



HAL
open science

Etayage de l'activité de conception expérimentale par un EIAH pour apprendre la notion de métabolisme cellulaire en terminale scientifique

Catherine Bonnat

► To cite this version:

Catherine Bonnat. Etayage de l'activité de conception expérimentale par un EIAH pour apprendre la notion de métabolisme cellulaire en terminale scientifique . Education. Université Grenoble Alpes, 2017. Français. NNT: . tel-01562709v1

HAL Id: tel-01562709

<https://hal.science/tel-01562709v1>

Submitted on 17 Jul 2017 (v1), last revised 26 Jan 2018 (v2)

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.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE LA COMMUNAUTE UNIVERSITE GRENOBLE ALPES

Spécialité : **CIA - Ingénierie de la Cognition, de l'interaction, de
l'Apprentissage et de la création – Didactique des Sciences**

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

Catherine BONNAT

Thèse dirigée par **Patricia MARZIN-JANVIER**
et codirigée par **Isabelle GIRAULT**

préparée au sein du **Laboratoire d'Informatique de Grenoble**
dans **l'École Doctorale Ingénierie pour la santé la Cognition et
l'Environnement**

Etayage de l'activité de conception expérimentale par un EIAH pour apprendre la notion de métabolisme cellulaire en terminale scientifique

Thèse soutenue publiquement le **10 juillet 2017**,
devant le jury composé de :

Madame Marianna Bosch i Casabò

Professeure des universités, QS Universitat Ramon Llull, Rapporteur

Madame Isabelle Girault

Maître de conférences, Université Grenoble Alpes

Co-encadrante de thèse

Monsieur Daniel Manzoni de Almeida

Professeur, Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas

Unidas (FMU), Sao Paulo, Invité

Madame Patricia Marzin-Janvier

Maître de conférences HDR, Université Grenoble Alpes

Directrice de thèse

Monsieur Eric Sanchez

Professeur des universités, Université de Fribourg, Examineur

Madame Patricia Schneeberger

Professeure émérite, Université de Bordeaux, Rapporteur

Madame Erica de Vries (Présidente du jury)

Professeure des universités, Université Grenoble Alpes, Examineur



Table des matières

Table des matières.....	3
Remerciements.....	11
Introduction.....	13
Chapitre 1 : La conception d'un protocole expérimental, au cœur de la démarche d'investigation	17
1. La démarche d'investigation dans l'apprentissage des sciences à l'école.....	17
1.1. Analyse des pratiques d'enseignement des sciences à l'école.....	17
1.2. Une nouvelle orientation de l'enseignement des sciences à l'école.....	18
1.3. La démarche d'investigation dans les programmes scolaires.....	19
1.4. Difficultés identifiées dans la mise en place de la démarche d'investigation.....	21
2. La conception expérimentale dans la démarche d'investigation et sa place dans l'institution scolaire.....	23
2.1. La conception expérimentale dans la démarche d'investigation.....	23
2.2. Les enjeux de la conception expérimentale.....	24
2.3. La conception expérimentale dans l'institution scolaire.....	25
2.4. Difficultés identifiées relatives à l'activité de conception de protocole	27
3. Conclusions	29
Chapitre 2 : Des EIAH pour étayer la conception expérimentale.....	33
1. Travaux sur les étayages, centrés EIAH.....	33
1.1. La notion d'étayage	33
1.2. Utilisation de la notion d'étayage en didactique	34
1.3. Etayer la démarche d'investigation	35
1.3.1 La nécessité d'un cadre théorique selon Quintana et al.....	36
1.3.2 La structuration de la tâche comme type d'étayage selon Reiser.....	37
1.3.3 La notion de « guidage » selon Zacharia & al.	38
1.4. Positionnement de notre travail.....	39
1.5. Etayer la conception de protocole.....	41
1.5.1 Etayages fixes, étayages adaptatifs.....	41
1.5.2 Etayer la conception de protocole avec le logiciel Copex Chimie	42
2. LabBook : une plateforme numérique pour étayer l'activité de conception expérimentale	43
2.1. Présentation de l'interface utilisateur	43

2.2.	Présentation de l'interface concepteur	44
2.3.	Présentation de l'éditeur de protocole Copex.....	44
2.3.1	1 ^{er} « niveau » de Pré structuration du Labdoc « protocole »	45
2.3.2	2 ^{ème} « niveau » de Pré structuration du Labdoc « protocole »	46
3.	Analyse des étayages proposés par la plateforme LabBook	48
Chapitre 3 : Difficultés et conceptions des élèves sur le métabolisme de la fermentation alcoolique.....		51
1.	Construction du savoir de référence	51
1.1.	Les métabolismes cellulaires.....	51
1.2.	L'influence du milieu dans la réalisation d'un métabolisme	53
1.3.	Un processus réactionnel complexe.....	54
1.4.	La fermentation alcoolique à différentes échelles d'études.....	54
1.5.	Conclusions	54
2.	Conceptions et difficultés identifiées <i>a priori</i>	55
2.1.	Difficultés à distinguer les différents métabolismes, confusion entre les métabolismes de la respiration cellulaire et de la fermentation alcoolique	56
2.2.	Difficultés à associer le métabolisme de la fermentation alcoolique à un processus impliquant des organismes vivants	57
2.3.	Difficultés liées à l'utilisation du vivant dans une situation de conception expérimentale.....	58
2.4.	Difficultés à matérialiser les gaz et à définir leur rôle dans le métabolisme de la fermentation alcoolique	58
2.5.	Difficultés à associer l'équation de réaction statique à un phénomène dynamique et complexe	60
2.6.	Difficulté à décloisonner les disciplines et à conceptualiser hors du champ disciplinaire.....	61
2.7.	Difficulté liée à l'influence du matériel dans de la conception expérimentale.....	61
3.	Catégorisation des difficultés identifiées <i>a priori</i>	62
Chapitre 4 : Cadre théorique.....		67
1.	La praxéologie dans le cadre de la TAD.....	67
2.	Description des praxéologies dans le cadre T4TEL	68
2.1.	Éléments de la praxéologie	68
2.2.	Introduction de variables dans T4TEL.....	70
3.	Praxéologies institutionnelle et personnelle.....	71
3.1.	Modèle théorique	71

3.2. Modélisation des praxéologies personnelles dans une situation de conception expérimentale	74
4. Le modèle praxéologique de référence	75
5. Conclusions	76
Chapitre 5 : Problématique	79
1. Questions de recherche	79
2. Plan expérimental de la thèse	81
Chapitre 6 : Modélisation des connaissances : praxéologies de référence, institutionnelle, et personnelle	83
1. Questions de recherche	83
2. Méthodologie	84
2.1. Praxéologies institutionnelle et de référence	84
2.1.1 Analyse écologique des programmes	84
2.1.2 Analyse praxéologique des manuels	85
2.2. Praxéologies personnelles	86
3. Résultat : Praxéologie institutionnelle	87
3.1. Résultats de l'analyse écologique des programmes.	87
3.2. Résultats de l'analyse praxéologique des manuels.	91
3.3. Proposition d'une praxéologie institutionnelle de la mise en évidence de la fermentation alcoolique	98
4. Résultat : Praxéologie de référence	102
5. Résultat : éléments de praxéologies personnelles <i>a priori</i>	108
6. Conclusions	112
Chapitre 7 : Conception de la situation, élaboration de la pré structuration du protocole	113
1. Questions de recherche	113
2. Méthodologie	114
2.1. Elaboration de la pré structuration du protocole	115
2.1.1 Transposition du modèle praxéologique	115
2.1.2 Implémentation dans le logiciel Copex	117
2.1.3 Niveaux de pré structuration	118
2.2. Consignes, documents ressources et autres fonctionnalités	118
3. Résultats	119
3.1. Texte d'accueil	119
3.2. Documents ressources	120
3.3. Pré structuration du rapport expérimental dans LabBook	120

3.4.	Pré structuration du labdoc « protocole »	121
3.5.	Pré structuration du protocole expérimental (mode opératoire)	122
3.5.1	Pré structuration des étapes et des actions	122
3.5.2	Pré structuration des paramètres d'action	125
3.5.3	Pré structuration des justifications de choix de paramètres.....	128
3.6.	Trois types de pré structuration du protocole	129
3.6.1	N1 : étapes imposées et actions libres.....	129
3.6.2	N2 : étapes imposées, actions pré structurées et justifications libres	129
3.6.3	N3 : étapes imposées, actions et justifications pré structurées	129
3.6.4	Trois situations proposées aux élèves.....	130
4.	Conclusions et discussion.....	130
Chapitre 8 : Plan expérimental de la première expérimentation : mise à l'épreuve des trois types de pré structuration		135
1.	Questions de recherche	135
2.	Méthodologie	136
2.1.	Plan expérimental	136
2.2.	Elaboration du test	138
2.2.1	Méthodologie.....	138
2.2.2	Résultat	139
2.3.	Recueil de données	142
2.3.1	Corpus de données.....	142
2.3.2	Données prévisionnelles	142
2.3.3	Données recueillies.....	144
2.4.	Méthode d'analyse des données	145
2.4.1	Méthode d'analyse des questions 1 et 2 du test.....	145
2.4.2	Calcul des scores d'apprentissage	148
2.4.3	Méthode d'analyse des protocoles	151
Chapitre 9 : Résultats de la première expérimentation		157
1.	Evolution des représentations des élèves sur le métabolisme et la fermentation alcoolique.....	158
1.1.	Evolution des représentations des élèves sur le métabolisme cellulaire (Question 1 du test)	159
1.1.1	Résultats : représentations initiales (pré test).....	159
1.1.2	Résultats : représentations après la mise en situation (post test 1)	164

1.1.3	Analyse comparative des représentations entre pré test et post-test	
1		168
1.2.	Evolution des représentations des élèves sur la fermentation alcoolique (Question 2 du test)	172
1.2.1	Résultats : représentations initiales (pré test).....	172
1.2.2	Résultats : représentations après la mise en situation (post test 1)	177
1.2.3	Analyse comparative des représentations des élèves entre le pré test et le post test 1	180
1.3.	Conclusions.....	184
2.	Evolution des apprentissages.....	186
2.1.	Résultats : scores globaux	186
2.1.1	Résultats : scores du pré test	186
2.1.2	Résultats : scores du post test 1.....	189
2.1.3	Evolution des scores entre le pré test et le post test 1	190
2.1.4	Résultats : Evolution des scores entre le pré test et les deux post tests	192
2.2.	Résultats : scores pour le concept de mise en anaérobie	193
2.3.	Résultats : scores selon les types de pré structuration	198
2.4.	Conclusions.....	200
3.	Analyse des protocoles.....	201
3.1.	Résultats : Communicabilité des protocoles	201
3.1.1	Communicabilité : présence d'action dans les étapes fournies (complétude).....	202
3.1.2	Communicabilité : « nature » des actions non pré structurées.....	204
3.1.3	Communicabilité : paramétrage des actions.....	205
3.1.4	Communicabilité : autres types d'informations données dans les actions « libres ».....	206
3.1.5	Communicabilité : utilisation des propositions de pré structuration (étapes, actions, et justifications)	207
3.2.	Résultats : pertinence des protocoles	212
3.2.1	Pertinence des actions proposées	212
3.2.2	Pertinence de la valeur du paramètre.....	214
3.2.3	Pertinence des justifications	221
3.3.	Conclusions.....	221
4.	Conclusions de l'expérimentation	222
Chapitre 10 :	2 ^{ème} expérimentation sur la pré structuration des actions	227

1. Questions de recherche	227
2. Pré structurations proposées	228
2.1. Modifications de la situation	228
2.1.1 Modification du rapport expérimental avec l’outil Copex	228
2.1.2 Modifications du document ressource n°1 : « la fabrication de la bière »	228
2.2. Modifications de la pré structuration des actions.....	229
3. Compléments méthodologiques	232
3.1. Plan expérimental	232
3.2. Corpus de données.....	232
3.3. Méthode d’analyse des résultats.....	232
4. Analyse des résultats	236
4.1. Résultats : Communicabilité	236
4.1.1 Communicabilité : présence d’actions dans les étapes fournies (complétude).....	236
4.1.2 Communicabilité : utilisation des actions pré structurées proposées.	238
4.1.3 Communicabilité : « nature » des actions non pré structurées	238
4.2. Résultats : pertinence des actions.....	241
4.2.1 Pertinence des actions proposées.....	241
4.2.2 Pertinence des valeurs de paramètres.....	245
5. Conclusions	247
Chapitre 11 : Préconisations pour le diagnostic et propositions de rétroactions	249
1. Questions de recherche	249
2. Méthodologie	250
2.1. Méthodologie de modélisation de praxéologies personnelles <i>a priori</i> de la situation.....	251
2.2. Méthodologie pour l’enrichissement des praxéologies personnelles <i>a priori</i> à partir des productions des élèves.....	254
2.3. Méthodologie pour la proposition de rétroactions	255
3. Résultats : modélisation des praxéologies personnelles et propositions de rétroactions	258
3.1. Résultats : Modélisation des praxéologies personnelles <i>a priori</i> de la situation	258
3.2. Résultats : praxéologies personnelles dans les protocoles des élèves	262

3.2.1	Modélisation des praxéologies personnelles dans les protocoles des élèves	262
3.2.2	Enrichissement des praxéologies personnelles a priori	266
3.3.	Proposition de rétroactions	268
4.	Conclusions et perspectives	274
Conclusions et perspectives		277
1.	La modélisation praxéologique des connaissances en jeu et la prise en compte des difficultés identifiées <i>a priori</i> des élèves	277
2.	Les étayages fixes proposés dans LabBook et leur impact sur les apprentissages conceptuels	278
3.	Les étayages fixes proposés dans LabBook et leur impact sur la formalisation des protocoles par les élèves	280
4.	L'identification de difficultés tenaces et la proposition d'étayages adaptatifs	280
Références bibliographiques		283
Annexes		293
Annexe 1 : analyse écologique des programmes		293
Annexe 2 : extraits des manuels de terminale scientifique de spécialité SVT		296
Annexe 3 : documents ressource		299
Annexe 4 : test de connaissances		302
Annexe 5 : extraits de protocoles d'élèves produits lors de la première expérimentation		305
Table des figures		309
Table des tableaux		313

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord Patricia Marzin-Janvier et Isabelle Girault qui ont si bien encadré mon travail de thèse durant ces trois années. Je les remercie pour leur grande disponibilité, leur soutien, leur accompagnement et leur rigueur qui m'ont permis d'avancer et de mener à bien ce travail de thèse.

Je remercie également Madame Patricia Schneeberger et Madame Marianna Bosch Casabò d'avoir accepté d'être les rapporteurs de ma thèse et pour leur implication dans mon travail. De même je remercie Madame Erica de Vries et Monsieur Eric Sanchez pour leur investissement et de prendre part à mon jury de thèse.

Je remercie Hervé Albertin d'avoir, presque dix ans après, de nouveau accepté d'être mon tuteur, mon référent et de m'avoir également parfaitement accompagnée dans mes enseignements à l'ESPE de Grenoble ces deux dernières années. Je remercie par ailleurs la direction de l'ESPE et particulièrement Madame Bettina Debu de m'avoir fait confiance.

Je remercie l'équipe MeTAH qui m'a accueillie et a contribué par de nombreux échanges à l'évolution de mon travail. Je remercie Nadine Mandran pour son soutien, ses précieux conseils, mais également pour les discussions et les moments partagés. Enfin, je remercie tout particulièrement Sébastien Jolivet pour son aide, son soutien sans faille, ses conseils aguerris. Cette précieuse collaboration a contribué au très bon déroulement de ces trois années de thèse.

Le travail de thèse n'aurait pu être abouti sans la participation d'enseignantes de SVT qui m'ont ouvert leurs classes et m'ont fait confiance. Ainsi je remercie, Claudine Héritier, Pascale Berendes, Nadia Cohendoz et Hélène Pieri. Cette collaboration n'aurait pu se faire sans l'aide d'Eric Rolland, collègue et ami de longue date.

Je remercie ma famille, qui m'a fait confiance, encouragée et accompagnée dans cette nouvelle vie professionnelle et qui m'a soutenue dans les moments plus difficiles. J'ai une pensée particulière pour ma sœur Hélène qui a suivi avec attention toutes les étapes de mon travail de thèse. Je remercie également Jehan Roland, de me soutenir et de me motiver dans cette aventure.

Enfin je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail de thèse.

Introduction

L'enseignement des sciences suscite de nombreux travaux de recherche concernant les méthodes d'apprentissage, et est en constante restructuration depuis le début du XX^{ème} siècle avec notamment la mise en place de « travaux pratiques » au lycée. En effet, les activités pratiques permettent d'acquérir des notions scientifiques, des méthodes, des techniques, des attitudes, et ainsi de mieux comprendre la science (Marzin, 2013).

Cependant, son enseignement au niveau national et européen a longtemps été qualifié de peu attractif, peu en lien avec les préoccupations quotidiennes des élèves et avec les questions socialement vives.

C'est à partir de ces constats, et face au déclin de l'attractivité pour les études scientifiques, que d'importantes modifications de l'enseignement des sciences à l'échelle européenne ont été proposées (Rocard & al., 2007 ; Hazelnorn & al., 2015) en encourageant ainsi la pédagogie sur des méthodes basées sur l'investigation (IBSE « Inquiry-Based Science Education »). Cette méthode d'enseignement, dans laquelle les élèves participent à l'ensemble des étapes de la démarche, favorise l'intérêt et les niveaux de réussite des élèves (Millar, 1996). Les situations construites autour d'une démarche d'investigation, sont pour les élèves une source de motivation et d'implication.

En France, dans l'enseignement secondaire, la démarche d'investigation fait partie intégrante des programmes de collège depuis 2008, et fait également partie des objectifs d'apprentissage du lycée depuis la mise en place du socle commun de compétences en 2006, et des ECE « évaluations des compétences expérimentales » en physique chimie et en sciences de la vie et de la terre en 2001.

La mise en pratique de cette méthode d'enseignement des sciences pose des difficultés. En effet, il s'agit d'une tâche complexe pour les élèves, qui nécessite d'être guidée (Millar, 2004), tout en leur laissant suffisamment d'autonomie (Calmette, 2010) afin qu'ils s'impliquent dans une démarche de réflexion efficace pour les apprentissages.

Nous allons ainsi centrer notre étude sur la démarche d'investigation qui propose une activité de conception expérimentale qui inclut la conception d'un protocole. L'activité de conception expérimentale consiste à imaginer, concevoir une expérience qui peut être rédigée sous la forme d'un protocole qui décrit de façon précise les conditions expérimentales et le déroulement de l'expérience (Marzin, 2013). Karelina & Etkina (2007) ainsi que Etkina, Karelina, & Ruibal-Villasenor (2010) précisent l'impact de cette activité sur la motivation et les apprentissages des étudiants.

Néanmoins, la tâche de conception de protocole est une tâche complexe pour les élèves (Séré & Beney, 1997) qui nécessite d'être étayée.

Ainsi, l'objectif de la thèse est d'étayer l'activité de conception expérimentale avec l'utilisation d'un environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH). En effet, les EIAH sont considérés comme de possibles supports pour étayer l'activité de conception expérimentale (Quintana & al., 2004).

Nous utilisons dans notre étude une plateforme LabBook (Girault & al., 2017) qui permet de structurer des rapports expérimentaux. Cet EIAH propose des étayages fixes (Azevedo, 2004) comme les consignes, les documents ressources, et la structuration du rapport expérimental. Ces étayages ont été précédemment testés dans une situation de conception expérimentale en génétique (Saavedra, 2015). Cependant, la plateforme LabBook contient un logiciel « Copex » qui permet de structurer un protocole expérimental en étapes et en actions paramétrées. Nous proposons dans notre travail de thèse de tester cet étayage fixe qui n'a actuellement jamais été utilisé. De plus, il s'agit d'une étape nécessaire à la préparation d'un diagnostic automatique des erreurs afin de produire des rétroactions. Ce type d'étayage adaptatif considéré comme efficace (Azevedo, 2004) n'est actuellement pas proposé dans LabBook. Ainsi, nous souhaitons faire évoluer la plateforme LabBook vers la mise en place d'étayages adaptatifs automatiques. Pour cela, nous allons réaliser des préconisations pour un diagnostic des erreurs à partir de l'analyse des traces d'activité avec Copex.

Ainsi notre travail est focalisé sur la conception de protocole. La situation que nous avons choisie est la mise en évidence de la fermentation alcoolique, thème abordé en classe de terminale scientifique de spécialité en sciences de la vie et de la terre. Cette situation est complexe du fait de la nature épistémologique des concepts en jeu, mais aussi du fait de l'objet protocole en lui-même (Marzin & de Vries, 2011 ; Girault & d'Ham, 2014).

