	X	X
5U45	<i>il faut être précis dans la lecture des valeurs (et les inscrire sur le papier)</i>		1	1
5P46	<i>impossible de garder une valeur que ne correspond pas exactement avec une graduation car sinon, on est pas sûr de la valeur de l'angle</i>		1	
5P47	<i>description de ce qu'on mesure (i et r) et leur place (rayon incident et réfracté)</i>		1	
5P48	<i>orienter le plateau de manière à obtenir avec un i arbitraire, une valeur de r</i>		1	
5P49	<i>mesurer l'angle incident et l'angle réfracté afin de pouvoir appliqué la loi de Snell-Descartes</i>		1	
5P50	<i>faire tourner la cuve et mesurer l'angle d'incidence par rapport à la normale</i>		1	
5P51	<i>sans refaire tourner la lampe mesurer l'angle réfracté par rapport à la normale</i>		1	
5P52	<i>lire la valeur de r par rapport à la normale, lorsque i=45°</i>		1	

5P53	<i>choisir un angle i de manière à obtenir un rayon réfracté le plus net possible à la sortie</i>	1		
5M54	<i>prendre différentes valeurs de r pour différentes valeurs de i (moins de 5), mais r doit correspondre à une graduation du côté du rayon réfracté</i>		1	
5M55	<i>prendre différentes valeurs de r pour différentes valeurs de i (moins de 5), mais si le rayon n'est pas exactement sur une des graduations, nous choisissons la valeur de la graduation la plus proche. Si le rayon est placé exactement entre deux graduations, alors nous pouvons donner la valeur intermédiaire</i>		1	
5MS56	<i>si le protocole est bien suivi et exécuté alors les résultats des différentes valeurs seront proches</i>	1		1
5MS57	<i>utiliser un support blanc pour mieux lire la valeur de l'angle réfracté</i>	1		1
5MS58	<i>prendre des valeurs de 12° en 12° afin que le rayon passe par des angles d'incidence correspondant aux graduations</i>	1		1
5MS59	<i>faire varier l'angle d'incidence et mesurer précisément l'angle de réfraction (pour plusieurs mesures)</i>	1		1
5M60	<i>rentrer les valeurs d'angle dans un tableau</i>	1		1
5..7	Description des sources d'erreurs ou d'incertitudes			
5S70	<i>prendre en compte les incertitudes sur les mesures d'angles (sans explication sur la manière de le faire)</i>			1
5S71	<i>prendre en compte les incertitudes</i>			1
5S72	<i>mesurer 3 valeurs de r en fonction de 3 valeurs de i situées entre 0° et 45° avec leurs incertitudes</i>			1
5S73	<i>comme le rayon est légèrement diffracté, il faut prendre le point le plus proche du centre du faisceau comme valeur de r</i>			1
5S74	<i>Si le rayon est placé près d'une graduation x (ou sur), la valeur lue sera $x \pm 1,5^\circ$ (espace entre deux graduations divisé par deux). Si le rayon est situé entre deux</i>			1

5S75	<i>graduations x et $x + 3^\circ$, la valeur lue sera : $(x+1,5^\circ) \pm 1,5^\circ$ comme le rayon devient de plus en plus large lorsque l'angle i augmente, nous mesurons la largeur du rayon réfracté à chaque mesure et nous convertissons cette largeur en degrés d'angle pour obtenir une barre d'erreur / un intervalle / une incertitude</i>			1
5S76	<i>prendre plusieurs valeurs de r pour de valeurs de i tous les 5° jusqu'à la réflexion totale afin de minimiser l'erreur sur l'indice à la fin</i>			1
5S77	<i>prendre une incertitude sur chaque lecture d'angle, d'une valeur d'1/3 de graduation (1°)</i>			1
5S78	<i>on détermine l'incertitude pour estimer le résultat final à $\pm x$ où x est la marge d'erreur (valeur max - valeur min)</i>			1
5S79	<i>les impuretés du liquide peuvent être source d'erreur donc il faut faire plusieurs mesures</i>			1
5S80	<i>prendre plusieurs valeurs pour différents angles d'incidences pour s'approcher de la valeur réelle puisque nous avons des incertitudes sur la mesure d'angle</i>			1
5S81	<i>tenir compte des incertitudes dues à la lecture des graduations</i>			1
5S82	<i>prendre deux valeurs avec des i différents afin d'avoir une approximation de la valeur de l'incertitude existant sur les mesures</i>			1
5S83	<i>prendre des valeurs de r pour chaque numéro de i (suivant les graduations), jusqu'à ce que la le rayon réfracté ne soit plus assez lumineux / brillant pour pouvoir faire une lecture satisfaisant or jusqu'à ce que le rayon soit trop large et contienne l'écart entre deux graduations</i>			1
5S84	<i>la valeur de l'angle devra être donnée avec ses incertitudes</i>			1
5..9	Traitement statistiques pour diminuer les erreurs / incertitudes / améliorer la précision			
5MS90	<i>prendre plusieurs valeurs afin d'avoir une meilleure précision</i>		1	1