Une première étape du travail consiste à effectuer une modélisation didactique des connaissances en jeu dans la situation de conception de protocole expérimental visant l'apprentissage du métabolisme fermentaire en terminale. Pour cela nous nous plaçons dans le cadre de la théorie anthropologique du didactique et plus précisément le modèle praxéologique (Bosch & Chevillard, 1999).

A partir de cette modélisation, nous concevons une situation qui puisse être implémentée dans l'EIAH LabBook. Nous proposons des étayages fixes qui prennent en charge certaines difficultés notamment sous la forme d'une pré structuration du protocole dans le logiciel Copex.

Dans un second temps, nous allons tester dans des classes de terminale scientifique de spécialité SVT, les situations proposées et l'efficacité des étayages fixes mis en place.

Notre document va ainsi se présenter en différents chapitres :

- Tout d'abord nous allons consacrer les trois premiers chapitres à un état de l'art afin de dégager les difficultés et enjeux du type d'activité que nous proposons aux élèves.
- Puis nous développerons le cadre théorique utilisé, notamment pour la modélisation des connaissances en jeu dans le chapitre 4.
- Ceci nous amènera dans le chapitre 5 à développer les questions de recherche qui vont guider notre étude selon un plan expérimental de la thèse également précisé.
- Puis nous présenterons, à partir de la modélisation des connaissances en jeu (chapitre 6), l'élaboration des situations de conception expérimentale en biologie, et leur implémentation dans la plateforme LabBook. Nous présenterons également les étayages fixes mis en place (chapitres 7 et 9).

- Nous proposerons dans le chapitre 8, une méthodologie d'expérimentation menée en classe afin de tester les situations élaborées, et nous développerons les résultats dans les chapitres 9 et 10.
- Enfin, dans le dernier chapitre, à partir d'une modélisation des erreurs en vue d'un diagnostic automatique, nous proposerons des rétroactions qui pourraient, dans un travail ultérieur faire l'objet d'un étayage adaptatif dans LabBook.

Chapitre 1 : La conception d'un protocole expérimental, au cœur de la démarche d'investigation

Le travail de thèse consiste à étayer la conception expérimentale avec l'utilisation d'un environnement informatique, et plus précisément à proposer des types d'étayages centrés sur la conception expérimentale. Cette activité, inhérente à la démarche d'investigation, qui est enseignée en sciences à l'école, fait encore actuellement l'objet de nombreuses recherches en didactique.

C'est pourquoi dans ce chapitre, nous commençons par présenter un état de l'art des différents travaux portant sur la démarche d'investigation, qui ont montré, entre autres, le bénéfice d'impliquer les élèves dans ce type d'activité. Nous précisons également les évolutions des méthodes d'enseignement préconisées dans les programmes des sciences de la vie et de la terre (SVT). Puis, nous focalisons notre travail sur la conception expérimentale, qui est centrale pour notre étude. Nous partons pour cela des constats issus de la littérature afin d'expliquer les conséquences de ces travaux au niveau institutionnel, notamment dans les programmes français en sciences expérimentales.

1. La démarche d'investigation dans l'apprentissage des sciences à l'école

1.1. Analyse des pratiques d'enseignement des sciences à l'école

L'enseignement des sciences, avec notamment la mise en place de « travaux pratiques » au lycée dès le début du XX^{ème} siècle, suscite de nombreux travaux de recherche. En effet, les activités pratiques posent de nombreuses questions, notamment celles de leurs rôles dans les apprentissages et du sens qu'on leur donne. Astolfi (1992) pointe une séparation des aspects théoriques et pratiques de cette activité, ce qui se traduit chez les élèves par une absence de relation entre les activités pratiques et les savoirs.

En effet le statut de l'expérience a évolué, passant du statut de description d'un phénomène, d'illustration (pratique déductive), à une pratique hypothético-déductive (Marzin, 2013); c'est à dire que l'expérience amène à une théorie (démarche inductive). Cette pratique permet de passer du concret à l'abstrait (Johsua, 1989), et favoriserait l'implication des élèves dans une activité perçue comme davantage motivante.

L'introduction de la démarche expérimentale en SVT dans les années 90 avec notamment l'utilisation des TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement) dont l'ExAO (Expérience Assistée par Ordinateur), avait pour objectif de faire acquérir aux élèves un esprit expérimental par l'observation et le raisonnement, à partir de manipulations et de montages expérimentaux simples. Cependant, les travaux menés par Larcher & Goffard

(2004), remettent en cause cette volonté du système éducatif en mettant en avant une approche toujours très inductive utilisée dans les classes.

Dans ses travaux, Millar (1996) décrit la nécessité de proposer aux élèves des situations dans lesquelles ils participent à l'ensemble des étapes de la démarche en leur donnant notamment davantage d'autonomie. Ces situations sont pour les élèves une source de motivation et d'implication dans les disciplines proposant ce type d'activité.

Les activités pratiques permettent d'acquérir des notions scientifiques, des méthodes, des techniques, des attitudes, et ainsi de mieux comprendre la science (Marzin, 2013). Dans cette étude Marzin propose de classer les objectifs d'apprentissage assignés aux activités expérimentales selon une catégorisation qui reprend et complète celles proposées notamment dans les travaux de Millar (2004), Lazarowiz & Tamir (1994) et Coquidé (2000). Cette classification est basée sur l'autonomie de l'élève dans sa démarche, dans son apprentissage, dans sa relation aux autres et dans sa relation au monde.

Dans une étude antérieure à 2013, Coquidé, Fortin & Rumelhard (2009) retracent l'enseignement de l'investigation depuis plus d'un siècle. Ces auteurs soulignent l'importance de l'enseignement des sciences selon une approche inductive, s'opposant à des démarches illustratives. Ils précisent des préconisations de l'enseignement des sciences qui s'orienteraient vers « *un processus intentionnel de diagnostic des problèmes, de critiques des expériences réalisées, de distinction entre les alternatives possibles, de planification de recherches, de recherches d'hypothèses, de recherches d'informations, de constructions de modèles, de débat avec des pairs et de formulation d'arguments cohérents* » (Linn, Davis & Bell, 2004 : cité dans Coquidé & al. 2009).

Ainsi, l'enseignement des sciences prend une autre orientation (démarche hypothético-déductive) afin de donner davantage de sens aux activités expérimentales, et de motivations pour l'apprentissage.

1.2. Une nouvelle orientation de l'enseignement des sciences à l'école

C'est à partir des différents travaux menés sur les pratiques d'enseignement des sciences, et face au déclin de l'intérêt que portent les jeunes, et en particulier les filles, pour les études scientifiques dans de nombreux pays européens, qu'est paru le rapport de Rocard & al. (2007) qui propose des mesures afin de revaloriser ces filières.

Il pointe une origine liée à l'enseignement des sciences à l'école qui est qualifié de peu attractif, peu en lien avec les préoccupations quotidiennes des élèves et avec les questions socialement vives.

Il complète le rapport parlementaire de Rolland (2006) qui spécifie également la nécessité de repenser l'enseignement en décroissant les disciplines scientifiques. En effet, ce même rapport met en avant l'image peu attractive, abstraite, exigeante, qu'ont les élèves sur l'apprentissage des sciences jugé trop académique. Il évoque notamment la difficulté pour les élèves d'accepter l'idée que la vérité scientifique existe mais qu'elle n'est pas intangible et qu'elle évolue.

Le rapport de Rocard redéfinit l'objectif de l'enseignement des sciences comme un moyen « *de doter chaque citoyen des aptitudes nécessaires pour vivre et travailler en*

société de la connaissance et ce, en lui offrant la possibilité de développer une pensée critique et un raisonnement scientifique qui lui permettront d'effectuer des choix en toute connaissance de cause. L'enseignement des sciences permet de lutter contre les erreurs de jugement et de renforcer notre culture commune fondée sur le raisonnement rationnel » (p. 6).

Une des recommandations est d'axer la pédagogie sur des méthodes basées sur l'investigation et non plus sur des méthodes jugées trop déductives. Il propose des pistes de réflexion sur des méthodes d'enseignement reconnues efficaces comme la démarche d'investigation, pas toujours mise en œuvre.

Le rapport Rocard préconise ainsi l'utilisation de la démarche d'investigation (IBSE « Inquiry-Based Science Education) dans l'enseignement des sciences qui favoriserait l'intérêt et la réussite des élèves, tout en réfutant néanmoins une utilisation exclusive de cette démarche.

Suite à ce rapport la démarche d'investigation a été introduite dans les programmes des pays qui ne l'avaient pas encore mise en place.

Linn & al. (2013) définissent l'investigation comme un processus intentionnel de diagnostic des problèmes, de critique des expériences réalisées, de distinction entre les alternatives possibles, de planification des recherches, de recherche d'hypothèses, de recherche d'informations, de construction de modèles, de débat avec des pairs et de formulation d'arguments cohérents.

En France, cette démarche a été mise en place dans les programmes de 2007, mais a fait l'objet d'une restructuration en 2008. Elle est qualifiée de modèle « hypothético-déductif » par Mathé, Meheut et De Hosson (2008) et Coquidé & al. (2009) qui précisent qu'« *on y trouve, incluse, l'approche hypothético-déductive d'une démarche expérimentale, avec un accent supplémentaire mis sur l'activité des élèves. Le protocole expérimental n'est pas imposé ou suggéré aux élèves par le professeur, il est laissé à leur initiative, lesquels le conçoivent et le réalisent pour tester leurs hypothèses.* » (Coquidé 2009, p. 54)

Nous développons dans le paragraphe suivant la prise en compte de ces préconisations par les institutions scolaires.

1.3. La démarche d'investigation dans les programmes scolaires

En France, la démarche d'investigation fait partie intégrante des programmes de collège depuis 2008 (BO n°6 du 28 août 2008). La démarche d'investigation telle qu'elle est présentée dans les programmes du collège « *s'appuie sur le questionnement des élèves sur le monde réel et sur la résolution de problèmes (...) les investigations réalisées avec l'aide du professeur, débouchent sur l'acquisition de connaissances, de compétences méthodologiques et sur la mise au point de savoir-faire techniques. Dans le domaine des sciences expérimentales et de la technologie, chaque fois qu'elles sont possibles, matériellement et déontologiquement, l'observation, l'expérimentation ou l'action directe par les élèves sur le réel doivent être privilégiées. Une séance d'investigation doit être conclue par des activités de synthèse et de structuration organisées par l'enseignant, à partir des travaux effectués par la classe. Celles-ci portent non seulement sur les quelques notions, définitions, résultats et outils de base mis en évidence, que les élèves doivent*

connaître et peuvent désormais utiliser, mais elles sont aussi l'occasion de dégager et d'explicitier les méthodes que nécessite leur mise en œuvre. » (BO n°6, p.4).

Il est également précisé un canevas aménageable d'une séquence d'investigation, découpé en sept moments dont l'ordre ne constitue pas une trame linéaire :

- Le choix de la situation problème à partir des connaissances visées, des acquis des élèves et de leurs conceptions initiales
- L'appropriation par les élèves du problème. Problème qui propose des éléments de solution qui permettent de travailler sur les conceptions initiales des élèves
- La formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles
- L'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves (moments de débats, description des résultats)
- L'échange argumenté autour des propositions élaborées
- L'acquisition et la structuration des connaissances qui peuvent amener à la proposition d'expériences supplémentaires ce qui donne une vision non linéaire de cette démarche
- La mobilisation des connaissances

Dans le texte officiel de 2008 il est précisé que pour la phase d'appropriation du problème *« l'enseignant guide le travail des élèves et, éventuellement, l'aide à reformuler les questions pour s'assurer de leur sens, à les recentrer sur le problème à résoudre qui doit être compris par tous. Ce guidage ne doit pas amener à occulter ces conceptions initiales mais au contraire à faire naître le questionnement. »* (BO n°6, p.4). Cela met en avant l'idée d'émergence du problème par l'élève lui-même, et de mise en relation des aspects théoriques et pratiques (expériences) de la situation, ce qui avait été préconisé dans des travaux de recherches précédemment cités.

Dans le secondaire, la question de l'expérimental est posée depuis de nombreuses années dans les textes officiels avec, malgré les contraintes qui en découlent, la mise en place de « travaux pratiques ». En plus des séances de travaux pratiques dans le cycle normal, apparaît en 1992, l'option « sciences expérimentales » dans le but de favoriser la prise en charge par les élèves d'un processus complet d'expérimentation sur un problème ouvert. Cette option disparaîtra à la rentrée 2000 laissant la place à l'option « Méthodes et Pratiques Scientifiques » en classe de seconde en 2010 (BO spécial n°4 du 29 avril 2010). Elle propose d'initier les élèves à la démarche scientifique dans le cadre d'un projet interdisciplinaire.

La démarche d'investigation fait également partie intégrante des objectifs d'apprentissage depuis la mise en place du socle commun de compétences en 2006 et des ECE « Evaluations des Compétences Expérimentales » en physique chimie et en sciences de la vie et de la terre en 2001. Les élèves sont préparés tout au long de l'année à partir de la mise en place, en travaux pratiques, de situations-problèmes inhérentes à la démarche d'investigation. L'épreuve du baccalauréat (ECE) consiste à évaluer les élèves sur une des manipulations réalisées pendant l'année. Néanmoins, seules les compétences techniques sont évaluées avec la réalisation d'un protocole donné.

Enfin, intégrée et valorisée en premier lieu à l'école primaire avec notamment l'opération « la main à la pâte » lancée en France depuis 1996, la démarche d'investigation centrée sur l'exploration et l'expérimentation fera l'objet d'une

première évolution en cycle 3 vers une approche plus expérimentale (BO n°1 du 14 février 2002). Elle subit un nouveau remaniement dans les programmes mis en place en 2016 (BO n°11 du 26 novembre 2015) et prend le nom de démarche expérimentale d'investigation et regroupe cinq moments essentiels identifiés :

- le choix de la situation de départ
- la formulation du questionnement des élèves
- l'élaboration des hypothèses et la conception d'investigation
- l'investigation conduite par les élèves
- l'acquisition et la structure des connaissances

Nous avons mis en évidence dans ce paragraphe l'importance de la place de la démarche d'investigation dans les programmes du fait notamment des préconisations pour la mise en œuvre de cette démarche au niveau international. Néanmoins, il s'agit d'une approche complexe qui nécessite une réorientation des pratiques enseignantes. Nous présentons ainsi dans le paragraphe suivant les difficultés identifiées dans les travaux de recherche concernant sa mise en place, à la fois du côté des enseignants mais également du côté des élèves.

1.4. Difficultés identifiées dans la mise en place de la démarche d'investigation

Nous proposons dans ce paragraphe de développer les études relatant la mise en place dans les classes de la démarche d'investigation, et nous présenterons certaines difficultés d'élèves identifiées dans la littérature.

Nous commençons tout d'abord par recenser des constats effectués par différentes études au collège sur la mise en place de la démarche d'investigation en physique chimie.

Coquidé & al. (2009) relatent un rapport d'inspection de la discipline qui souligne que « *de nombreux professeurs pratiquent déjà la recherche de situations-problème et l'appropriation du problème par les élèves (Pietryk & al., 2006, p. 6)* » (Coquidé & al. 2009, p.55). La phase de situation problème semble donc être mise en place dans les enseignements selon les préconisations des programmes. La démarche d'investigation semble bien accueillie par les enseignants qui y voient un intérêt en terme de souplesse, c'est à dire qu'ils apprécient la variété des approches pédagogiques que cela implique. Néanmoins ce rapport laisse transparaître aussi des difficultés concernant certaines phases de la démarche liées notamment à la crainte du côté des enseignants de « *perdre le contrôle" en laissant trop la main à la classe, dans des phases cruciales comme celles de l'émergence des représentations des élèves, d'élaboration conjointe de propositions, ou de discussions (Pietryk & al., 2006 p. 6)* » (Coquidé 2009, p.55).

Du côté de l'enseignement, Calmette (2010) met en évidence que les enseignants ont tendance à trop guider les élèves, ce qui les rend passifs à la fois dans la phase d'expérimentation mais aussi dans la démarche de réflexion qu'il y a autour. Cela rejoint l'idée développée par Astolfi (1992) d'une disjonction entre les aspects pratiques et théoriques. D'autres analyses de séquences ou séances d'enseignement ont été menées (Bomchil & Darley, 1998) et ont révélé des difficultés à mettre en place de façon pertinente, certaines phases de la démarche d'investigation et plus particulièrement la phase de problématisation en SVT. En effet, ils ont mis en évidence que les enseignants prennent en charge l'énonciation

du problème et imposent aux élèves les données requises pour sa réalisation, contrairement aux préconisations des programmes. Ces derniers proposent de construire la phase de problématisation en s'appuyant sur les conceptions des élèves, et définissent le rôle de l'enseignant comme un accompagnement des élèves dans cette démarche. Mathé & al. (2008) rejoignent cette idée dans leurs travaux portant sur l'analyse des fiches de préparation des enseignants mises à disposition sur les sites académiques. Les principales critiques portent sur le choix de la phase de problématisation qui mobilise certes des supports variés mais dont l'utilisation reste peu pertinente. On retrouve ces mêmes constats sur la phase d'émission d'hypothèses, qui sont soit données par l'enseignant soit explicitement citées dans les fiches activités.

On notera ainsi la difficulté des enseignants à laisser à la charge des élèves les phases initiales de la démarche d'investigation qui orientent, à juste titre, la suite de la démarche et pourraient ainsi modifier la planification de l'enseignant. Cela rejoint l'idée de « perte de contrôle » évoquée dans l'étude de Coquidé (2009). L'autonomie souhaitée par cette démarche, car jugée efficace pour les apprentissages en est altérée et semble constituer un obstacle pour les enseignants.

L'idée d'autonomie liée à la mise en place de la démarche d'investigation, a ainsi fait l'objet de projets de recherches au niveau européen dont le projet SCY (Science Created by You). Ce projet ayant pour objectif de développer une plateforme informatique qui permette aux élèves de mettre en œuvre une démarche d'investigation de manière autonome (Marzin & van Joolingen, 2010 ; d'Ham, Marzin & Wajeman, 2009).

Certains auteurs remettent néanmoins en cause, les bienfaits de la motivation et de l'autonomie que la démarche d'investigation suscite. En effet, il a été montré que du côté des élèves, la démarche d'investigation est une source de motivation efficace pour les apprentissages, cependant White (1996) développe un point de vue divergeant en pointant la limite assez floue entre motivation et amusement. Concernant l'autonomie, Millar (2004) met en avant la nécessité de guider les élèves dans l'analyse des données expérimentales. Le lien entre les activités expérimentales et les connaissances en jeu est difficile à établir pour les élèves. De même, ces derniers perdent souvent le sens de l'activité, c'est à dire qu'ils n'ont pas une idée claire de l'objectif qui est souvent réduit à l'exécution d'instructions données par l'enseignant. Nous développerons ce point dans le paragraphe 2.3.

Les travaux de Coquidé, Bourgeois-Victor & Desbeaux-Salviat (1999) et Schneeberger & Rodriguez (1999) insistent sur les difficultés des élèves à mettre en lien les activités expérimentales avec les aspects théoriques. En effet, Coquidé (2000, p. 117) souligne « l'importance de la disponibilité d'une matrice cognitive pour traiter un problème expérimental ».

On retrouve ces constats dans les travaux de Schneeberger & Rodriguez (1999). Ils analysent les démarches mises en œuvre par des élèves de première scientifique dans une situation d'investigation scientifique portant sur la fermentation alcoolique. Ils mettent en évidence les difficultés que les élèves rencontrent pour traiter un problème expérimental. Ces auteurs ont identifié des difficultés dues à la multiplicité des savoirs en jeu et leur nécessaire articulation ; savoirs qui peuvent

être hors champs disciplinaire (mathématiques et physique chimie), ou bien tirés de compétences techniques de laboratoires et/ou de méthodologie.

Séré & Beney (1997), dans une situation modélisation sur le thème de l'optique, ont également montré l'importance de la maîtrise des connaissances en jeu pour que les étudiants fassent le lien avec leurs actions. Elles paraissaient déconnectées des objectifs notionnels de la séance et consistaient à des exécutions successives. Abrahams & Millar (2008) plaident pour que les idées nécessaires à la compréhension des observations soient introduites pendant les activités pratiques et non *a posteriori* pour expliquer un phénomène.

Ainsi, le fait que les élèves disposent des connaissances adéquates facilite la mise en œuvre de la démarche d'investigation, et à l'inverse, le fait de la mettre en œuvre les aide à acquérir plus facilement de nouvelles connaissances (Marzin, 2013).

Nous avons cependant présenté dans ce paragraphe des difficultés inhérentes à la démarche d'investigation. Notre étude porte plus précisément sur une des phases de cette démarche. Nous allons ainsi passer en revue les travaux concernant la conception expérimentale et plus précisément ceux liés à l'objet protocole. Nous proposons une étude du côté de la recherche, mais nous développerons également les attentes institutionnelles.

2. La conception expérimentale dans la démarche d'investigation et sa place dans l'institution scolaire

La construction par les élèves de la démarche expérimentale peut se faire à différents niveaux. Nous nous intéressons dans ce chapitre à la conception expérimentale qui est une des phases de la démarche d'investigation.

Dans ce paragraphe, nous développerons ainsi la place et les enjeux de la conception expérimentale dans la démarche d'investigation, nous préciserons les attentes institutionnelles concernant cette tâche au lycée, enfin nous développerons à partir d'analyses de certains travaux, les difficultés qu'elle suscite.

2.1. La conception expérimentale dans la démarche d'investigation

Nous centrons ainsi notre étude sur la démarche expérimentale d'investigation et plus précisément sur la conception d'un protocole. La conception expérimentale consiste à imaginer, concevoir une expérience qui peut être rédigée sous la forme d'un protocole.

La question de conception de protocole a fait l'objet de travaux de recherche dans l'équipe MeTAH. Marzin (2013) définit le protocole comme une description précise des conditions expérimentales et du déroulement de l'expérience, « *qui doit être suffisamment claire et explicite pour qu'elle soit reproduite à l'identique par quelqu'un qui voudrait reproduire les mêmes résultats en suivant le même protocole et en se plaçant dans les mêmes conditions expérimentales* » (ibid, p.58).

De nombreux travaux ont ainsi analysé les protocoles proposés aux élèves qui sont souvent comparés à des recettes de cuisine que les élèves exécutent.

En 1994, dans le cadre de sa thèse, Darley présente les résultats d'analyse de fiches de TP. Il met en évidence l'importance qui est donnée à l'exécution de

manipulations qui sont placées au centre de la démarche. L'activité de l'élève se résume à appliquer les consignes de l'enseignant.

Dans une étude plus récente sur des fascicules de TP en Europe, Tiberghien & al. (2001) arrivent au même constat que les protocoles sont présentés aux élèves comme des recettes de cuisine (cookbook) que les élèves doivent appliquer. La tâche de conception de protocole est rarement laissée à la charge de l'élève.

Ces constats ont également participé aux nouvelles préconisations européennes issues du rapport Rocard sur la mise en place de la démarche d'investigation centrée sur l'autonomie de l'élève (paragraphe 1.2).

Girault & al. (2012) vont plus loin en décrivant le protocole à partir d'une analyse de 39 fascicules de TP en sciences à l'université en France. Les résultats montrent que les objectifs sont peu explicités et que la liberté laissée aux élèves est restreinte. Ils constatent qu'il n'existe pas de modèle de référence concernant les protocoles expérimentaux.

Nous regardons cet aspect du côté de l'institution scolaire d'une classe de lycée dans le paragraphe 2.2.

Une étude comparative des enseignements dans des classes en sciences expérimentales et mathématiques au collège (Cross, 2013), confirme le déséquilibre entre la phase de conception expérimentale peu présente et celle de manipulation qui domine.

2.2. Les enjeux de la conception expérimentale

Plusieurs études ont pourtant montré l'intérêt de l'activité de conception expérimentale pour la motivation des élèves et pour les apprentissages.

Karelina & Etkina (2007) précisent l'impact de cette activité sur la motivation, du fait que les élèves sont placés dans une posture de chercheur dans laquelle ils sont actifs dans la recherche d'une stratégie de résolution de problème par l'expérimentation scientifique. Cette activité les incite aussi à avoir une réflexion plus approfondie à la fois sur les expériences à réaliser mais aussi sur les connaissances en jeu. Etkina, Karelina & Ruibal-Villasenor, dans une étude ultérieure (2010) concernant les impacts de l'activité de conception expérimentale sur les apprentissages, ont montré que cette activité implique davantage les élèves dans la résolution de problème qui s'approprient ainsi de façon plus importante les pratiques scientifiques. « Grâce à ces procédures, les étudiants construisent du sens et internalisent les connaissances qu'ils ont créées » (Etkina & al., 2010, p. 57). Les procédures sont décrites comme étant des activités métacognitives. En effet, selon Marzin & de Vries (2011), la conception de protocole en SVT se distingue par une succession d'activités comme l'analyse de la situation problème, la planification d'une succession d'actions, le contrôle du domaine de validité, ce qui selon Hmelo, Holton & Kolodner (2000), aide les élèves à construire du sens et à internaliser les connaissances qu'ils ont créées.

Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Tiberghien (2000), qui donnent un sens aux activités de travaux pratiques comme étant un moyen d'aider les élèves à faire le lien entre « le domaine des objets et des phénomènes et le domaine des idées et des concepts ».

Ainsi, la conception expérimentale motive et implique davantage les élèves dans la tâche, les rendant ainsi plus autonomes et responsables de leurs apprentissages.

Arce & Betancourt (1997) préconisent de laisser une plus grande place à la conception du protocole expérimental afin de favoriser la créativité et la réflexion.

Nous allons dans le paragraphe suivant, mettre en relation ces préconisations concernant l'activité de conception expérimentale, et plus précisément la conception de protocole, avec les attentes institutionnelles en classe de sciences au lycée.

2.3. La conception expérimentale dans l'institution scolaire

Nous avons vu qu'à l'école primaire la démarche expérimentale d'investigation est découpée en moments dont l'un deux suggère la conception de l'investigation par les élèves, les amenant si possible et si nécessaire à la conception d'un protocole.

Au collège, les programmes de SVT de 2008 stipulent également dans le moment intitulé « *la formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles* » (BO n°6 du 28 août 2008), la possibilité d'une communication à la classe des éventuels protocoles expérimentaux, sans pour autant aller jusqu'à la réalisation des protocoles produits.

Dans les nouveaux programmes du cycle 4 (BO n°11 du 26 novembre 2015), la démarche dite scientifique se référant à plusieurs compétences, comprend explicitement la conception d'une ou plusieurs expériences pour pouvoir la ou les tester.

Au lycée, la conception expérimentale prend une place plus importante dans l'enseignement d'exploration optionnel MPS (méthodes et pratiques scientifiques) car un des objectifs de cet enseignement est d'initier les élèves à la démarche scientifique dans le cadre d'un projet.

La mise en place de l'évaluation des compétences expérimentales en classe de terminale scientifique est en continuité, avec une volonté de donner une place plus importante à la démarche d'investigation et à la conception de protocole. Cette évaluation est commune aux sciences expérimentales (physique-chimie et sciences de la vie et de la terre) mais diverge de par les attentes.

Dans les programmes de terminale scientifique (2012), l'enseignement de la physique-chimie doit « *favoriser l'acquisition de compétences variées, particulièrement lors des activités expérimentales qui ne consistent pas seulement à exécuter des protocoles 'clés en main'* » (Berthet, Girault & d'Ham, 2015). En effet, les élèves doivent savoir élaborer un protocole expérimental ce qui fait l'objet d'un des critères d'évaluation de la grille de compétences expérimentales lors de l'épreuve pratique du baccalauréat S (scientifique) et STL (sciences et technologies de laboratoire). La figure ci-dessous présente un extrait d'un des sujets (2014) disponibles sur des ressources en ligne.

Tâches à réaliser par le candidat	<p>Dans ce sujet on demande au candidat de :</p> <ul style="list-style-type: none">• Suivre un protocole expérimental pour réaliser le lavage d'un solide brut.• Proposer un protocole expérimental d'analyse par chromatographie sur couche mince et le mettre en œuvre.• Analyser un spectre RMN du proton.
--	---

Figure 1 : descriptif du sujet destiné au professeur de physique-chimie

3. Travail à effectuer

1. Réaliser le protocole expérimental de lavage (15 min conseillées)

Préparer un mélange constitué d'environ 20 mL d'eau glacée et de 10 mL d'éthanol glacé. Introduire 20 mL de ce mélange dans un erlenmeyer de 100 mL contenant le solide brut. Bien mélanger. Filtrer sur Büchner. Utiliser les 10 mL de mélange eau – éthanol restant pour rincer l'erlenmeyer et les verser dans le Büchner. Éliminer le liquide en instaurant la dépression. Récupérer le solide obtenu dans une coupelle.

2. Élaborer un protocole d'analyse par chromatographie sur couche mince et le réaliser (25 min conseillées)

Proposer un protocole pour réaliser une chromatographie sur couche mince permettant de contrôler l'efficacité du lavage. Il faudra dissoudre les échantillons choisis dans des tubes à hémolyse en ajoutant environ 1 mL d'acétone. On dispose d'une lampe UV.

Figure 2 : descriptif du sujet destiné à l'élève en physique-chimie¹

Les élèves, en physique-chimie, sont ainsi préparés et formés à la conception de protocole durant leur cursus scolaire, notamment en terminale scientifique.

En sciences de la vie et de la terre (SVT), l'approche diverge quelque peu. Les enseignements s'inscrivent cependant dans « *une logique scientifique encore plus marquée (...). La démarche d'investigation prend tout particulièrement son sens au lycée et s'appuie le plus souvent possible sur des travaux d'élèves en laboratoire. (...) L'activité expérimentale offre la possibilité à l'élève de répondre à une situation problème par la mise au point d'un protocole (...). Ainsi l'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences (...) pour éprouver des hypothèses* ». (Extrait du BO spécial n°8 du 13 octobre 2011).

Cependant, contrairement à la physique-chimie, la conception de protocole en SVT n'est pas attendue en tant que telle. En effet dans l'étape 1 du sujet 'type', l'élève doit concevoir une stratégie de résolution « réaliste » pour résoudre une situation problème, alors qu'il mettra en œuvre un protocole expérimental fourni afin d'obtenir des résultats exploitables. La figure ci-dessous, extraite des ressources en ligne à disposition des enseignants, présente l'étape 1 précédemment mentionnée.

¹ Source : <http://eduscol.education.fr/cid47783/banque-de-situations-experimentales.html>

Etape 1 : Concevoir une stratégie pour résoudre une situation problème

"Expérimenter, c'est imaginer." (Friedrich NIETZSCHE)

La consigne reprend la problématique du sujet en respectant la formulation initialement utilisée dans le chapeau. Il est précisé de « Proposer une stratégie de résolution réaliste » dans une salle de travaux pratiques et dans le temps imparti lors de l'épreuve. Cependant il est envisageable que le candidat propose :

- à propos du lieu, par exemple, une sortie dans l'environnement proche (jardin, enceinte de l'établissement, champ, forêt...),
- concernant la durée, une préparation précédant la manipulation, par exemple, une pré-culture, une mise en situation expérimentale particulière comme la mise à l'obscurité du végétal avant la réalisation de la mesure lors de l'épreuve en présence de lumière,....

La stratégie proposée par le candidat doit faire état de :

- **ce qu'il fait** en cohérence avec la problématique posée et l'hypothèse à tester. Il peut proposer un type d'activité d'observation, d'expérimentation ou de modélisation, de mesure. Il doit indiquer l'objet qui lui permet d'étudier le phénomène : une structure pour une observation ; un (ou des) paramètre(s) caractéristique(s) pour une expérimentation ou une modélisation ; une grandeur significative pour une mesure.

Figure 3 : extrait du descriptif des attentes institutionnelles de l'étape 1 des ECE en SVT²

Ainsi, en physique-chimie, l'élève peut exécuter un protocole fourni mais également un protocole qu'il a lui-même produit, alors qu'en SVT, après avoir proposé une stratégie de résolution de problème, l'élève exécute un protocole fourni. On pointe ici une contradiction entre l'insistance du programme pour la conception et la mise en œuvre d'un protocole par les élèves, et l'évaluation du baccalauréat centrée sur la manipulation.

De plus, il n'existe actuellement aucun modèle de référence concernant les attentes en terme de structure de protocole. Dans les grilles d'évaluation des ECE de physique-chimie pour lesquelles il est demandé notamment d'exécuter un protocole produit, il n'existe pas d'attente concernant la structuration de protocole, la grille reste très évasive et ne détaille pas cet aspect. Ainsi, le manque de cadre institutionnel laisse place à une liberté d'interprétation de rédaction du protocole du côté des enseignants, ce qui ne permet pas de développer une rigueur scientifique attendue dans les classes supérieures, et pourrait être à l'origine de difficultés lors de la formalisation du protocole.

Nous pointons ainsi un paradoxe entre la place plus prononcée de l'activité de conception expérimentale dans les programmes et dans les différents modes d'évaluation, et l'absence de modèle de référence.

Nous identifions avec cette analyse une première difficulté liée aux attentes institutionnelles contradictoires. Ceci nous amène à développer dans le paragraphe suivant, les principales difficultés identifiées dans la littérature sur l'activité de conception expérimentale et plus précisément sur la conception de protocole qui fait l'objet de notre étude.

2.4. Difficultés identifiées relatives à l'activité de conception de protocole

Nous avons montré que l'activité de conception expérimentale implique et motive davantage les élèves, favorisant ainsi l'apprentissage des concepts, des procédures et des méthodes, néanmoins, elle fait l'objet de nombreuses difficultés car il s'agit d'une tâche complexe pour les élèves (Séré & Beney, 1997). Ces derniers

² Source : <http://eduscol.education.fr/cid47783/banque-de-situations-experimentales.html>

souhaitent avant tout manipuler et conçoivent un protocole à partir d'une démarche de tâtonnement type « essai-erreur » en utilisant le matériel à disposition (Laugier & Schneeberger, 2004).

L'analyse précédente nous a permis de pointer une première difficulté liée aux attentes institutionnelles qui divergent selon les disciplines de sciences expérimentales. Cela peut renforcer l'idée de cloisonnement des disciplines qui, selon de nombreux travaux (Fortin, 2004 ; Rumelhard, 1998 ; Rumelhard & Desbeaux, 2000 ; Schneeberger & Rodriguez, 1999) pourrait favoriser l'émergence de difficultés, et mettent ainsi en avant la nécessité de décontextualiser les savoirs. Nous développerons cet aspect dans le chapitre 3.

Nous avons également pointé l'absence de référence en ce qui concerne la formalisation même d'un protocole, qui, comme le soulignent Tiberghien & al. (2001), est encore rarement à la charge de l'élève dans les classes. L'activité de conception expérimentale matérialisée par un protocole écrit a fait l'objet de recherches du fait des difficultés que l'écriture du protocole suscite chez les élèves. Marzin & de Vries (2011) ont étudié l'activité d'élèves de terminale en situation de conception expérimentale en biologie et révèlent des difficultés récurrentes liées à l'écriture du protocole. Dans une étude sur la conception d'un protocole sur la mesure d'un angle facial, elles mettent en évidence la difficulté pour les élèves de concevoir un protocole formalisé par une succession d'actions. Un des groupes d'élèves disposait d'un guidage sous la forme de lignes à compléter et les protocoles ainsi produits étaient davantage communicables.

Cette étude rejoint les résultats d'une autre étude chez des étudiants de licence qui avaient comme tâche de concevoir un protocole expérimental en chimie ; Girault & al. (2012) mettent en avant le fait que les étudiants élaborent souvent des protocoles incomplets, non pertinents et non exécutables. En lien avec des enseignants, ils définissent trois familles de critères d'évaluation de protocole qui pourraient servir de référence en termes d'attentes institutionnelles (dans l'enseignement supérieur) : l'exécutabilité, la communicabilité et la pertinence. Ces critères seront en partie utilisés dans l'analyse de nos données (cf chapitre 8).

La dimension cognitive mobilisée par les élèves est également une des difficultés liées à cette activité.

En effet, dans une étude sur des sujets d'ECE et notamment celui de la mesure de l'angle facial d'un crâne, Marzin & deVries (2008) ont mis en évidence la nécessité de mobiliser des connaissances pour la réalisation des protocoles donnés, alors que l'idée première de cette épreuve consiste en l'exécution simple d'un protocole. Ce constat a donné lieu à une autre étude dans laquelle Marzin & de Vries (2011) pointent des difficultés concernant la mobilisation de connaissances nécessaires à la résolution de la tâche. En effet, l'étude porte sur la mesure d'angles faciaux qui relève de concepts pluridisciplinaires à la fois du côté de la biologie avec l'anatomie crânienne et le concept d'évolution, mais également du côté des mathématiques avec la caractérisation d'un angle. Il s'avère que ce dernier concept construit et acquis en mathématiques fut un obstacle à la réussite de la tâche.

Cette étude met ainsi en avant une des difficultés liées à la conception expérimentale qui est la mobilisation des connaissances, d'outils théoriques que Martinand (1996) appelle la matrice cognitive. Cette idée est reprise dans les travaux de Coquidé (1999) qui met en avant que « *Dans la phase de conception de*

protocole, la matrice cognitive des élèves est très sollicitée, et des difficultés relatives à la non maîtrise d'outils théoriques ou de formes de raisonnement (pensée comparative, pensée analytique, pensée hypothético-déductive) peuvent apparaître. La matrice cognitive est également sollicitée, et des difficultés peuvent apparaître si certaines mises en relation dans celle-ci apparaissent manquantes » (Coquidé, 2000, p. 117).

3. Conclusions

Nous regroupons dans le tableau 1 ci-dessous les différents enjeux, les difficultés et la mise en place dans l'institution scolaire de la démarche d'investigation, et plus précisément de l'activité de conception expérimentale dont fait partie celle de conception de protocole.

Type d'activité	Enjeux	Difficultés	Mise en œuvre dans l'institution scolaire
Démarche d'investigation	<p>Implication (<i>Joshua, 1989</i>) (<i>Mathé & al. 2008</i>)</p> <p>Motivation (<i>Joshua, 1989</i>)</p> <p>Autonomie (<i>Millar, 1996</i>)</p> <p>Comprendre la science, apprentissages (<i>Marzin, 2013</i>)</p> <p>Variété des démarches, souplesse (<i>Coquidé 2009</i>)</p> <p>Décloisonner les disciplines (<i>Rolland, 2006</i>)</p>	<p>Approche inductive (<i>Larcher & Goffard, 2004 ; Coquidé, 2009</i>)</p> <p>« perte de contrôle » (<i>Coquidé, 2009</i>)</p> <p>Guidage trop important (<i>Calmette, 2010 ; Bomchil & Mathé, 2008</i>)</p> <p>Limites motivation/jeu (<i>White, 1996</i>)</p> <p>Connaissances en jeu (<i>Millar, 2004 ; Coquidé & al., 1999 ; Schneeberger & Rodriguez, 1999</i>)</p>	<p><u>2008 : collège</u> questionnement sur le monde réel,</p> <p>résolution de problèmes, acquisition des connaissances, compétences méthodologiques,</p> <p>savoirs faire techniques, description de 7 phases, rôle de l'enseignant : guidage, prise en compte des conceptions initiales</p> <p><u>2010 : MPS (option)</u> Démarche interdisciplinaire</p>
Conception expérimentale	<p>Réflexion, esprit de raisonnement, créativité (<i>Arce & Bétancourt, 97</i>)</p> <p>Motivation, posture du chercheur (<i>Karélina & Etkina, 2007</i>)</p> <p>Apprentissages des procédures (<i>Etkina & al., 2010</i>)</p> <p>Implication dans la résolution de problème, apprentissages (<i>Marzin & de Vries, 2011</i>)</p> <p>Lien domaines des objets et des concepts (<i>Tiberghien, 2000</i>)</p> <p>Construction du sens (<i>Hmelo & al., 2000</i>)</p>	<p>Tâche complexe (<i>Séré & Beney, 1997</i>)</p> <p>Mobilisation des connaissances (<i>Martinand, 1996</i>)</p> <p>Matrice cognitive, mise en relation, outils théoriques, forme de raisonnement (<i>Coquidé, 1999</i>)</p>	<p><u>1992 : option sciences expérimentales</u> prise en charge par les élèves d'un processus complet d'expérimentation</p> <p><u>2008 : collège</u> formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles</p> <p><u>2015 : cycle 4</u> conception d'une ou plusieurs expériences</p> <p><u>2011 : lycée (SVT)</u> Répondre à une situation problème par la mise au point d'un protocole</p>
Conception de protocole		<p>Exécution de manipulations décrites (<i>Darley, 1994 ; Tiberghien & al., 2001</i>)</p> <p>Absence de modèle de référence, protocoles incomplets (<i>Girault & al., 2012</i>)</p> <p>Formalisation du protocole (<i>Marzin & de Vries, 2011</i>)</p> <p>Conception par « essai-erreur » (<i>Laugier & Schneeberger, 2004</i>)</p> <p>Cloisonnement des disciplines (<i>Fortin, 2004 ; Rumelhard & Desbeaux-Salviat, 2000</i>)</p>	<p><u>2006 : lycée (ECE)</u> en physique-chimie : élaboration de protocoles expérimentaux et exécution</p> <p>En SVT : proposer une stratégie de résolution</p> <p>exécution d'un protocole donné</p> <p><u>2011 : Lycée (SVT)</u> l'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole</p>

Tableau 1 : enjeux, difficultés et mise en place de la démarche d'investigation orientée vers la conception expérimentale

Il s'agit d'une tâche complexe, certes à l'origine de difficultés chez les élèves, mais les résultats des travaux de recherche présentés dans le paragraphe 2.1 ont montré les effets bénéfiques sur la motivation et les apprentissages que cela implique, ce qui justifie la nécessité de proposer des étayages aux élèves afin de les aider dans cette tâche (Girault & d'Ham, 2014).