	<i>/ minimiser le risque d'erreur / réduire les incertitudes</i>			
5S91	<i>prendre plusieurs valeurs (non spécifié / 5 valeurs) afin de pouvoir faire une moyenne, pour pouvoir réduire les incertitudes / avoir plus de précision</i>			1
5S92	<i>on répète les mesures afin d'avoir une meilleure approche de l'indice et des incertitudes</i>			1
5S93	<i>prendre 5 valeurs pour $i = 15, 30, 45, 60, 75^\circ$, car plusieurs mesures permettent de minimiser l'erreur</i>			1
5S94	<i>mesure de l'angle d'incidence et de l'angle de réfraction une fois puis faire 9 autres mesures pour minimiser les erreurs expérimentales</i>			1
5S95	<i>prendre un maximum de valeurs pour i variant de 3° en 3° afin d'avoir un minimum d'incertitudes sur la valeur de n après</i>			1
5S96	<i>prendre plus de 5 valeurs de r à l'aide de différentes valeurs de i afin d'être capable d'effectuer un analyse statistique</i>			1
5S97	<i>prendre une dizaine de valeurs pour i variant de 5 ou 10°, afin d'obtenir une détermination précise de l'indice du liquide</i>			1

G.3.3. Rétroaction pour le groupe C : Un protocole insuffisant suivant un raisonnement Mixte-Approché

Cette rétroaction est fournie aux binômes du groupe C, sous la même forme de pré-impression des protocoles. Cette rétroaction apparaît dans l'espace « Résultat » du logiciel COPEX.

Résumé de l'expérimentation

L'utilisation de la loi de Snell-Descartes permet d'obtenir l'indice optique du liquide contenu dans la cuve. Vous utiliserez la lampe et le plateau-tournant afin de collecter des valeurs d'angles réfractés pour différentes valeurs d'angles incidents. Après avoir transformé ces valeurs en sinus, vous tracerez la représentation graphique de ces valeurs et tracerez la droite représentant cet ensemble de valeur. Ensuite vous calculerez la valeur de cette pente. Enfin vous trouverez quelle valeur de la liste d'indice est la plus proche de la valeur de votre pente. Cette valeur correspondra au liquide de la cuve que vous avez utilisé.

Justification :

Suivant la loi de Snell-Descartes, on peut obtenir la valeur de l'indice de réfraction d'un liquide en mesurant l'angle de réfraction d'un rayon passant dans ce liquide en fonction de son angle d'incidence. Afin d'effectuer une étude statistique, nous demandons de recueillir un maximum de valeurs différentes, puis de les représenter sous la forme d'un graphe afin de pouvoir visualiser la fonction décrite par la loi pour ce liquide. Cette représentation nous permet aussi de représenter les incertitudes liées aux erreurs de lectures dues aux écarts de graduation et à la largeur du rayon. La valeur de la pente de la droite obtenue correspond à l'indice du liquide utilisé, en comparant à la liste d'indice. Normalement l'expérimentateur ne tombe pas exactement sur la valeur d'indice d'un liquide car il existe des incertitudes dues aux différentes erreurs.

1) Principe (sans justification)

Utilisation de la loi de Snell-Descartes afin de déterminer l'indice d'un matériau par la mesure d'angle incident et réfracté. (Voir schéma théorique dans l'espace exploration). Pour cela il faut suivre la relation existante entre l'incidence du rayon et sa déviation dans le liquide inconnu.

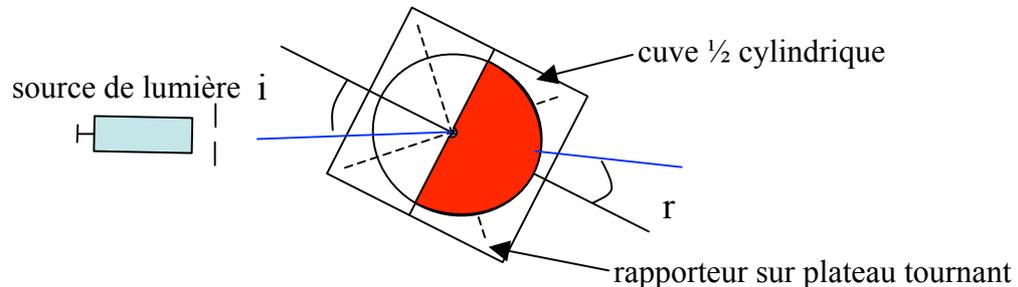
2) Matériel à utiliser

- Lampe
- Plateau tournant
- ½ cuve cylindrique avec le liquide inconnu

Justification :

On pourrait utiliser d'autres instruments mais dans ce cas on utilise ceux qui nous sont donnés.