La situation de conception expérimentale sur laquelle notre choix s'est porté est la mise en évidence de la fermentation alcoolique en classe de terminale scientifique de spécialité SVT.

En effet, il s'agit d'une situation inhérente à la démarche expérimentale qui propose une activité de conception expérimentale. La conception expérimentale inclut la conception d'un protocole qui permet de décrire de façon précise et ordonnée le déroulé de l'expérimentation, et est formalisé par une succession d'étapes et d'actions paramétrées.

Le thème choisi est un des thèmes de spécialité SVT sur les métabolismes cellulaires. Les enjeux d'apprentissage en terme de connaissances scientifiques et de compétences (démarche d'investigation, techniques de laboratoire) sont clairement définis et sont pour certains réinvestis d'une situation à l'autre. On a ici clairement une continuité dans les apprentissages entre les études des différents métabolismes.

Nous allons, dans notre étude, tester l'efficacité des étayages mis en place *in situ*, dans des classes. Ainsi nous devons prendre en compte la dimension institutionnelle dans le choix de la situation. Nous retrouvons effectivement cette tâche dans les sujets d'évaluation des compétences expérimentales de 2011, ainsi cette situation est un des objectifs d'apprentissage de terminale S spécialité SVT. De plus, il s'agit d'une des activités proposées dans les documents d'accompagnement des programmes de 2012.

Enfin, du côté de la recherche il s'agit d'une situation dans laquelle la conception de protocole est pertinente et mobilise des savoirs conceptuels mais également métacognitifs (anticipation de l'usage du matériel, planification des étapes et des actions), qui peuvent être à l'origine de difficultés et pour lesquelles nous proposons des étayages par le biais de la plateforme numérique LabBook.

Chapitre 2 : Des EIAH pour étayer la conception expérimentale

Dans le chapitre 1 il est indiqué que l'activité de conception expérimentale motive les élèves (Etkina & al., 2010) et les rend plus autonomes et responsables de leurs apprentissages (Hmelo, Holton & Kolodner, 2000). Il s'agit néanmoins d'une tâche complexe à l'origine de difficultés cognitives et méthodologiques, qui nécessite des aides adaptées.

Nous proposons dans notre étude d'étayer cette activité à l'aide d'un environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH), LabBook, développé par l'équipe MeTAH du LIG (Girault, d'Ham, Marzin, & Wajeman, 2017). Cet EIAH a fait suite à de nombreuses recherches au sein de l'équipe, (Girault & al., 2012 ; Girault & d'Ham, 2014) qui se poursuivent, permettant ainsi de faire évoluer cet outil. La thèse de Saavedra (2015) a permis notamment de tester les types d'étayages proposés par la plateforme LabBook pour aider les élèves dans une situation de démarche expérimentale sur la génétique. Il a repris et illustré l'idée de « distributed scaffolding » (Puntambekar et Kolodner, 2005), en travaillant sur les supports d'étayages apportés par l'environnement informatique, l'enseignant et les étudiants, et les interactions qui en découlent. Dans notre étude nous nous intéressons exclusivement à l'étayage de la formalisation du protocole, apporté par la plateforme informatique sans interventions de l'enseignant.

Ainsi, après avoir présenté la notion d'étayage dans l'enseignement des sciences et plus particulièrement dans le cadre d'une démarche d'investigation, nous pointerons les différents travaux utilisant cette notion dans la conception et l'utilisation d'environnements informatiques, pour aider les élèves dans ce type d'activité. Puis, nous présenterons les différents types d'étayages que la plateforme LabBook propose en précisant plus particulièrement ceux en lien avec la conception expérimentale.

1. Travaux sur les étayages, centrés EIAH

1.1. La notion d'étayage

La notion d'étayage a été développée par Bruner, psychologue américain, dans les années 70 à partir de différents travaux. Elle est utilisée en premier lieu pour décrire les interactions entre les parents et les enfants pour assurer leurs apprentissages.

Elle est définie par Wood, Bruner & Ross (1976) comme « *le processus par lequel un adulte prend en main les éléments essentiels de la tâche qui excèdent les capacités de l'apprenant, lui permettant de se concentrer uniquement sur les éléments qui demeurent dans son domaine de compétences et de les mener à terme* » (p. 9). Le tuteur apporte de l'aide à un apprenant en lui fournissant le support dont il a besoin pour progresser.

Pour Bruner, « *ce système de support fourni par l'adulte à travers le discours, ou la communication plus généralement, est un peu comme un « étayage » à travers lequel*

l'adulte restreint la complexité de la tâche permettant à l'enfant de résoudre des problèmes qu'il ne peut accomplir tout seul » (Bruner 1983, p. 288).

Bruner (1983) identifie six fonctions de l'étayage afin de caractériser le type d'aide apporté à l'apprenant pour son activité. Elles seront reprises et parfois modifiées par de nombreux auteurs. Nous présentons dans le tableau ci-dessous ces six fonctions.

Fonctions de l'étayage	Contenu
« l'enrôlement »	consiste à engager l'adhésion de l'élève aux exigences de la tâche
« la réduction des degrés des libertés »	consiste à réduire la complexité du processus de résolution, par exemple en diminuant le nombre de paramètres à manipuler
« le maintien de l'orientation »	consiste à éviter que l'élève ne perde de vue l'objectif final initialement visé et qu'il continue à avancer dans la résolution du problème
« la signalisation des caractéristiques déterminantes »	consiste à la validation des tâches correctement effectuées pour permettre à l'élève d'avoir un retour sur ce qu'il produit et de lui donner des informations sur ce que lui-même considère comme correct
« le contrôle de la frustration et la démonstration »	visé à maintenir l'intérêt et la motivation de l'élève
« la présentation de modèles de solutions »	consiste à présenter des exemples ou à proposer des débuts de résolution

Tableau 2 : les six fonctions de l'étayage selon Bruner (1983)

Pea (2004) présente le concept d'étayage « scaffolding », à l'origine utilisé dans des travaux sur l'apprentissage du langage chez l'enfant à partir de l'étude des interactions entre le parent et l'enfant. Il précise néanmoins que « *Scaffolds are not found in software but are functions of processes that relate people to performances in activity systems over time.* » [Les étayages ne sont pas dans les logiciels mais ce sont des fonctions et des processus qui associent les personnes à des performances dans des activités qui se déroulent dans la durée] (Pea, 2004, p. 427). Il distingue ainsi deux types de « scaffolding », les étayages sociaux et les étayages informatiques.

1.2. Utilisation de la notion d'étayage en didactique

Ces fonctions qui sont davantage orientées du côté de la psychologie et de la pédagogie, sont reprises dans des travaux en didactique.

Astolfi & Peterfalvi (1993) reprennent la notion d'étayage pour proposer des situations didactiques en sciences expérimentales à partir de la prise en compte des obstacles. Les objectifs sont exprimés en termes d'obstacles franchissables que Martinand (1984) qualifie d'objectif-obstacles. Ils proposent trois temps dans le travail didactique sur les obstacles : le repérage (ou prise de conscience), la fissuration (ou déstabilisation conceptuelle) et le franchissement. Pour ce dernier degré ils font appel à la notion d'étayage et plus précisément à la fonction d'enrôlement proposée par Bruner. En effet, l'étayage proposé par l'enseignant, se construit à partir d'interactions sociales avec la mise en jeu de conflits sociaux cognitifs entre élèves, et consiste à « *enrôler l'élève dans le problème posé pour*

faire fonctionner une 'dévolution' qui évitera que, par le jeu du dialogue la réponse ne soit 'soufflée' au lieu d'être construite » (Astolfi & Peterfalvi, 1993, p. 118). Ainsi, les auteurs proposent une construction de situations d'enseignement à partir de l'analyse épistémologique des concepts en jeu et de l'identification des obstacles afin de proposer des étayages. C'est à dire qu'ils préconisent de construire les objectifs de séances en fonction des obstacles repérés, dans le but de les franchir. Cette idée est reprise dans d'autres travaux sur les étayages proposés dans le cadre des EIAH que nous développerons dans le paragraphe 2.

C'est à partir de l'analyse de ces travaux, que Marzin (2013) propose une catégorisation des étayages. Elle construit sa grille en catégorisant le rôle et la fonction de l'étayage selon quatre dimensions : psychologiques, pédagogiques, didactiques, et sociales, pour lesquelles elle précise le rôle et la fonction de l'étayage.

Nous retenons, pour notre situation, une des fonctions citées qui est d'aider l'élève à la résolution de la tâche. Du côté de la pédagogie, cela consiste à réduire la difficulté et la charge de travail, et du côté de la didactique cela consiste à adapter la tâche aux difficultés des élèves en tenant compte des difficultés initiales. Nous utiliserons également cette catégorisation pour analyser les types d'étayages proposés par la plateforme LabBook, que nous allons utiliser pour aider les élèves dans une situation de conception expérimentale.

La conception expérimentale étant une des phases de la démarche d'investigation, nous focalisons l'état de l'art sur les étayages proposés pour des activités utilisant ce type de démarche (paragraphe 1.5 et 3).

1.3. Etayer la démarche d'investigation

Nous centrons ainsi notre étude sur l'utilisation des EIAH pour aider les élèves dans leur activité de conception expérimentale sans prendre en compte les interactions, certes complémentaires et nécessaires, enseignant-élèves, qui sont également au cœur des enseignements dans les classes de science, mais qui ne font pas l'objet de notre étude.

Nous nous appuyons sur des travaux antérieurs relatifs à l'utilisation d'environnements informatiques comme soutien dans l'apprentissage des sciences (Quintana & al., 2004 ; Reiser, 2004 ; Zacharia & al., 2015).

Dans ce contexte, la notion d'étayage évolue et fait référence à des supports variés incluant les outils informatiques et d'autres ressources conçus pour aider les élèves à accomplir leurs apprentissages avec succès (Puntambekar & Hubscher, 2005).

Ainsi, à partir de cette notion d'étayage adaptée à l'utilisation des EIAH, nous allons décrire le cadre théorique proposé dans les travaux de Quintana et al. (2004) pour étayer, à partir d'outils informatiques, une situation structurée par la démarche d'investigation. Puis, nous présenterons deux stratégies d'étayages qui consistent à la prise en compte des difficultés des élèves (Astolfi & Peterfalvi, 1993 ; Quintana, 2001) et la structuration de la tâche (Reiser, 2004 ; Quintana & al., 2004).

Nous introduisons également la notion de « guidage » développée par Zacharia & al., (2015), et utilisée dans son étude pour l'analyse de logiciels.

Puis, nous présenterons les résultats d'une étude menée sur l'analyse d'un logiciel conçu et développé dans l'équipe MeTAH et qui propose des étayages dans une situation de conception expérimentale en chimie (Girault & d'Ham, 2014), et qui a donné lieu par la suite au développement de la plateforme LabBook.

1.3.1 La nécessité d'un cadre théorique selon Quintana et al.

A partir de l'étude de différents cadres implémentés dans des plateformes pour l'apprentissage des sciences, Quintana & al. (2004) mettent en avant la nécessité d'un cadre théorique commun, car même s'il en existe déjà un certain nombre, tous restent spécifiques à des situations données.

En effet, ces auteurs se réfèrent à la définition d'étayage précédemment citée, de Wood & al. (1976) comme étant un moyen par lequel l'enseignant fournit de l'aide pour la réussite du problème par les élèves, problème qui se voudrait trop difficile.

Par ailleurs, les didacticiens ont émis l'argument que l'outil informatique pourrait aider les élèves en fournissant un cadre de résolution pour les tâches difficiles (Bell & Davis, 2000). Par exemple, Guzdial (1994) propose trois façons dont les outils numériques pourraient apporter des étayages : donner le chemin à suivre aux élèves, les aider au moyen d'indications et de rappels en relation avec leur travail, faire réfléchir les élèves sur les articulations.

Qu'il s'agisse d'un enseignant ou d'un outil informatique, le but est de modifier la tâche afin de la rendre plus accessible.

Ainsi, il en ressort un besoin d'avoir un cadre général, un vocabulaire commun, afin de définir et catégoriser les types d'étayages, dans le but de concevoir et d'analyser des EIAH. Pour cela il faut aller au-delà des cas particuliers. Ainsi, Quintana & al. (2004) présentent un cadre qui regroupe les travaux préalables, des arguments théoriques, et un travail empirique afin de développer des lignes directrices et des stratégies qui reposent sur leur vision de l'apprentissage.

Dans ce cadre, Quintana & al., (2004) rejoignent l'idée d'Astolfi & Peterfalvi (1993) que nous avons précédemment développée (paragraphe 1.2), qui consiste à construire des étayages en fonction des conceptions et obstacles issus d'une analyse épistémologique, afin que les élèves puissent rentrer dans la tâche et résoudre le problème par eux-mêmes.

Cette idée ressort d'une étude antérieure (2001), dans laquelle Quintana met en avant le besoin d'identifier les obstacles afin de focaliser les étayages en conséquence.

L'auteur a centré ses recherches sur l'analyse des connaissances, des obstacles, et des supports pédagogiques utilisés dans des situations d'enseignement incluant la démarche d'investigation. Il a cherché à montrer comment l'apport d'aides aux moments opportuns pouvait réduire les obstacles en lien avec la résolution de tâches complexes. Il précise ainsi que la construction des étayages doit se faire notamment en prenant en compte les modèles d'apprentissage par l'action, mais aussi en prenant en considération la construction des savoirs apportés par « la société ». Ces étayages permettent ainsi de créer des versions différentes de la tâche afin d'aider les élèves.

Afin de développer leur cadre, Quintana & al. se sont basés sur une situation de démarche d'investigation, du fait d'une littérature abondante, et de l'intérêt de la

démarche en elle-même. En partant de ce domaine d'étude ils ont organisé le cadre qui définit des principes (manière dont un outil modifie la tâche) et des stratégies (type d'approche) d'étayage, élaborés à partir des difficultés rencontrées par les élèves lors d'une activité de démarche d'investigation qu'ils décomposent en trois pôles :

- « **sense making** » : l'apport de sens (tester des hypothèses et interpréter des données) demande des concepts de base pour lesquels des obstacles (*a priori*) sont identifiés et des étayages proposés en fonction, comme par exemple l'utilisation de différentes représentations et langages avec lesquels les élèves vont pouvoir faire des passerelles.
- « **process management** » : la gestion du processus (qui implique des décisions stratégiques dans la démarche). Ils proposent un principe d'étayage « structurer des tâches complexes » dont la stratégie d'étayage envisagée est « la restriction de la tâche complexe par l'établissement de limites », comme par exemple la réduction des fonctionnalités d'un logiciel, ce que Hmelo-Silver, Duncan & Chinn (2007) proposent également dans leurs travaux. Pour eux, l'environnement informatique peut porter sur la structuration de la tâche complexe, c'est à dire que l'étayage peut soit porter sur une re-centration de la tâche sur l'objectif d'apprentissage, soit le logiciel peut contraindre les options disponibles. Ils présentent également d'autres stratégies d'étayage comme la décomposition de la tâche complexe en tâches simples avec néanmoins une structure de résolution.
- « **articulation and reflexion** » : l'articulation et la réflexion comprend la construction, l'évaluation et l'articulation de ce qui a été appris. Les étayages portent notamment sur la planification et le suivi des tâches, la justification des choix, l'argumentation.

Ce cadre décrit la fonction de l'outil pour une tâche donnée (principe d'étayage), comme la structuration des tâches complexes, mais aussi les modalités selon lesquelles l'outil peut être mis en place (stratégie d'étayage), comme l'apport d'informations scientifiques, ou la diminution des fonctionnalités disponibles.

Cette idée de structuration de la tâche est également au centre d'une autre recherche que nous développons dans le paragraphe suivant.

1.3.2 La structuration de la tâche comme type d'étayage selon Reiser

Reiser (2004) propose un cadre d'implémentation des stratégies d'étayages. Il décrit la stratégie d'étayage comme étant dépendante de l'objectif de la tâche qui peut être, la réalisation de la tâche, apprendre comment la réaliser, ou bien comprendre pourquoi la réaliser de cette façon.

Il introduit le terme de mécanisme, c'est à dire la manière dont l'outil en question va modifier la tâche. Pour cela il distingue deux catégories d'étayage :

- **la structuration de la tâche** : il propose de décomposer la tâche, en guidant les élèves dans la démarche, ce qui rejoint les propos développés par Quintana & al., (2004). Plus précisément cela consiste à réduire la complexité de la tâche tout en maintenant un cap, mais également en proposant d'autres guides. Par exemple, il fait référence à un logiciel, Explanation Constructor (Reiser & al., 2001), qui se présente sous la forme d'un journal électronique qui aide les élèves à construire un raisonnement

scientifique. Pas à pas, du fait de la décomposition de la tâche, les élèves sont amenés progressivement à construire leur raisonnement scientifique.

- **la problématisation du sujet** : à l'inverse les élèves sont confrontés à une tâche complexe, ce qui les incite à articuler leurs idées en faisant des liens avec les éléments théoriques. Ceci rejoint encore les principes et stratégies d'étayage proposés par Quintana & al. (2004).

Reiser précise néanmoins que ces deux catégories ne sont pas exclusives et qu'une mise en tension est nécessaire afin de trouver un équilibre, favorisant la réflexion des élèves et l'articulation des idées autour de la tâche.

1.3.3 La notion de « guidage » selon Zacharia & al.

Les études de Quintana et al. (2004) et de Reiser (2004) présentent deux cadres complémentaires axés sur la stratégie d'étayage et les modes d'implémentation, et rejoignent l'idée de « types de guidage » proposée par Zacharia & al. (2015). Néanmoins, ce dernier recentre l'idée d'étayage « scaffold » comme étant un type de guidage en particulier.

Les travaux de Zacharia & al. (2015) proposent une analyse de logiciels en soutien à la démarche d'investigation. L'objectif de cette étude est d'identifier les types de « guidage » pour aider les élèves dans une situation d'investigation, en utilisant un laboratoire virtuel ou distant afin de les placer dans une démarche scientifique la plus réaliste possible.

Pour cela, ils ont commencé par regrouper les travaux concernant le guidage assisté par ordinateur (CoSIL : computer supported inquiry Learning), et les ont mis en lien avec une classification des types de guidage, issue des travaux de la littérature.

Ils ont retenu six types de guidage :

- « **process constraints** » : cela consiste à recentrer les élèves sur les données et activités utilisables. Cela convient aux élèves peu expérimentés pour la démarche d'investigation.
- « **performance Dashboard** » : cela consiste à donner des rétroactions sur le processus d'apprentissage de l'élève ou bien sur la qualité de leur résultats et de leur production (de Jong & Lazonder, 2014). Par exemple cet outil permet de refaire l'expérience à la demande de l'élève ou de comparer ses résultats avec d'autres expériences (Veermans, 2003 ; Van Jooligen & Jong, 2003)
- « **prompts** » : cela consiste à interroger les élèves sur des manquements, des oublis dans leur démarche (demande d'explication, d'explorer les liens entre d'autres variables, de repérer leur erreur). Chang, Chen, Lin & Sung, (2008) ont utilisé dans leur étude ce type de guidage dans une situation de conception expérimentale pour aider les élèves à planifier et conceptualiser leurs expériences.
- « **heuristics** » : plus spécifique que « prompts », cela consiste à suggérer ce que doit faire l'étudiant plutôt « novice ». L'étude menée par Klarh, Fay & Dunbar (1993) appuie l'utilisation de ce type de guidage qu'ils considèrent comme favorisant les apprentissages des étudiants. Ce type de guidage a fait l'objet de nombreuses études, notamment le principe VOVAT (varying one thing at a time).