3) Schéma de l'expérimentation



Justifications :

On place la demi-cuve dans ce sens car sinon nous ne profiterions pas de la simple réfraction au point d'entrée de la face plane, mais d'une double réfraction à chacune des interfaces et donc nous ne pourrions pas lire directement l'angle de la réfraction en fonction de l'angle d'incidence.

4) Réglages :

- Tout d'abord prendre la lampe et régler la position de la tirette à l'arrière de celle-ci afin d'obtenir un faisceau de rayon parallèle (image de la lampe projeté sur un mur, à plus de 3m).
- Déposer la lampe et la demi-cuve sur leur emplacement sur le plateau tournant, de manière à ce que le rayon de la lampe, entre dans la demi-cuve par sa face plane.
- Fixer la lampe à l'aide des deux petites vis de chaque côté de celle-ci. Ajuster ce serrage de manière à ce que le rayon traverse la demi-cuve sans être dévié (si $i=0$, alors $r=0$).
- A partir de maintenant vous n'avez plus à toucher la lampe. Pour prendre des valeurs vous aurez simplement à faire pivoter le plateau tournant.

Justifications :

Nous demandons d'utiliser un rayon à faisceaux parallèles car il permet d'être sûr que l'angle d'incidence est le même à l'entrée de la demi-cuve pour tous les rayons.

Le réglage de la lampe tel que si $i=0$ alors $r=0$, permet d'éviter que le rayon soit décalé et que l'angle lu soit faussé.

Une fois que le système est monté, il est important d'y toucher le moins possible afin d'éviter de le dérégler.

5) recueil des données

- Prendre une valeur de r tous les 10° de i jusqu'à que le rayon disparaisse de la zone réfractée. Si le rayon se situe entre deux graduations, vous devez prendre la valeur médium et y ajouter une barre d'erreur de $\pm 1,5$
- Placer vos valeurs dans les deux premières colonnes du tableau suivant :

i	r	$\sin i$	$\sin r$

Justifications :

Nous demandons de prendre des valeurs de r pour tous les 5° de i de manière à obtenir un maximum de valeurs tout en évitant d'avoir deux fois la même valeur de r pour deux i différents. L'écart entre deux graduations pour lire r est assez large il faut donc tenir compte

de l'incertitude sur la valeur à lire, d'où l'encadrement moyen à $1,5^\circ$.

Nous faisons placer les valeurs dans un tableau afin d'améliorer la lisibilité des données et donc améliorer leur traitement.

6) traitement des données

- Calculer les sinus de chaque valeur et remplir les deux dernières colonnes du tableau. Attention, il faut aussi calculer la valeur de sinus de l'incertitude quand elle existe.
- Placer chaque couple de valeur de sinus sur un graphique dans lequel $\sin i$ est l'axe des abscisses et $\sin r$, l'axe des ordonnées. Représenter les incertitudes sur les points correspondants, avec des barres verticales.
- Tracer une droite passant par un maximum de points et par l'origine.
- Calculer la pente de cette droite. Cette valeur correspond à l'indice de votre liquide.

Justifications :

Il faut passer au sinus pour pouvoir rentrer dans le cadre de la loi de Snell-Descartes. Il est aussi important de faire passer les encadrements des valeurs au sinus afin de pouvoir les traiter de la même manière que les autres valeurs et de pouvoir en tenir compte.

On passe par une représentation graphique car c'est un moyen plus simple d'observer un ensemble de valeur et de pouvoir traiter les donner. Ainsi en traçant la droite correspondant à la fonction décrite par ces valeurs et en calculant sa pente, nous obtenons une bonne idée de la valeur de l'indice du liquide en calculant la pente de cette droite. On fait passer la droite par l'origine et par un maximum de points car c'est la plus représentative. La distance des points avec cette droite est due aux différentes erreurs de manipulations. Elle passe par l'origine car si $i=0$ alors $r=0$. De plus cette représentation facilite la prise en compte des incertitudes que l'on peut trouver.

7) Interprétation et conclusion sur le liquide

- Comparer la valeur d'indice que vous avez trouvée avec les indices de la liste d'indice de la partie exploration.

Il existe deux cas possibles :

- a. La valeur que vous avez obtenue correspond exactement avec une des valeurs de la liste
- b. La valeur que vous avez obtenue est située entre deux valeurs d'indices

Dans le cas a., le liquide que vous avez utilisé correspond à celui de la liste.

Dans le cas b., le liquide correspond au liquide ayant un indice le plus proche du vôtre.

Justifications :

Normalement l'expérimentateur ne peut pas trouver exactement une des valeurs d'indices présente dans la liste car il existe toujours des erreurs mais la valeur obtenue doit s'en approcher le plus possible.

Résumé

L'étude de l'apprentissage de la mesure montre que les étudiants rencontrent de nombreuses difficultés dans l'acquisition de l'acte de mesurage. Trois enjeux constituant cet enseignement ont été décrits: le savoir-mesurer, l'utilisation de la mesure, le traitement de la mesure. La majorité de ces études ont décrit les problèmes et les idées des étudiants dans des contextes n'impliquant pas la mesure sous son aspect manipulatoire.

Nous nous sommes interrogés sur le type de raisonnement utilisé par les étudiants, d'une part lorsqu'ils élaborent un protocole de mesure en manipulant les instruments, et d'autre part lorsqu'ils ne font que répondre à des questions. Pour cela, une première expérimentation a été conçue faisant intervenir des étudiants de L1 dans l'un de leur TP de physique. Ainsi nous avons pu établir que les étudiants utilisent des raisonnements plus proches des raisonnements communs lorsqu'ils doivent élaborer un protocole de mesure. A l'opposé, lorsqu'ils répondent à un questionnaire sur la mesure, ils utilisent des raisonnements proches des raisonnements experts.

Dans un deuxième temps, nous nous sommes centrés sur les améliorations possibles des raisonnements des étudiants lors d'un travail d'élaboration de protocole de mesure. Pour cela, nous avons élaboré deux rétroactions spécifiques, intégrées dans une nouvelle expérimentation basée sur l'élaboration de protocoles de mesure. Une liste de résultats concerne l'enjeu du traitement des mesures. Alors qu'un protocole de mesure de qualité moyenne touche les trois enjeux de l'enseignement de la mesure. Les raisonnements, développés par chacun des groupes d'étudiants, nous ont permis de déterminer que ceux ayant reçu la liste de résultats possibles ont réutilisé très partiellement leurs raisonnements dans une situation légèrement différente. Alors qu'un groupe contrôle ainsi que le groupe ayant reçu le protocole de qualité moyenne n'ont pas réutilisé leur raisonnement dans cette nouvelle situation. Un troisième thème de notre étude a porté sur la manière dont les étudiants perçoivent et traitent les différents enjeux de la mesure lors de leur élaboration de protocole. Pour éclairer ce problème, nous avons analysé les étapes de l'acte de mesurage les plus traitées et les thèmes de réponses utilisées pour compléter ces étapes. Nous avons montré ainsi que les étudiants se focalisent sur les enjeux du traitement de la mesure et non sur les enjeux du savoir-mesurer et de l'utilisation de la mesure.

Student's reasoning about measurement in Physics laboratories in first year of university

The study of the measurement acquisition shows several students' difficulties in the learning of the measuring acts. For example: the meaning given to the collected data to the issue of the measurement accuracy, or in the use of the measuring act. Typical reasoning was described, as well as three stakes defining this learning: measuring know-how, using of the measurement, and measurement processing. Majority of those studies outlines difficulties and reasoning of the students in the context including no handling of the measurement.

We wondered about the kind of reasoning used by the students when they design a measuring procedure and handling devices, and, in another way, when they answer to the questions. Thus, the first experiment was designed with the first-year university students in one of their physics laboratories. This experiment allowed us to observe students' reasoning in both cases and to compare it. Thus, we established that students use reasoning near from common reasoning when they have to design a measurement procedure and handling devices. On the other hand, they use reasoning near from expert reasoning when they answer to the questions without handling devices.

Next, we focused on possible improvements of students' reasoning with a work of measurement procedure design. Therefore, we worked out two specific feedbacks inserted in a new experiment, based on the measurement procedure design. One of these two feedbacks deals with the stake of the measurement process and takes the shape of a result list. The other one takes the form of a middle quality measurement procedure and relates it to the three stakes of the measurement learning. The reasoning developed by each student group allowed us to obtain that those receiving the result list reuse partially their reasoning in a slightly different situation. Control group (receiving no specific feedback) along with the group receiving the middle quality procedure didn't reuse their reasoning in this new situation. Lastly, the third issue of our study dealt how students comprehend and process the different measurement stakes during the measurement procedure design. To throw light on this issue, we used the answers given by the students during our second experiment and we analysed the most discussed steps of the measuring act and the topics they used to complete these steps. Thus, we observed that students focus on the measurement processing stake and not on the stakes of the measuring know-how and on the frame.

Mots-clefs :

Didactique des sciences expérimentales, Mesure scientifique, Elaboration de protocole, Rétroactions, Raisonnements d'étudiant, TP de physique.