- « **scaffolds** » : cela correspond à des outils utilisés quand la méthode est trop compliquée et que les élèves n'ont pas les compétences pour résoudre le problème par eux même. Cela aide par exemple à structurer, à formuler des hypothèses.
- « **direct presentation of information** » : cela consiste à apporter une information que les élèves ne peuvent trouver par eux même, qui leur permette de rester sur la bonne voie.

A partir des travaux de la littérature, ces auteurs ont associé ces types de guidages aux cinq phases de la démarche d'investigation (de Jong & Lazonder, 2014) : la phase d'orientation, la phase de conceptualisation, la phase d'investigation, la phase de conclusion, la phase de discussion.

Les résultats de cette recherche montrent une majorité de « scaffolds » principalement utilisés lors de la phase d'investigation. Ils concluent que le principe de guider est un moyen de soutenir les étudiants dans un processus d'auto-apprentissage en devenant responsable, ce qui rejoint les propos de Hmelo & al. (2000) : la conception expérimentale rend les élèves plus autonomes et responsables de leurs apprentissages.

A partir de ces éléments et différents points de vues développés par Quintana & al. (2004), Reiser (2004) et Zacharia & al. (2015), nous allons à présent nous positionner par rapport à la littérature scientifique, tout d'abord en définissant les termes que nous allons employer, puis en identifiant les étayages que nous allons utiliser dans nos travaux.

1.4. Positionnement de notre travail

Dans notre travail nous allons utiliser le terme « d'étayage » qui est communément adopté dans la littérature francophone et qui renvoie à une partie du processus d'étayage apporté aux élèves, et nous parlerons de « support d'étayage » pour décrire le soutien spécifique qui est mis en place.

Ces supports d'étayage peuvent être étudiés en terme de « fonction », qui reprend le principe d'étayage qui définit le rôle d'un support, et en terme de « mode » qui reprend les stratégies d'étayage qui définissent les modalités selon lesquelles ces supports sont mis en place.

Nous allons à présent nous positionner en identifiant les étayages que nous allons utiliser dans notre étude. Notre travail s'inscrit en continuité avec les travaux menés par Saavedra (2015) qui a fait un premier travail de synthèse des différentes catégorisations d'étayage identifiées dans la littérature. Nous allons repartir de cette grille pertinente pour les objectifs de notre travail, et que nous utiliserons pour caractériser les étayages mis en place dans notre étude. Elle réunit l'ensemble des critères relevés dans les travaux de Quintana & al. (2004), Reiser (2004) et Zacharia & al. (2015) autour de quatre fonctions et les possibles modes qui peuvent être associés. Il est précisé dans la dernière colonne du tableau, le rôle associé à chaque fonction d'étayage chez l'élève, en lien avec les « fonctions de l'étayage » proposées initialement par Bruner (*).

Catégorisation des supports d'étayage			
Fonctions	Modes	Exemples	Rôle chez l'élève (* fonctions de l'étayage proposées par Bruner)
1) Organiser la tâche autour de la sémantique de la discipline Quintana & al. 2004 Zacharia & al. 2015	- décomposition de la tâche en ses constituants - explicitation de stratégies inhérentes à une discipline	- espace pour décrire sous forme succincte (principe) de l'activité à réaliser - « storyboard » pour noter par exemple les composants d'un comportement animal - notifications (prompts) pour utiliser une stratégie en particulier	- rendre la pensée et les stratégies de la discipline explicites * réduction des degrés de liberté * enrôlement
2) Intégrer un guidage expert concernant les pratiques scientifiques Quintana & al. 2004 Zacharia & al. 2015	- modélisation -apport d'informations scientifiques expertes	- modèle d'un phénomène ou processus (changement climatique par exemple). - vidéo avec des explications des experts (une conférence par exemple) - pistes ou suggestions sur les sources scientifiques à utiliser - explications sur la manière dont une hypothèse doit être rédigée et son contenu	- guider le travail de la démarche conformément aux orientations expertes * présentation de modèles de solutions
3) Structurer la tâche (démarche) Quintana & al. 2004 Reiser 2004	- pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier - automatisation de la représentation des données ou du stockage d'information - restriction des options disponibles pour les élèves	- carte avec des espaces qui représentent les étapes de la démarche - outil qui converti les expressions verbales des élèves en formules mathématiques. - hypothèses prédéfinies sous la forme de variables et relations	- réduire la charge cognitive * Réduction des degrés de liberté
4) Articuler la démarche Quintana & al. 2004 Reiser 2004 Zacharia & al. 2015	- Guidage pour la planification - Guidage pour contrôler et surveiller le travail en cours	- notifications (prompts) qui rappellent aux élèves les aspects du travail qui n'ont pas été encore réalisés. - notifications (prompts) pour encourager les élèves à surveiller l'avancement du travail - notifications (prompts) pour faciliter l'articulation et donner du sens au travail en cours	- faciliter l'articulation et la réflexion lors de la démarche * signalisation des caractéristiques déterminantes * enrôlement * maintien de l'orientation

Tableau 3 : grille de catégorisation des supports d'étayages présentés dans un EIAH, selon Saavedra (2015)

Cette catégorisation des étayages découpée en quatre fonctions a été utilisée pour étayer une situation de conception expérimentale dans LabBook. Dans notre étude, nous allons nous centrer plus particulièrement sur la conception du protocole qui est une tâche inhérente à la conception expérimentale.

Ainsi, nous allons dans un premier temps mettre en place des étayages pour élaborer la situation de conception expérimentale en utilisant les supports d'étayages proposés par la plateforme LabBook et testés dans la thèse de Saavedra. Par exemple, les documents ressources mis à disposition ont permis d'apporter des informations scientifiques (fonction n°2) pour aider les élèves au niveau des concepts en jeu à l'origine de difficultés. De plus, la mise en place d'une structuration du rapport expérimental a permis d'aider les élèves en structurant la tâche (fonction n°3).

Dans notre travail qui vise à étayer la conception d'un protocole, nous allons élaborer et tester des étayages en utilisant le logiciel Copex, qui permet de structurer la tâche (fonction n°3) en proposant une pré structuration du protocole en étapes et en actions paramétrées (paragraphe 2). Nous allons pour cela, repartir de l'analyse d'étayages proposés par un environnement informatique dédié à la chimie, pour aider les élèves dans une activité de conception de protocole.

1.5. Etayer la conception de protocole

Dans ce paragraphe nous allons développer l'analyse d'un logiciel qui propose des étayages pour une activité de conception expérimentale incluant la conception de protocole. Ce type de support est un des types d'étayage proposés et développés par l'équipe MeTAH dans un EIAH en chimie.

Le logiciel Copex chimie³ présenté dans les travaux de Girault & d'Ham (2014) est un logiciel qui apporte des étayages à différents niveaux afin d'aider les élèves à concevoir un protocole expérimental en chimie. Les auteurs proposent une analyse des supports d'étayages mis en place qui sont pour certains fixes, et pour d'autres adaptatifs. Nous allons ainsi dans un premier temps définir ces termes avant de présenter l'analyse du logiciel.

1.5.1 Etayages fixes, étayages adaptatifs

La comparaison de l'efficacité entre les étayages fixes et adaptatifs a fait l'objet de nombreuses recherches. En effet, alors que les travaux de Chang & al. (2001) mettent en avant l'efficacité des étayages fixes dans les apprentissages, McManus (2000) rejette cette idée en insistant sur le fait que ce type d'étayage ne permet pas d'individualiser les aides apportées qui sont ainsi peu efficaces. Une étude comparative entre ces deux types d'étayage a été proposée par Azevedo, Cromley & Seibert (2004), dans laquelle ils proposent à des étudiants un environnement hypermédia dans une situation sur l'apprentissage du système circulatoire. L'environnement hypermédia améliorerait les apprentissages d'un sujet complexe selon Jakson, Krajcik & Soloway (2000), mais nécessite néanmoins un accompagnement pour guider les élèves dans une démarche de résolution (Azevedo & Cromley, 2003). Les résultats de leur étude ont montré que l'étayage adaptatif aide davantage les élèves, notamment parce qu'ils activent leurs acquis antérieurs et s'investissent davantage dans la tâche qui leur est proposée. Ils précisent que ce type d'étayage nécessite un diagnostic en temps réel afin d'apporter les aides au bon moment (Merrill, Reiser, Merrill & Landes, 1995).

³ Lien : <http://copex-chimie.imag.fr>

1.5.2 Etayer la conception de protocole avec le logiciel Copex Chimie

Le logiciel Copex chimie apporte des étayages à différents niveaux afin d'aider les élèves à concevoir un protocole expérimental sur le « dosage du colorant E124 dans le sirop de grenadine ». Le logiciel propose des étayages fixes (Marzin, 2015) que sont les documents ressources qui apportent des compléments scientifiques, et la pré structuration du protocole. Cet étayage fixe de pré structuration du protocole a été élaboré à partir de travaux sur la description et les attentes en terme de structuration de protocole (Girault & al., 2012) à partir d'un modèle en étapes et en actions paramétrées. Les étayages peuvent être de différents niveaux en fonction du degré de pré structuration souhaité, ce qui rejoint la deuxième fonction de Bruner « diminution de la complexité de la tâche » reprise par Reiser (2004), et Quintana & al. (2004) avec l'idée de « provide structure for complex tasks and functionality ». De plus le logiciel propose un étayage adaptatif par le biais de rétroactions personnalisées également à différents niveaux, c'est à dire à partir des résultats de la simulation de la procédure proposée, mais aussi à partir d'un diagnostic des erreurs par contraintes (Ohlsson, 2002). Le contenu des rétroactions a été modélisé dans le cadre de la théorie Anthropologique du Didactique (Chevallard, 1999) (cf. chapitre 4). Quand la tâche n'est pas enjeu d'apprentissage, les messages envoyés sont orientés au niveau de la technique de la tâche, ils ont pour fonction de faciliter la tâche pour l'élève, ce qui rejoint les concepts développés par Reiser (2004). En revanche, quand la tâche à réaliser est enjeu d'apprentissage, les rétroactions sont orientées au niveau de la technologie de la tâche. L'étude du logiciel Copex chimie a montré que les étayages fixes proposés, dont la pré structuration du protocole, mettaient les élèves face à la complexité de la tâche mais conduisaient à des protocoles très incomplets. En revanche, la mise en place de rétroactions personnalisées a permis aux élèves de travailler plus longtemps sur la tâche et d'obtenir de meilleurs protocoles. Ces résultats rejoignent ceux d'Etkina & al. (2010), c'est à dire que l'activité de conception expérimentale doit être étayée de façon à amener une certaine réflexion autour de la tâche. De plus, les rétroactions personnalisées orientées sur des connaissances devraient, selon les travaux d'Ohlsson (1996), favoriser l'apprentissage des élèves.

La plateforme informatique en ligne LabBook conçue pour l'enseignement scientifique expérimental, a été développée à la suite des travaux sur Copex Chimie, et propose actuellement des étayages fixes. En effet, LabBook inclut un éditeur de protocole, Copex, qui propose un support à une démarche de conception expérimentale générique. A terme, la finalité de notre travail est de contribuer à l'évolution de la plateforme LabBook vers des étayages adaptatifs et des rétroactions personnalisées. La formalisation des étayages adaptatifs nécessite une modélisation didactique qui est notre contribution.

Nous analyserons ainsi les types d'étayages proposés dans la plateforme LabBook, qui fait l'objet de notre étude, dans le paragraphe 2.

2. LabBook : une plateforme numérique pour étayer l'activité de conception expérimentale

Nous allons présenter dans ce paragraphe, la plateforme numérique LabBook que nous allons utiliser dans notre étude comme support d'étage à la conception expérimentale et plus particulièrement à la conception de protocole. Nous allons pour cela, nous placer du côté de l'interface utilisateur (l'élève) puis du côté de l'interface concepteur (chercheur ou enseignant).

2.1. Présentation de l'interface utilisateur

La plateforme numérique LabBook⁴, développée par l'équipe MeTAH du LIG (Laboratoire d'Informatique de Grenoble) est en libre accès et en ligne via le navigateur Firefox. Un identifiant et un mot de passe personnels sont requis pour y entrer.

Chaque compte utilisateur (élève) bénéficie d'un accès aux missions que le concepteur (qui peut être l'enseignant) lui a attribuées.

Une fois la mission sélectionnée, l'utilisateur voit apparaître un encart avec le texte d'accueil qui est la consigne générale de la mission. La figure 4 ci-dessous présente l'interface correspondant à la mission « Ferment. N3 » sélectionnée.

The screenshot shows the LabBook interface. At the top left is the LabBook logo. To its right, a welcome message reads: "Bienvenue Catherine, choisissez la mission sur laquelle vous souhaitez travailler." In the top right corner, there is a button labeled "Interface enseignant". On the left side, there is a vertical menu with four sections: "Nouvelles missions", "Missions en cours", "Missions rendues", and "Missions archivées". The "Missions en cours" section is circled in red and contains several mission entries, including "Dragon : Etude préalable pour le projet" and "Fermentation : Le métabolisme fermentaire des levures". The main content area on the right displays the details for the selected mission "Ferment. N3". The title is "FERMENTATION ALCOOLIQUE". The text describes the process of fermentation and its application in industry. Below the text, it states the objective: "On cherche à mettre en évidence le métabolisme fermentaire des levures." It also lists the group as "Catherine Bonnat", the start date as "09/06/16", and the end date as "09/06/16". A "Consulter" button is located at the bottom right of the mission details box.

Figure 4 : accueil de la mission sur LabBook

La dénomination « groupe » permet d'associer plusieurs utilisateurs (élèves) sur la même mission pour les travaux collaboratifs. Les élèves partagent ainsi la même mission et donc le même rapport expérimental. Nous n'utiliserons pas cette fonction dans notre étude.

Une fois la mission commencée, l'utilisateur arrive sur une interface de structuration du rapport expérimental que le concepteur peut lui même formaliser en différentes parties.

⁴ Lien : <http://labbook.imag.fr/>

Pour chacune des parties, le concepteur peut mettre à disposition de l'utilisateur différents outils (appelés Labdocs) : outils texte, dessin, graphique, protocole. Nous développons l'outil « protocole » dans le paragraphe 2.3.

Il existe d'autres fonctions situées en haut de la page qui sont à disposition de l'utilisateur.

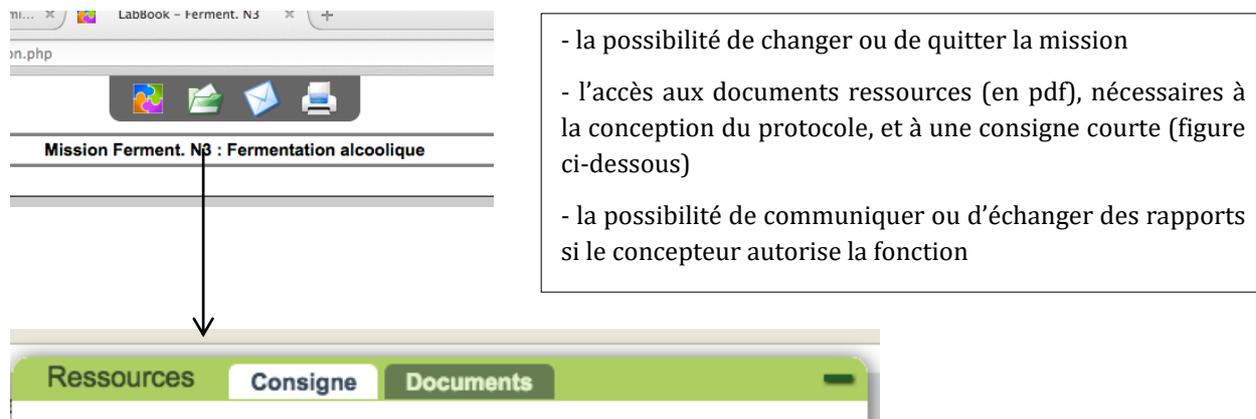


Figure 5 : autres fonctions de la plateforme LabBook

2.2. Présentation de l'interface concepteur

Le concepteur (chercheur et/ou enseignant) a la possibilité de récupérer les rapports des utilisateurs via l'interface enseignant.

L'enseignant a également la possibilité d'annoter les rapports expérimentaux, et d'envoyer des messages qui peuvent contenir des documents ressources. Nous n'utiliserons pas cette fonction dans notre étude.

Les documents ressources doivent être déposés par le concepteur dans le logiciel (en pdf ou lien internet), afin qu'ils soient accessibles, via l'onglet documents ressources, à tous les utilisateurs de la mission (figure 6).

L'enseignant, s'il est concepteur de la mission peut également modifier la consigne donnée aux utilisateurs.

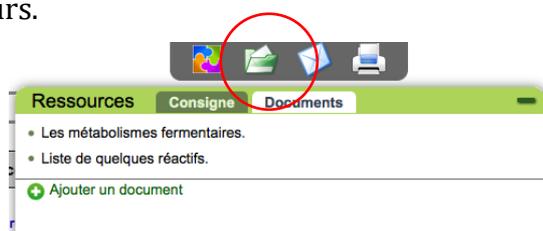


Figure 6: documents ressources

2.3. Présentation de l'éditeur de protocole Copex

Nous choisissons de développer les fonctions du logiciel en rapport à la rédaction du protocole qui fait l'objet de nos recherches.

Dans le rapport expérimental, le concepteur peut mettre à disposition des élèves un Labdoc de type « protocole » que nous présentons ci-dessous. Ce Labdoc « protocole » permet de structurer l'activité de conception expérimentale, et plus

précisément la rédaction du protocole expérimental en étapes et en actions paramétrées.

On retrouve dans ce Labdoc les parties suivantes :

- ✓ la question de recherche ou objectif
- ✓ les hypothèses ou résultats attendus
- ✓ le principe de la manipulation
- ✓ la liste de matériel
- ✓ le mode opératoire : il se décline en une succession d'étapes ou d'actions que l'utilisateur peut ajouter.

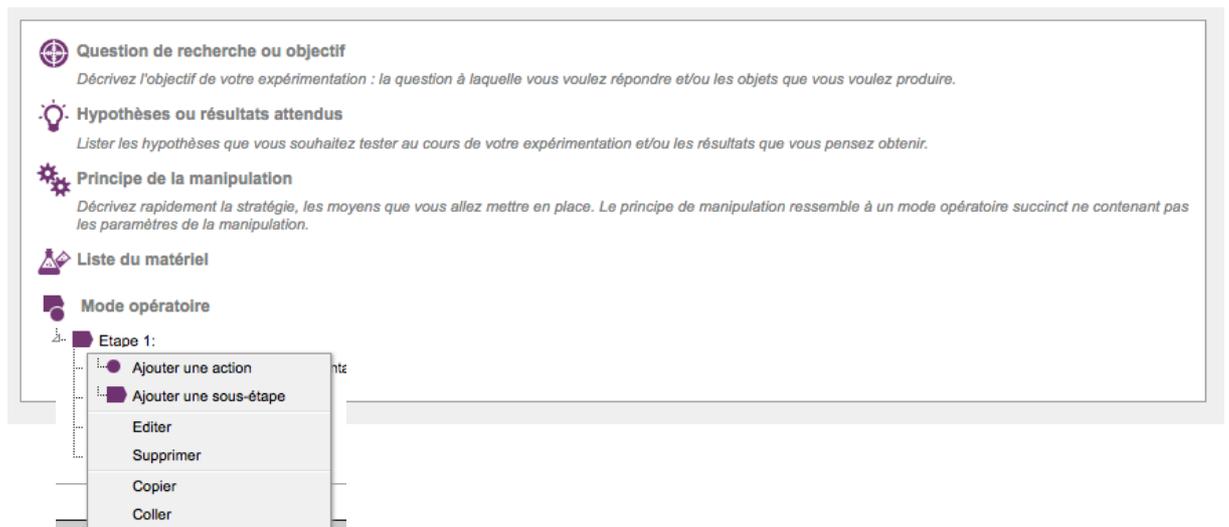


Figure 7 : présentation du labdoc "protocole"

La figure 7 présente le Labdoc implémenté par défaut, néanmoins le concepteur a la possibilité de le structurer.

Il existe deux possibilités de pré structurer le Labdoc.

Le concepteur peut pré remplir chacune des parties du Labdoc protocole, il s'agit d'un premier « niveau » de pré structuration (paragraphe 2.3.1).

Mais il existe également un deuxième « niveau » de pré structuration concernant les actions (paragraphe 2.3.2).

Nous développons ces deux fonctions ci-après.

2.3.1 1^{er} « niveau » de Pré structuration du Labdoc « protocole »

Le concepteur a la possibilité de pré remplir les différentes parties du Labdoc, qui seront visibles par les utilisateurs.

Nous proposons dans la figure 8 ci-dessous un exemple de pré structuration du Labdoc, dans lequel le concepteur a pré rempli les items suivants : question de recherche ou objectif, hypothèses ou résultats attendus, liste du matériel.

▼ **Protocole pré-structuré 3** [Visible]

Question de recherche ou objectif
Mettre en évidence le métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures

Hypothèses ou résultats attendus
Identifier les réactifs et les produits de la fermentation alcoolique.
Donnez les évolutions attendues des concentrations en réactifs et en produits, lors d'une fermentation alcoolique.

Principe de la manipulation
Décrivez rapidement la stratégie, les moyens que vous allez mettre en place. Le principe de manipulation ressemble à un mode opératoire succinct ne contenant pas les paramètres de la manipulation.

Liste du matériel

• Becher	• Alcootest	• Amidon	• Bain marie
• Cristalliseur	• Bouchon	• Bouchon percé	• Bouilloire
• Eau de chaux	• Dioxyde de carbone	• Dioxygène	• Eau
• Glucotest	• Eprouvette graduée	• Ethanol	• Glucose
• Suspension de levures	• Pipette	• Saccharose	• Suspension de bactéries
	• Thermomètre	• Tube coudé	• Tube à essai

Mode opératoire

Mode opératoire

- Etape 1:
- Etape 2:
- Etape 3:

Figure 8 : structure détaillée d'un exemple de labdoc "protocole" pré rempli

Notons que pour ce niveau de pré structuration, les élèves peuvent modifier en effaçant, ou modifiant les parties pré remplies.

Par exemple, ils peuvent compléter la liste de matériel.

Concernant le mode opératoire qui se décline en une succession d'étapes ou d'actions qui peuvent être proposées, les élèves peuvent modifier l'ordre en déplaçant les étapes et/ou les actions pré remplies, ou bien dupliquer, voir les supprimer.

Nous notons qu'il n'y a actuellement pas d'annulation (retour en arrière) possible.

2.3.2 2^{ème} « niveau » de Pré structuration du Labdoc « protocole »

La pré structuration du protocole peut se réaliser à un deuxième niveau.

En effet, dans le paragraphe précédent nous avons montré qu'il était possible pour les élèves de supprimer, modifier les parties pré remplies par le concepteur. Nous proposons dans cette partie un deuxième niveau de pré structuration concernant les différentes parties du Labdoc « protocole ».

Pour cela, le concepteur doit implémenter un fichier programmable (en XML), dans lequel il a la possibilité de :

- modifier les appellations des différentes parties (objectifs, hypothèses...)
- imposer aux élèves une ou plusieurs de ces parties pré remplies, qu'ils ne pourront pas modifier (y compris la liste de matériel)
- proposer des actions pré structurées. Nous développons plus particulièrement ce point.

La pré structuration des actions est à réaliser dans un fichier XML. Elle peut se faire sous différentes formes :

- « **action libre** » : la forme la plus simple. Elle propose une action qui est à compléter entièrement par l'utilisateur, qu'il peut commenter si nécessaire (figure 9).

Figure 9 : action libre

- « **action titre imposé et contenu libre** » : le titre de l'action est imposé mais le champ est libre comme pour le type d'action libre.
- « **action titre imposé et contenu structuré** » : l'utilisateur choisit une action avec un titre imposé qui lui donne accès au contenu de l'action pré structurée qui ne peut être modifié. Seuls les choix de paramètres sont à sa charge (figure 10).

Figure 10 : action titre imposé et contenu structuré

Les paramètres de l'action peuvent être libres, ou sous la forme d'une liste à choix. Actuellement, seuls apparaissent dans les listes à choix (menu déroulant) les éléments présents dans la liste de matériel, ou bien les unités de grandeurs (figure 10).

Afin que le matériel souhaité apparaisse au choix dans les menus déroulants des actions (figure 11), il est nécessaire de rajouter des « balises » supplémentaires dans le fichier XML pour établir des groupes de matériel. Ces groupements de matériel sont réalisés en fonction des listes à choix de paramètres qu'on souhaite mettre à disposition des élèves. Par exemple regrouper l'amidon, l'eau, l'eau de chaux... sous la balise « liquide ». Nous verrons, dans le chapitre 7 lors de la conception de la situation, l'importance de ces listes à choix.

L'action peut également produire un nouveau matériel qui apparaîtra dans les menus déroulants des actions suivantes.

De plus, afin que l'étudiant ait le choix de « ne rien choisir » dans le menu déroulant, il est nécessaire de proposer une case « vide » pour le matériel qui apparaîtra par défaut dans l'action.

Figure 11 : paramètre "vide" par défaut

Enfin, le commentaire de l'action peut être par défaut « Ceci est le commentaire par défaut », ou bien il peut être pré structuré en y ajoutant une ou plusieurs phrases que l'utilisateur peut garder, modifier ou supprimer.

Après cette présentation de la plateforme, nous proposons dans la partie suivante de croiser l'analyse des supports d'étayages présentés dans le paragraphe 1, avec les fonctionnalités proposées par la plateforme LabBook et le logiciel Copex.

3. Analyse des étayages proposés par la plateforme LabBook

La plateforme LabBook est un support à la rédaction de rapports expérimentaux. Il propose des étayages variés non spécifiques qui peuvent ainsi être modulés en fonction des situations proposées (SVT, physique Chimie) et des attentes institutionnelles (classe, objectifs d'apprentissages). L'enseignant peut ainsi définir les tâches à la charge de l'élève et proposer des étayages différents en fonction de ses objectifs (Quintana & al., 2004).

Nous proposons ainsi, dans le tableau ci-dessous, une classification des étayages proposés par la plateforme LabBook selon la catégorisation de Saavedra (2015) explicitée dans le paragraphe 1.4.

Supports d'étayage proposés		Fonctions	Modes
LabBook	Consignes	- Articuler la démarche - Structurer la tâche	- Guidage pour la planification - Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier
	Documents ressources	- Intégrer un guidage expert concernant les pratiques scientifiques	- Apport d'informations scientifiques expertes
	Rapport pré-structuré en différentes parties	- Structurer la tâche	- Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier - Décomposition de la tâche en ses constituants
Copex « libre »	« Labdoc protocole » pré rempli		
	- Objectifs	- Articuler la démarche	- Guidage pour la planification
	- principe de la manipulation	- Organiser la tâche autour de la sémantique d'une discipline	- Décomposition de la tâche en ses constituants
	- liste de matériel - étapes et actions du protocole pré remplies	- Structurer la tâche	- Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier
Copex « Pré structuré »	« Labdoc protocole » actions pré structuré		
	- liste finie du matériel	- Structurer la tâche	- Restriction des options disponibles pour l'élève
	- liste à choix des actions - liste à choix des paramètres d'actions		- Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier

Tableau 4 : supports d'étayages proposés dans la plateforme LabBook incluant le logiciel Copex

La présence de consignes permet de guider les élèves dans la démarche de résolution incluant une activité de conception expérimentale. Ainsi, ces consignes vont permettre d'articuler la démarche dans laquelle les élèves sont investis.

La démarche peut également être guidée par la structuration du rapport en différentes parties à la charge du concepteur. Ce rapport permet d'aider les élèves car il structure la tâche demandée (conception expérimentale).

Afin de réaliser cette activité, les élèves peuvent avoir à disposition des ressources conçues et implémentées par l'enseignant. Ces étayages fixes (Marzin, 2015) vont ainsi permettre de guider le travail conformément aux orientations expertes. Les ressources peuvent avoir différentes actions en terme d'étayages, c'est à dire qu'elles peuvent apporter des aides conceptuelles, mais également sur les méthodes et la démarche à suivre.

Le logiciel Copex propose également une pré structuration du protocole qui aide à sa rédaction (Marzin & de Vries, 2011).

En effet, le labdoc « protocole » du logiciel Copex peut être pré structuré à deux niveaux. Un premier niveau consiste à pré remplir les objectifs et le principe de manipulation ce qui permet d'articuler la démarche et d'organiser la tâche. La liste

de matériel et les étapes / actions pré remplies permettent quant à elles de structurer la tâche.

Néanmoins cet étayage peut être complété par un deuxième niveau de pré structuration des actions. En effet, le concepteur peut mettre à disposition des élèves une liste d'actions finie. Ces dernières peuvent être pré structurées c'est à dire que le concepteur peut proposer une pré écriture des actions en laissant à la charge de l'élève le soin de les compléter. Pour cela, le concepteur peut utiliser une autre fonction du logiciel qui est de proposer des choix à l'élève pour remplir ces actions « à trous ».

Les étayages peuvent ainsi être de différents niveaux en fonction du degré de pré structuration souhaité, ce qui rejoint l'idée de « diminution de la complexité de la tâche » développée par Reiser (2004), et celle de Quintana & al., (2004). La notion d'étayage vise la réduction des difficultés des élèves en leur permettant d'entrer dans la tâche et de les guider pour qu'ils résolvent le problème par eux-mêmes.

Comme nous l'avons mis en évidence dans l'analyse des différents travaux, la mise en place d'étayages nécessite une analyse préalable de la tâche à réaliser ainsi qu'une identification *a priori* des difficultés des élèves (Astolfi & Peterfalvi, 1993 ; Quintana & al., 2004).

Nous allons ainsi, dans le chapitre 3, réaliser dans un premier temps une analyse des savoirs en jeu dans la situation que nous avons choisie c'est à dire la mise en évidence de la fermentation alcoolique. Puis, nous allons réaliser une analyse *a priori* des conceptions et des difficultés des élèves sur ce thème.

Chapitre 3 : Difficultés et conceptions des élèves sur le métabolisme de la fermentation alcoolique

Dans cette partie nous présentons une analyse des savoirs en jeu sur le métabolisme de la fermentation alcoolique. Cette analyse permettra la modélisation des connaissances dans la situation de conception expérimentale sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique que nous avons choisie.

Pour cela, nous proposons dans un premier temps, une analyse des savoirs de référence sur les métabolismes cellulaires afin de contextualiser la fermentation alcoolique parmi les principaux fonctionnements cellulaires. Nous nous plaçons au niveau des attendus d'une classe de terminale scientifique de spécialité SVT, et nous nous référons aux modèles d'études couramment utilisés. Ainsi, nous prenons la levure *Saccharomyces Cerevisiae* comme modèle d'étude des métabolismes de la respiration cellulaire et de la fermentation alcoolique, et les chlorelles (algues unicellulaires) pour celui de la photosynthèse. Nous réalisons l'analyse des savoirs de référence à partir de l'étude des ressources institutionnelles comme les programmes et les manuels, que nous approfondissons avec des ressources universitaires.

Ce travail nous amène à dégager et développer les notions clés de ce métabolisme cellulaire dont l'étude reste complexe. En effet, nous réalisons cette analyse des savoirs savants conjointement à l'analyse des difficultés identifiées *a priori* dans la littérature que nous présentons dans la deuxième partie de ce chapitre.

Ainsi, nous organisons ces analyses selon des axes d'études communs :

- tout d'abord en étudiant la diversité des métabolismes cellulaires. Nous limitons néanmoins cette étude aux trois principaux métabolismes étudiés au lycée que sont la photosynthèse, la respiration cellulaire et les fermentations alcoolique et lactique
- puis en développant les aspects chimiques des réactions impliquées et les conditions de leur réalisation
- et enfin nous mettons en avant les différentes échelles d'études des métabolismes, selon lesquelles les programmes scolaires sont construits.

1. Construction du savoir de référence

1.1. Les métabolismes cellulaires

Le métabolisme d'une cellule est la somme du catabolisme, ou activité de dégradation, et de l'anabolisme, ou activité de synthèse. Le catabolisme dégrade des molécules complexes en molécules de base, soit pour produire de l'énergie soit pour produire des molécules directement utilisables par les voies de l'anabolisme.

La respiration cellulaire et les fermentations alcoolique et lactiques sont des voies de catabolisme.

L'anabolisme concerne toutes les synthèses comme le métabolisme de la photosynthèse réalisé par les cellules végétales.

Les voies métaboliques sont donc très nombreuses et reliées les unes des autres (figure 12).

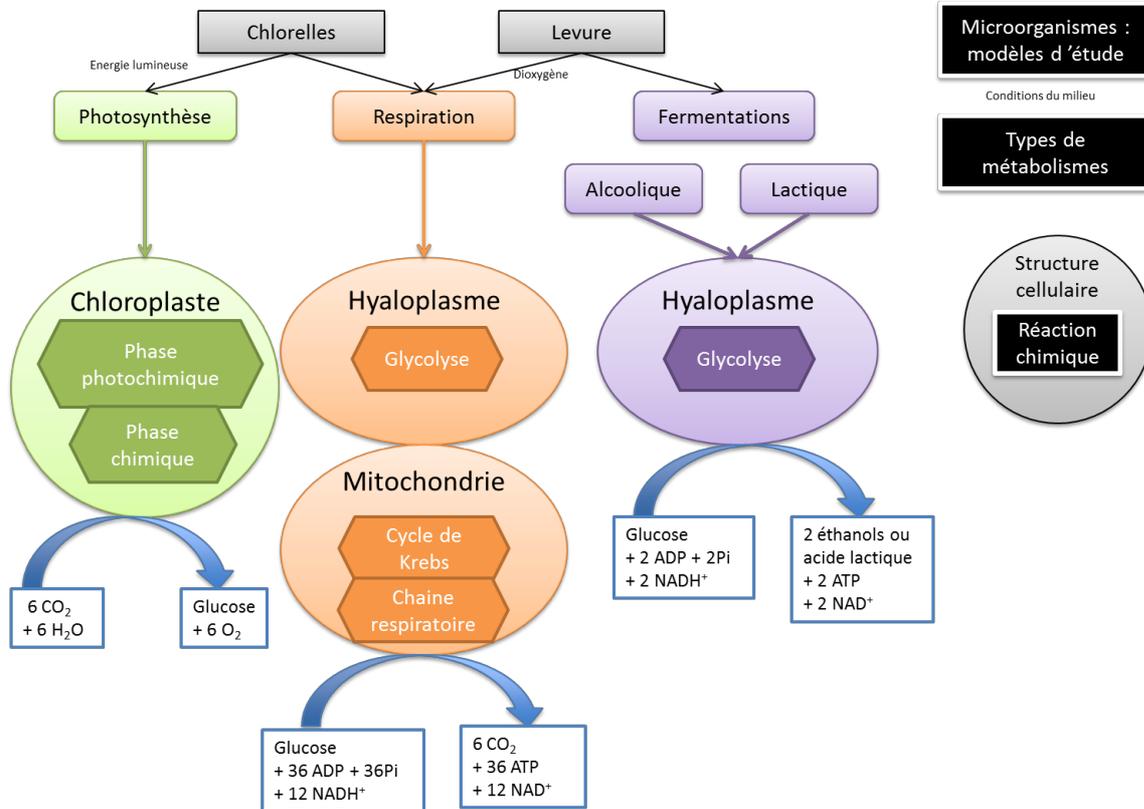


Figure 12 : trame conceptuelle des métabolismes cellulaires

L'étude du métabolisme se complexifie avec la multiplicité des voies utilisées par certains organismes. C'est le cas notamment des chlorelles (algues unicellulaires) qui réalisent la photosynthèse et la respiration cellulaire, et de la levure *Saccharomyces Cerevisiae* (figure 13) qui réalise la respiration cellulaire et la fermentation alcoolique.

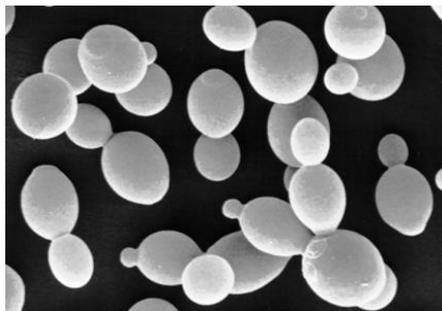


Figure 13 : *Saccharomyces cerevisiae*

La présence de plusieurs organites, tels que les chloroplastes et les mitochondries chez les chlorelles leur permet de réaliser simultanément la respiration cellulaire et la photosynthèse, selon l'intensité lumineuse dont elles disposent. Les levures sont pourvues de mitochondries, et ont la capacité de réaliser selon les conditions du milieu (présence ou absence de dioxygène), deux métabolismes qui sont la respiration cellulaire et la fermentation alcoolique.

Ainsi, les conditions du milieu comme la luminosité et la disponibilité en dioxygène influencent le type de métabolisme réalisé par le microorganisme.

1.2. L'influence du milieu dans la réalisation d'un métabolisme

Nous allons décrire l'effet de deux facteurs sur le métabolisme effectué par la levure *Saccharomyces*, qui est le microorganisme utilisé dans notre étude sur la fermentation alcoolique.

La levure peut produire l'énergie nécessaire à sa survie et à sa reproduction de deux manières différentes, en fonction du milieu ambiant. Quand l'oxygène est disponible, le glucose est métabolisé par voie aérobie. En l'absence de dioxygène, elle effectue la fermentation alcoolique.

Un autre facteur, lié au vivant notamment influe sur la réalisation du métabolisme. En effet, une des conditions nécessaires à la réalisation optimale de la fermentation alcoolique par les levures est la température du milieu :

- en dessous de 10°C, le processus est très ralenti voire incomplet
- au-delà de 45 à 50 °C, les levures meurent, le milieu devient inapte à leur survie.

La température optimale de réaction chez la levure *Saccharomyces Cerevisiae* est proche de 25°C.

Cette condition est directement liée à l'utilisation d'un organisme vivant, ce qui implique de classer les microorganismes utilisés comme les levures dans le vivant. En effet, la levure *Saccharomyces Cerevisiae*, est un champignon unicellulaire.

La température du milieu influe ainsi sur la vitesse des réactions chimiques à l'origine du processus de fermentation alcoolique.

1.3. Un processus réactionnel complexe

La fermentation alcoolique est un processus complexe, dont l'équation bilan de réaction est le résultat d'une chaîne réactionnelle (figure 14).

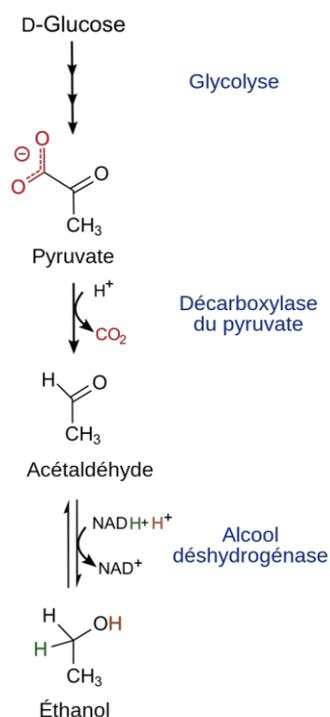
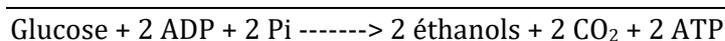


Figure 14 : la chaîne réactionnelle de la fermentation alcoolique

La première étape, la glycolyse est une chaîne réactionnelle commune aux métabolismes de la respiration et de la fermentation cellulaires. Elle consiste à la dégradation du glucose de façon incomplète en pyruvate, ce qui amène à la production d'énergie sous la forme de deux molécules d'ATP.

En l'absence d'oxygène, la réaction consiste à la conversion du pyruvate en éthanol et dioxyde de carbone. Il s'agit d'un processus de fermentation en deux étapes dont le bilan de dégradation du glucose est :



Le bilan en NAD^+/NADH étant nul, ces coenzymes n'apparaissent pas dans l'équation globale de la transformation du glucose en éthanol.

Le rendement énergétique de la fermentation alcoolique est ainsi bien moins important (2 ATP par molécule de glucose dégradée) que celui de la respiration cellulaire (38 ATP par molécule de glucose dégradée car l'oxydation est totale).

L'ensemble des réactions de la fermentation alcoolique se réalise dans le cytoplasme des cellules.

1.4. La fermentation alcoolique à différentes échelles d'études

La fermentation alcoolique est un processus qui fait appel à différentes échelles d'études liées à l'utilisation de microorganismes. Or, l'étude de ce métabolisme chez les levures qui sont des organismes unicellulaires implique une seule et même échelle d'étude qui confond l'organisme et la cellule. Les échanges cellulaires ainsi réalisés se font directement avec le milieu environnant. Enfin, le processus réactionnel fait intervenir les dimensions moléculaire, et atomique.

1.5. Conclusions

Le métabolisme cellulaire est un phénomène complexe qui met en jeu des concepts de chimie et de biologie selon des échelles biologiques différentes.

Les levures sont des microorganismes cellulaires qui sont sensibles aux variations des conditions du milieu. Elles réalisent deux métabolismes qui sont la respiration cellulaire et la fermentation alcoolique. Ce sont les conditions du milieu et notamment la teneur en dioxygène qui va influencer sur le type de métabolisme réalisé. Une autre condition nécessaire à la réalisation optimale de la fermentation alcoolique est la température du milieu. En effet, les levures étant des organismes vivants et unicellulaires, elles sont sensibles à la variation de la température qui agit sur la vitesse de réaction de la fermentation.

Le métabolisme de la fermentation alcoolique est ainsi un phénomène complexe qui peut être à l'origine de difficultés chez les élèves. Une analyse épistémologique de ces concepts dans le paragraphe suivant permettra d'identifier les difficultés *a priori*, afin de proposer des étayages en conséquence dans la situation.

2. Conceptions et difficultés identifiées *a priori*

L'analyse des savoirs de référence précédemment présentée nous a permis de montrer la complexité et la richesse des concepts associés à celui de la fermentation alcoolique. Il se dégage ainsi plusieurs aspects :

- La fermentation alcoolique se distingue des autres métabolismes par des conditions de réalisation strictes.
- La fermentation alcoolique est un ensemble de réactions chimiques complexes
- La fermentation alcoolique survient à des niveaux d'organisation biologiques différents
- L'étude de la fermentation alcoolique est au carrefour de deux disciplines que sont la biologie et la chimie.

Nous supposons que ces différentes caractéristiques peuvent être à l'origine de difficultés chez les élèves. Nous allons ainsi présenter les résultats de travaux afin d'identifier les difficultés relatives aux concepts scientifiques étudiés. Nous allons pour cela relever les principales difficultés selon les axes présentés ci-dessous :

- Difficultés à distinguer les différents métabolismes et notamment confusion entre les métabolismes de la respiration cellulaire et de la fermentation alcoolique.
- Difficultés à associer le métabolisme de la fermentation alcoolique à un processus impliquant des organismes vivants.
- Difficultés liées à l'utilisation du vivant dans une situation de conception expérimentale
- Difficultés à matérialiser les gaz et à définir leurs rôles dans le métabolisme de la fermentation alcoolique
- Difficultés à associer l'équation de réaction statique à un phénomène dynamique et complexe.
- Difficulté à décloisonner les disciplines et à conceptualiser hors du champ disciplinaire

Enfin, nous aborderons un dernier point lié à la conception expérimentale et que nous n'avons pas développé dans l'analyse des difficultés liées à cette activité dans le chapitre 1. Il s'agit des difficultés liées à la pertinence du matériel utilisé par les élèves, et à l'influence du matériel disponible dans la recherche d'une stratégie de résolution.

- Difficultés liées à l'influence du matériel dans la conception expérimentale

2.1. Difficultés à distinguer les différents métabolismes, confusion entre les métabolismes de la respiration cellulaire et de la fermentation alcoolique

De précédentes études dont celle de Flores, Tovar & Gallegos (2003) menée au Mexique et Songer & Mintzes (1994) aux Etats Unis, ont mis en évidence des difficultés sur le concept même de la fermentation alcoolique. Ces études menées à l'université ont pointé notamment des difficultés dues à la confusion entre les différents métabolismes étudiés, la photosynthèse, la respiration cellulaire, et la fermentation alcoolique. Rappelons qu'en France, ces trois métabolismes sont étudiés successivement en classe de terminale de spécialité SVT (BO spécial n° 8 du 13 octobre 2011).

Leurs études mettent en avant une définition erronée et récurrente chez les étudiants, à savoir que la fermentation est, selon eux, une respiration en anaérobie « *anaerobic respiration* ». Ils proposent deux explications.

L'étude de Flores & al. (2003) présente les résultats d'une analyse comparative de 1200 questionnaires à destination d'étudiants de niveaux d'étude différents à Mexico. Ce questionnaire porte en particulier sur la représentation de la cellule, et les relations entre la structure et les fonctions cellulaires d'un organisme. Les résultats mettent en avant chez les étudiants, l'association d'organismes simples à un métabolisme simple « *unicellular organisms respire anaerobically because they are simple* » (Flores & al., 2003, p.274). Ce qui impliquerait, toujours selon ces auteurs, que les plantes (perçues comme des organismes simples) et les organismes unicellulaires réalisent un métabolisme anaérobie. Cette vision pose également des problèmes quant à la définition d'organismes et surtout sur la complexité des organismes. Cela soulève également un questionnement à propos de la connaissance des élèves sur les microorganismes et notamment celui de la levure qui réalise les deux types de métabolismes, la fermentation et la respiration cellulaire. De plus, cela soulève une méconnaissance du fonctionnement métabolique des végétaux.

Une autre explication a été proposée dans une étude plus ancienne de Songer & Mintzes (1994). Cette étude présente les résultats de l'évolution des conceptions des élèves aux Etats Unis sur le thème de la respiration cellulaire. Une des conceptions relevées chez les élève est qu'en absence d'apport de nutriments (glucides principalement) dans le métabolisme de la respiration cellulaire, le corps a la possibilité de changer de métabolisme et de passer en respiration anaérobie, « *whithout eating, your body would bum up the reserve of glucose in the body. After that is gone it would switch to anaerobic respiration* » [Sans manger, le corps brûle les réserves de glucose disponibles. Une fois épuisées le métabolisme de respiration en anaérobie prend le pas] (Songer & Mintzes, 1994, p.628). Le métabolisme de la fermentation alcoolique est ainsi considéré comme un métabolisme de secours, qui prend le relais si la disponibilité en nutriment est diminuée. Cette conception montre également une méconnaissance quant à l'origine des substrats glycolytiques.

Une autre origine possible de confusion entre les métabolismes, est la présence de gaz (réactifs ou produits) similaires aux trois métabolismes. En effet, les élèves ont des difficultés à associer la fonction et l'origine de ces gaz pour chaque métabolisme. Un même gaz peut être un réactif ou un produit selon le type de

métabolisme concerné. Ainsi, toujours selon la même étude, le gaz consommé n'est pas fonction du type d'organisme mais du type de métabolisme réalisé « *animals are aerobic because they need oxygen, instead of plants, they respire anaerobic because they need CO₂* » [les animaux ont un métabolisme aérobie parce qu'ils ont besoin d'oxygène, alors que les plantes respirent en anaérobie parce qu'elles ont besoin de CO₂] (Songer & Mintzes, 1994, p.630).

La production de gaz et notamment le dioxyde de carbone lors de la réalisation de la fermentation alcoolique est également à l'origine de conceptions erronées (paragraphe 2.4) « *Fermentation is the use of carbon dioxide instead of oxygen* » [la fermentation consiste à utiliser le dioxyde de carbone au lieu de l'oxygène] (Songer & Mintzes, 1994, p.628), qui mettent en avant la non distinction, voir même la confusion entre les réactifs et les produits des trois métabolismes étudiés.

2.2. Difficultés à associer le métabolisme de la fermentation alcoolique à un processus impliquant des organismes vivants

La difficulté identifiée précédemment relative à l'identification des microorganismes responsables de la fermentation alcoolique est également révélée dans différentes études.

Tout d'abord, les études de Songer & Mintzes (1994) et Schneeberger & Rodriguez (1999), mettent en avant la confusion des microorganismes, notamment entre les levures et les bactéries « *Yeast causes the bread to rise because it is a bacteria and when it multiplies it has to expend which in turn bread to rise* » [les levures participent à la levée du pain car ce sont des bactéries qui se multiplient] (Songer & Mintzes, 1994, p.630).

De même Schneeberger & Rodriguez (1999) notent qu' « *en effet, certains élèves ne font pas la distinction entre une substance et les levures, êtres vivants unicellulaires* » (p.98). Les levures ne sont ainsi pas associées au concept de vivant, et aux contraintes environnementales que cela implique. Certains élèves cherchent « *quelle est la partie vivante de la levure ?* » (p.98) ce qui implique que le vivant est associé à une structure cellulaire que pourrait posséder ou pas la levure. Ainsi la place de la levure dans le monde vivant est, pour certains élèves à l'origine de difficultés.

Ceci nous amène à relever une autre conception erronée. L'étude de Songer & Mintzes (1994) met en avant le fait que, selon les élèves, la fermentation alcoolique est un processus de vieillissement, voire de mort des levures « *Yeast are dead when you use them* » « *fermentation is an aging process* » [Les levures sont mortes quand on les utilise... la fermentation est un processus de vieillissement] (Songer & Mintzes, 1994, p.628). Les étudiants ont des difficultés à concevoir que les levures sont des organismes vivants qui réalisent un métabolisme. L'idée de vieillissement est corrélée notamment au concept de vinification qui aboutit à la production d'alcool « *as yeast get older, they mix with the air and make alcohol* » [quand les levures vieillissent, elles se mélangent avec l'air et fabriquent de l'alcool] (Songer & Mintzes, 1994, p.628). Ce processus est associé à la putréfaction, la pourriture ou la mort des microorganismes. Néanmoins elle laisse apparaître une conception vraie qui est, qu'en vieillissant, les levures transforment le sucre en alcool, ce qui est du point de vue de la chimie, correcte.

En effet, cette même étude met en évidence que les élèves ont intégré le fait que la fermentation alcoolique est le résultat de la consommation de sucre qui va selon eux se « changer » en alcool et dioxyde de carbone. Nous révélons ainsi des difficultés quant à l'interprétation de l'équation de réaction dite « bilan » de ce processus. (Paragraphe 2.5)

2.3. Difficultés liées à l'utilisation du vivant dans une situation de conception expérimentale

Les résultats de travaux réalisés sur des situations de conception expérimentales impliquant l'utilisation du vivant (Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Coquidé, Bourgeois-Victor & Desbeaux-Salviat, 1999), révèlent certaines difficultés chez les élèves que nous proposons de développer dans ce paragraphe.

En effet, de précédentes recherches ont montré la difficulté de réaliser une investigation sur le vivant. Coquidé & al. (1999) dans une étude sur les rapports expérimentaux d'élèves de première S concluent sur le fait que « *l'investigation sur le vivant n'est pas simple et nécessite que le scientifique invente des protocoles originaux et des techniques proprement biologiques* ». En effet, la conception de protocoles expérimentaux sur le vivant doit prendre en compte les effets de variabilités, de spécificité, de diversité et de complexité propre au vivant. En effet, « *le réel résiste à l'expérimentation* » (Coquidé & al., 1999, p.2) et nécessite une gestion des imprévus du côté des enseignants mais aussi des élèves.

Schneeberger & Rodriguez (1999) qualifient l'utilisation du vivant comme une contrainte biologique à laquelle peut s'ajouter une contrainte temporelle. Leur étude dans des classes de lycée, montre que, du fait de leur inexpérience, les élèves n'ont pas conscience du temps nécessaire pour réaliser les montages et les mesures envisagés : « Ils manquent de temps ». L'association des contraintes biologiques (utilisant le vivant) et temporelles, ne sont pas prises en compte, dans le sens où les élèves n'ont pas conscience que les processus biologiques amorcés se déroulent sans arrêt. L'anticipation en amont lors de la conception de protocole est une difficulté à l'origine d'erreur d'interprétation des résultats obtenus. Les élèves ne prennent pas en compte l'aspect dynamique du phénomène étudié, comme nous allons le développer dans des travaux sur la réaction chimique (paragraphe 2.5). Les contraintes biologiques sont également accentuées par les contraintes institutionnelles d'une classe de lycée (temps de séance, règles de sécurité).

2.4. Difficultés à matérialiser les gaz et à définir leur rôle dans le métabolisme de la fermentation alcoolique

L'analyse des représentations des élèves sur les échanges gazeux effectués dans la réalisation de certains métabolismes a mis en évidence certaines difficultés notamment celles liées à la matérialité du gaz (Monchamp, 1997 ; Astolfi & Peterfalvi, 1997).

En effet dans une étude sur l'analyse des réponses d'élèves de seconde confrontés à l'expérience de Van Helmont⁵, Campestrini (1992) relève une difficulté pour les élèves d'accepter « *la nécessité d'un facteur minéral impalpable, le dioxyde de carbone* » (Campestrini, 1992, p. 85) pour la nutrition des plantes. Cette difficulté fait appel à la notion de matérialité du gaz qui est identifiée notamment dans les travaux d'Astolfi & Peterfalvi (1997) comme un obstacle pour les élèves car « *la matière est envisagée comme de nature solide ou liquide, mais certainement pas gazeuse* » (p.198). Les gaz ne sont pas perçus comme étant de la matière, et l'air est synonyme de vide. Ils expliquent que « *l'origine de cet obstacle résulte du caractère aperceptif de l'air et des gaz, ce qui conduit régulièrement à les oublier quand on cherche à comprendre et à interpréter divers phénomènes.* » (Astolfi & Peterfalvi, 1997, p.202). Cette idée de gaz invisible a été définie dans les travaux de Stavy (1988) à partir d'un recueil de conceptions d'élèves du collège sur le concept de gaz. Dans une étude ultérieure (1990), ce même auteur va s'intéresser aux changements d'états de la matière et notamment au phénomène de dissolution des gaz. En effet, il relève chez les élèves des difficultés à expliciter l'existence d'une dissolution des gaz du fait de l'invisibilité de ce processus. De plus, lorsqu'il s'agit d'une dissolution d'une matière solide (exemple du sucre) les élèves parlent de disparition. Les travaux de Séré (1985) précisent cette difficulté conceptuelle concernant la dissolution des gaz, en identifiant une condition nécessaire à ce phénomène de dissolution selon les élèves, qui est le mouvement de l'air. Dans son étude sur les conceptions des élèves de 6^{ème}, elle montre qu'ils éprouvent des difficultés à matérialiser l'air s'il n'est pas en mouvement, car selon eux les gaz agissent uniquement lorsqu'ils sont en mouvement. Ainsi, dans une enceinte fermée les gaz présents n'agissent pas spontanément, ce qui est un obstacle au concept de dissolution des gaz. Les gaz « agiront » qu'à partir du moment où une action est effectuée sur ce gaz comme par exemple exercer une pression.

Dans d'autres études sur la photosynthèse, le dioxyde de carbone, en plus d'être invisible n'est que très rarement associé à la fonction de nutrition pour les mêmes raisons que celles présentées ci-dessus « *un gaz n'étant pas de la matière, on ne peut pas faire de la matière vivante avec du CO₂ à l'état gazeux* » (Monchamp, 1997, p.70). De plus il s'agit d'un gaz souvent représenté comme étant une molécule néfaste. Dans une étude sur les représentations à propos de la photosynthèse, Rumelhard (1985) identifie des difficultés chez certains élèves qui associent le gaz dioxyde de carbone à l'idée de gaz toxique, malsain à l'origine de la pollution. Cette idée constitue un obstacle pour les élèves car « *les idées largement répandues sur la "pollution" en particulier par les gaz résultant des combustions et des échappements de voitures font percevoir le CO₂ comme gaz essentiellement nocif et dangereux (confondant en cela avec l'oxyde de carbone) et donc incapable de jouer un rôle positif* » (p.43).

Cette idée a été reprise dans les travaux de Songer & Mintzes (1994) dans lesquels les auteurs retrouvent associé au métabolisme de la fermentation alcoolique, la production de dioxyde de carbone considéré comme étant un « mauvais gaz ». En effet, selon les élèves, ce gaz est mauvais, car il est associé à la mort des cellules, et il serait à l'origine de la levée du pain « *the accumulation of carbon dioxide in the*

⁵ L'expérience de van Helmont sur la nutrition des plantes l'amène à conclure sur le fait que la matière constitutive des arbres provient de l'eau d'arrosage. Van Helmont éprouvait la difficulté à imaginer que l'air, une substance qui ne semble rien peser, puisse contribuer de quelque façon que ce soit à la masse végétale.

dough causes the bread to rise » (Songer & Mintzes, 1994, p.628). Les élèves parlent également de « dégazage ».

Cette idée de « mauvais gaz » à propos du dioxyde de carbone s'oppose à celle de « bon gaz » pour le dioxygène.

Nous pouvons ainsi le relier aux études sur la respiration cellulaire réalisées par Guyon (1987), qui consistaient à analyser le concept de respiration pour des élèves de lycée. En effet, cette auteure relève l'idée que la respiration est un phénomène lié au concept de vie « *C'est un phénomène naturel, indispensable à la vie, l'oxygène sert à faire vivre les cellules* » (p.168), ce qu'elle associe à une formule utilisée dans un langage plus courant comme « *Il a rendu son dernier souffle* ». Cela met en évidence une origine possible des conceptions erronées des élèves avec l'utilisation de termes dans le langage courant. Elle parle alors de conceptions vitalistes tenaces. Rumelhard (1998) qualifierait cet exemple comme étant le passage de la pensée sociale commune à la pensée scientifique, ce qui pour lui est un obstacle dans l'enseignement des SVT.

Effectivement l'utilisation par l'organisme du dioxygène pour la réalisation de certaines fonctions conforte l'association dioxygène-vie. Rumelhard (1985) a mis en évidence cette association dans des travaux antérieurs et a identifié un obstacle important « *un être vivant a besoin de respirer, il a besoin d'oxygène, mais il n'a besoin ni de carbone, ni d'azote* » (Rumelhard, 1985, p.43). En effet, Songer & Mintzes (1994) relèvent des conceptions d'élèves qui vont dans ce sens « *It (oxygen) feeds the muscles and organs with fresh air to relax them* » « *it serves as a source of energy for the cells of the body* » « *oxygen replaces carbon dioxide in the cells* » [l'oxygène nourrit les muscles et les organes avec cet air nouveau, ce qui les relaxe...cela apporte de l'énergie aux cellules...l'oxygène remplace le dioxyde de carbone dans les cellules] (Songer & Mintzes, 1994, p.626).

Dans cette citation nous retrouvons encore une conception erronée de la réaction chimique concernée, ce qui nous amène à relever les difficultés associées à ce concept.

2.5. Difficultés à associer l'équation de réaction statique à un phénomène dynamique et complexe

Les élèves éprouvent des difficultés à donner du sens au concept de réaction chimique dynamique qui se traduit par une équation de réaction statique. En effet, la difficulté de l'étude de la mise en évidence du métabolisme de la fermentation alcoolique est que les élèves, par l'observation expérimental (consommation des réactifs et apparition de produits) rendent compte à travers une équation bilan de réaction, d'une multitude de réactions chimiques en chaîne. « *L'équation bilan joue un rôle d'écran, par rapport à l'aspect dynamique, microscopique des espèces chimiques de la réaction* » (Barlet & Plouin, 1994). Ceci laisse apparaître des difficultés liées à l'échelle d'étude impliquant une confusion entre les molécules et les atomes notamment.

Cette idée de dynamisme est également présente dans les travaux de Carretto & Viovy (1994) qui relèvent les obstacles relatifs au concept de réaction chimique. En effet, ils mettent en avant les difficultés liées à l'intégration de la dynamique d'une réaction chimique qui commence par l'initiation de la réaction. L'initiation de la réaction de fermentation alcoolique est déclenchée par la présence de réactifs

dans le milieu, sans quoi la réaction ne peut démarrer. Néanmoins, la présence de réactifs implique une initiation de la réaction à partir du moment où des microorganismes sont présents dans le milieu.

2.6. Difficulté à décloisonner les disciplines et à conceptualiser hors du champ disciplinaire

Nous mettons en avant ici, les difficultés à lier des concepts différents, ce qui met en avant l'idée que l'étude de la fermentation alcoolique est au carrefour de deux disciplines, ce qui selon des travaux menés par Fortin (2004), pourrait être à l'origine de difficultés.

En effet, l'association de concepts de chimie et de biologie, définit une discipline, la biochimie. Cependant, dans l'institution scolaire (lycée), cette discipline est scindée en deux, les sciences physiques et chimie d'une part et les sciences de la vie et de la terre d'autre part.

Fortin (2004) analyse l'interdisciplinarité à travers l'étude de la mise en place en lycée (2001) des Travaux Personnels Encadrés dont l'objectif est de faire évoluer les pratiques pédagogiques (BO n°3 du 20 janvier 2000) en promouvant une démarche de décloisonnement des disciplines (BO n°24 du 22 juin 2000). A travers des témoignages d'enseignants et d'élèves, l'auteure pointe dans les discours des difficultés relatives à cette démarche de décloisonnement des disciplines, et précise que *« l'interdisciplinarité n'est pas (...) une extension de concepts d'une discipline à l'autre. En réalité elle correspond à une nouvelle contextualisation et donc restructuration du savoir scientifique pour répondre à de nouvelles problématiques »* (Fortin, 2004, p.66). Elle pointe différents obstacles, notamment celui engendré par la proposition de thèmes relatifs à des concepts génériques. En effet, les termes utilisés d'une discipline à l'autre, bien que portant le même nom ne désignent pas pour autant le même contenu conceptuel comme la croissance, le temps... Elle met ainsi en évidence des difficultés à conceptualiser hors du champ disciplinaire et à établir des liens conceptuels entre les disciplines.

La situation que nous proposons dans notre étude, fait aussi appel à des concepts de mathématiques. Cependant, comme le précise Fortin (2004), ces concepts seront utilisés principalement comme une discipline outils pour formaliser des données ce qui, selon elle, n'implique pas pour autant un décloisonnement des disciplines à l'origine de difficultés. De plus, ces concepts ne sont pas au cœur des apprentissages dans notre étude, ainsi nous ne nous attardons pas davantage sur les possibles difficultés qu'ils génèrent.

Néanmoins, l'approche pluridisciplinaire de la situation de mise en évidence de la fermentation alcoolique que nous proposons peut-être à l'origine de difficultés chez les élèves du fait des apports conceptuels de la biologie et de la chimie.

2.7. Difficulté liée à l'influence du matériel dans de la conception expérimentale

Nous avons identifié dans le chapitre 1 des difficultés relatives à la démarche d'investigation dont fait partie l'activité de conception expérimentale. Les spécificités de notre thème d'étude nous a amené à développer dans le paragraphe 2.3 les contraintes dues à l'utilisation du vivant et les difficultés que cela implique

dans la conception expérimentale. Cependant, nous n'avons pas abordé un autre facteur inhérent à notre situation et qui peut être à l'origine de difficultés chez les élèves, qui est la contrainte matérielle. Nous allons pour cela nous appuyer sur les résultats de différents travaux.

Dans leur étude, Schneeberger & Rodriguez (1999) pointent une difficulté rencontrée par les élèves dans une situation de conception expérimentale relative à la contrainte matérielle. Ils mettent en avant le fait que les élèves pensent qu'ils peuvent disposer d'un matériel illimité à la fois en quantité mais aussi en qualité. Le matériel demandé n'est pas pertinent par rapport aux dispositifs proposés, ce qui révèle des difficultés concernant l'adéquation du matériel demandé par rapport aux paramètres à mesurer. Ceci peut être dû à une mauvaise connaissance générale du matériel et / ou des techniques ou dispositifs envisagés. Détourner l'utilisation classique d'un matériel peut être également rejeté par les élèves. Enfin, ces travaux concluent sur le fait que les élèves mobilisent des aspects techniques au détriment parfois du suivi de leur démarche.

Cette idée est reprise dans les travaux de Jordan, Ruibal-Vilasenor, Hmelo-Silver & Etkina (2011) concernant l'influence du matériel sur les démarches de résolution proposées par des élèves à l'université, sur une tâche pour laquelle ils sont novices. Ces travaux montrent un processus de raisonnement qui tend à trouver une procédure de résolution qui utilise le matériel mis à disposition des élèves, au détriment de la créativité et prise en compte du contexte dans la résolution du problème posé.

Ces résultats sont cependant en contradiction avec ceux d'une étude récente en chimie, qui propose une situation de conception expérimentale sur le titrage pH-métrique dans une classe de terminale scientifique. En effet Berthet & al., (2015) concluent sur le fait la plupart des élèves « *n'ont pas pris en compte le matériel disponible dans leurs raisonnements* » (p.1399), alors que les auteurs pensaient aider les élèves en proposant une liste de verrerie finie. « *De même, les élèves n'ont pas vérifié si la procédure indiquée dans leur protocole pouvait être réalisée avec le matériel disponible* » (p.1399).

3. Catégorisation des difficultés identifiées a priori

L'analyse conjointe de ces travaux sur les conceptions et difficultés des élèves sur le métabolisme de la fermentation alcoolique, avec ceux présentés dans le chapitre 1 sur les difficultés liées à l'activité de conception expérimentale, nous amène à proposer une catégorisation des difficultés ainsi identifiées sur laquelle nous allons nous appuyer dans notre travail de thèse.

Nous avons élaboré cette catégorisation à partir de travaux de recherches précédemment menés (Coquidé & al., 1999 ; Schneeberger & Rodriguez (1999) ; Beaufils & Larcher, 1999 ; Berthet & al., 2015).

Schneeberger & Rodriguez (1999) proposent dans leur étude, trois domaines de difficultés. Les élèves ont été placés dans une situation où ils devaient expliquer un phénomène biologique en mobilisant leurs représentations sur la fermentation mais aussi en mobilisant des connaissances et des méthodes empruntées à d'autres disciplines. Les trois domaines ainsi proposés sont : les connaissances, les techniques et les méthodes.

Un aspect de cette catégorisation rejoint les conclusions des travaux menés par Dumas-Carré, Goffard & Gil (1992) qui, à partir d'une étude réalisée avec plusieurs centaines de professeurs de physique-chimie dans le secondaire sur les causes d'échec des élèves dans les activités de résolution de problèmes, montrent que le manque de connaissances théoriques était une des raisons majeures des difficultés rencontrées par les élèves.

En effet, les travaux de Beaufile & Larcher (1999) sur l'expérimental en classe font ressortir l'importance de la disponibilité de la matrice cognitive (Coquidé & al., 1999) pour traiter un problème expérimental. Mais également, les ressources hors champ disciplinaires, les compétences techniques de laboratoire et les compétences méthodologiques, trois mêmes pôles que nous avons relevé dans la classification de Schneeberger & Rodriguez (1999).

Enfin, des travaux menés en physiques-chimie proposant une activité de conception expérimentale sur le titrage pH-métrique d'une solution, (Berthet & al., 2015), mettent en évidence des difficultés liées à l'activité proposée et proposent une catégorisation de celles-ci en deux domaines : les connaissances à mobiliser (sur l'objet protocole, les méthodes expérimentales, les connaissances scientifiques), et la prise en compte du contexte de l'expérience (comprendre l'objectif, utiliser les données du problème éventuellement dans un raisonnement par anticipation, et prendre en compte le matériel disponible).

L'ensemble de ces travaux nous a ainsi amené à proposer une catégorisation des difficultés identifiées *a priori* dans une situation de conception expérimentale sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique (tableau 5).

Concepts fondamentaux		Techniques de laboratoire		Méthode expérimentale	
Concepts de biologie	Fermentation alcoolique	Connaissances du matériel de laboratoire		Démarche expérimentale	Objet protocole (structure)
	Microorganismes				Témoin
	Le vivant				Plan expérimental
Concepts de chimie	Equation de réaction	Recherche d'une technique de laboratoire	Réinvestissement	Contraintes institutionnelles liées à la conception expérimentale en biologie	Temporelle
	Réaction chimique		Technique proposée		Biologique (utilisation du vivant)
	Gaz (dissolution)	Adéquation de la technique avec l'objet à mesurer			Matériel disponible

Tableau 5 : proposition de catégorisation des difficultés identifiées *a priori* dans une situation de conception expérimentale sur les métabolismes cellulaires

Ainsi les difficultés concernant les concepts ont été subdivisées selon les disciplines concernées. En effet, nous avons vu dans la littérature que la biochimie est une discipline transversale (Rumelhard & Desbeaux-Salviat, 2000) qui allie à la fois des concepts de biologie et de chimie. Le cloisonnement des disciplines (Fortin, 2004) présent dans le système éducatif français implique des difficultés de cet ordre.

- *en biologie :*

Nous reprenons les trois concepts fondamentaux à l'origine de difficultés que nous avons relevé dans les différents travaux. Ainsi nous proposons une sous-catégorie de difficultés liée aux concepts de la fermentation alcoolique et plus particulièrement à la confusion entre les conditions de réalisation de la fermentation alcoolique et celle de la respiration cellulaire. A cela nous ajoutons une sous-catégorie de difficultés concernant les microorganismes à l'origine de la réalisation du métabolisme de la fermentation alcoolique. Le fait que les microorganismes fassent partie du vivant, peut également être un concept à l'origine de difficultés.

- *en chimie :*

Les concepts les plus représentatifs dans la situation que nous proposons sont la réaction chimique et son équation de réaction ainsi que les notions relatives au gaz. En effet, l'équation de réaction implique une connaissance des molécules, des atomes, ce qui pose des difficultés en terme d'échelle d'étude et de vision stationnaire d'une réaction dynamique (Barlet & Plouin, 1994). Enfin, le concept de dissolution des gaz nécessaire à la compréhension de la nécessité d'une mise en anaérobie stricte pour la réalisation de la fermentation alcoolique des levures, pourrait être à l'origine de difficultés (Séré, 1986 ; Stavy, 1988, 1990). Cela met en lien des objets théoriques microscopiques (Loi de Henry) et son application réelle non visible ayant des conséquences sur des objets vivants (métabolisme des levures).

Une autre catégorie de difficultés que nous proposons, est celle relative aux techniques de laboratoires utilisées. Nous les subdivisons en trois sous catégories :

- *connaissance du matériel de laboratoire :*

La connaissance du matériel de laboratoire est nécessaire à la conception de dispositifs expérimentaux. Cela fait partie de la matrice cognitive mobilisée dans une tâche de ce type (Berthet & al., 2015). La bonne connaissance du matériel peut avoir une incidence sur son utilisation qui peut être détournée afin de répondre aux contraintes matérielles et institutionnelles

- *la recherche d'une technique de laboratoire :*

Pour chaque phénomène étudié, les élèves vont devoir choisir ou utiliser une technique de laboratoire qui leur sera soit imposée par l'enseignant, soit ils devront la choisir. Le choix de la technique de laboratoire peut être orientée par les habitudes de classe, le matériel présent ou proposé par l'enseignant, les connaissances des élèves et la simplicité du dispositif. Ainsi, des difficultés peuvent apparaître dans le cas d'un réinvestissement de techniques déjà connues (protocole mal maîtrisé, peu adapté à la situation) ou bien lors d'un premier contact (suivi peu rigoureux du protocole proposé par l'enseignant s'il existe).

- *l'adéquation de la technique avec l'objet à mesurer :*

Le choix de la technique de laboratoire par les élèves peut être inapproprié par rapport à la mesure à effectuer et à la précision demandée. Ceci souligne une mauvaise connaissance de la technique et des mesures à effectuer. Là aussi le choix du matériel et de la technique peut être sous influence du matériel proposé ou mis à disposition, sa simplicité d'utilisation, et de sa maîtrise par les élèves.

Enfin, la dernière catégorie de difficultés proposée est la méthode expérimentale. Comme mentionné au cours des analyses précédentes, elle fait partie intégrante des apprentissages tout au long du cursus scolaire dans les disciplines scientifiques. Ainsi, on distingue deux catégories :

- *la démarche expérimentale :*

Elle comprend des objets d'études bien spécifiques à l'origine de difficultés. L'objet protocole en lui-même dont l'apprentissage de sa structuration est peu enseigné au lycée. On parle davantage de « stratégie de résolution » dans les programmes. La structuration en étapes et actions paramétrées, l'anticipation de l'expérience (Beaufils & Larcher, 1999) en elle-même est mal maîtrisée par les élèves. La conception d'un protocole n'est réalisable que si l'objet de l'étude à travers la consigne donnée est compris. En lien avec la démarche expérimentale, des difficultés liées à la notion de témoin ont été identifiées dans la littérature. Est-il nécessaire de faire un témoin ? Comment le réaliser ? (Coquidé & al., 1999). On peut supposer un effet de contrat avec l'enseignement de la démarche expérimentale sur laquelle les enseignants insistent sur la notion de témoin. Encore faut-il en avoir la nécessité et l'utilité par rapport aux objectifs de l'expérimentation.

- *les contraintes institutionnelles liées à la conception expérimentale en biologie :*

L'étude menée en 1999 par Schneeberger & Rodriguez, distingue trois sous catégories. Tout d'abord les difficultés liées au matériel biologique vivant. En effet, la mise en évidence de la fermentation alcoolique utilise des levures comme microorganisme. En plus des difficultés précédemment mentionnées dans la première catégorie, il faut aussi prendre en compte les contraintes liées à leur utilisation. En effet, les levures sont sensibles aux variations des conditions du milieu et peuvent ainsi réagir différemment au cours de l'expérience. Il faut ainsi prendre en compte les variations des conditions du milieu, le fait qu'il s'agit d'un ensemble de réactions et que cette réaction peut prendre du temps.

Ce qui nous amène à prise en compte de la contrainte temporelle liée à la fois à l'institution (durée d'une séance de TP) et liée à l'utilisation d'un matériel vivant qui peut réagir de façon différente (temps de mise en route de la réaction de fermentation par exemple). Ainsi les élèves devront anticiper et prendre en compte cette contrainte lors de leur planification d'expérience et du choix du temps de la mesure, de la durée de l'expérience.

Enfin, le matériel disponible en classe lié aux contraintes de l'établissement devra être pris en compte. Cela demande à ce que les élèves puissent adapter leur protocole initial en fonction de ce qui est réalisable et disponible en classe.

Dans cette partie nous avons identifié à travers l'analyse des savoirs en jeu, et celle de différents travaux de recherche, les principales difficultés liées à une situation de conception expérimentale sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique. L'élaboration de la situation proposée aux élèves et implémentée dans l'EIAH s'appuiera sur cette analyse *a priori* afin de mettre en place des étayages en conséquence, et sur la modélisation des connaissances en jeu que nous réalisons dans le cadre de la TAD.

Chapitre 4 : Cadre théorique

Un des objectifs du travail de thèse consiste à modéliser les connaissances en jeu dans une situation de conception expérimentale. En effet, la modélisation permet de produire un cadre de référence sur lequel nous pouvons nous appuyer, pour implémenter dans l'EIAH la situation de conception expérimentale que nous avons choisie sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique.

Nous utilisons dans la thèse le modèle de la praxéologie introduit par Bosch et Chevallard (1999) qui s'inscrit dans la théorie anthropologique du didactique (TAD) (Chevallard, 1989). Ce cadre, le plus souvent utilisé en mathématiques, a aussi été l'objet de travaux en chimie (Girault & Chaachoua, 2013).

En effet, il permet de décrire l'organisation du savoir au sein d'une institution et les activités de l'élève en tant que sujet de l'institution, mais aussi les comportements non attendus par l'institution, en particulier les erreurs.

De plus, il s'agit d'un modèle adéquat pour une implémentation informatique qui a fait l'objet de travaux de recherche, en mathématiques notamment, développés par l'équipe MeTAH du LIG (Chaachoua, Ferraton & Desmoulins, 2013 ; Chaachoua, 2015 ; Croset & Chaachoua, 2016), dans lesquels les auteurs proposent une extension du modèle praxéologique pour, notamment, prendre en compte la dimension informatique liée à l'utilisation des EIAH.

Ainsi, dans ce chapitre nous développons tout d'abord le cadre théorique (TAD) centré sur l'approche praxéologique pour modéliser les connaissances en jeu dans une situation de conception expérimentale. Nous introduisons également l'extension qui en est faite afin de prendre en compte la dimension informatique. Enfin, nous présentons les trois types de praxéologies que nous produirons dans les chapitres suivants, et que nous utiliserons comme modèle de référence dans la conception et dans l'analyse de la situation proposée.

1. La praxéologie dans le cadre de la TAD

La modélisation des connaissances effectuée lors du travail de thèse, s'inscrit dans le cadre de la TAD, qui décrit notamment le rapport au savoir (Chevallard, 1989). La TAD prolonge la transposition didactique. Elle s'appuie notamment sur le concept d'objet, et en distingue deux en particulier, l'individu et l'institution. Elle permet de décrire les positions que les individus occupent dans ces institutions, qui deviennent ainsi des sujets actifs.

Chevallard évoque que, « *pour chaque objet de l'institution I, il existe un rapport institutionnel de I avec l'objet O* » (Chevallard, 1989, p. 213). Cela conduit également à décrire le rapport personnel d'un individu X à l'objet O (Chevallard, 1998) présent dans une institution I. Ce rapport personnel est défini comme étant un système comprenant « toutes les interactions, sans exception, que X peut avoir avec l'objet O – que X le manipule, l'utilise, en parle, y rêve, etc. ». Ce rapport se modifie selon la position de l'individu au sein d'une institution (Croset & Chaachoua, 2016).

« Le problème central en didactique est donc celui de l'étude du rapport institutionnel, de ses conditions et de ses effets. L'étude du rapport personnel est un problème pratiquement fondamental, mais épistémologiquement second, de la didactique. » (Chevallard, 1989, p. 93)

Pour décrire le rapport institutionnel à un objet, Bosch & Chevallard (1999) proposent la notion de praxéologie.

« Le rapport institutionnel à un objet, pour une position institutionnelle donnée, est façonné et refaçonné par l'ensemble des tâches que doivent accomplir, par des techniques déterminées, les personnes occupant cette position. C'est ainsi l'accomplissement des différentes tâches que la personne se voit conduite à réaliser tout au long de sa vie dans les différentes institutions dont elle est le sujet successivement ou simultanément qui conduira à faire émerger son rapport personnel à l'objet considéré. » (Bosch & Chevallard, 1999)

Cette approche considère que toute activité humaine consiste à accomplir une tâche t d'un certain type T , au moyen d'une technique τ , justifiée par une technologie θ , elle-même légitimée par une théorie Θ . Une activité peut donc être décrite à l'aide d'une organisation $[T ; \tau ; \theta ; \Theta]$ appelée *praxéologie* (ou *organisation praxéologique*) qui se compose :

- d'un bloc *practico-technique* $[T ; \tau]$ qu'on peut qualifier comme étant le savoir-faire,
- d'un bloc *technologico-théorique* $[\theta ; \Theta]$ qu'on peut qualifier comme étant le savoir.

Les praxéologies décrivent ainsi l'organisation du savoir au sein d'une institution, et les activités du sujet attendues par l'institution (Chaachoua, 2010).

2. Description des praxéologies dans le cadre T4TEL

Comme nous l'avons précisé précédemment, nous travaillons dans le domaine des EIAH, ce qui implique un travail de modélisation informatique des objets de savoir à enseigner et des connaissances d'un sujet afin par exemple, de produire des diagnostics et des rétroactions. L'équipe LIG-MeTAH propose ainsi un cadre de référence T4TEL⁶ qui prend en compte ces dimensions informatiques (Chaachoua & al., 2013 ; Chaachoua, 2015).

« ...ce modèle calculable du point de vue informatique (et non du point de vue de la théorie des automates), représente une formalisation et une extension du modèle praxéologique répondant à la double exigence, celle de calculabilité d'une part et celle de production de différents services EIAH d'autre part. » (Chaachoua & Bessot, 2017).

2.1. Eléments de la praxéologie

Les différents éléments de la praxéologie vont être décrits selon le modèle T4TEL (Chaachoua & Bessot, 2017). Dans leurs travaux, ils reprennent l'idée que dans une institution d'enseignement les types de tâches mis à l'étude possèdent au moins

⁶ T4TEL : T4 renvoie au quadruplet praxéologique et TEL pour Technology Enhanced Learning

une technique. Ils introduisent la notion de « la portée d'une technique $P(\tau)$ » qui est l'ensemble des tâches accomplies par τ .

Dans T4TEL, ils utilisent cette notion pour caractériser type de tâches et sous-type de tâches.

Un type de tâches T est un ensemble de tâches tels que :

- toute tâche est décrite par un verbe d'action donné (exemples : verser, prélever, chauffer) et des compléments fixés (exemples : une solution, un tube à essai), pris dans les objets d'une discipline,
- il existe une technique τ qui accomplit au moins une tâche de T ,
- si τ est une technique qui accomplit une tâche t de T alors, soit $P(\tau)$ est un sous-ensemble de T , soit T est un sous-ensemble de $P(\tau)$.

On dit que **T' est un sous-type de tâches** du type de tâches T si :

- T' est un sous-ensemble de T et est accompli par une technique
- T' est un type de tâches.

Une tâche t est ce qu'un sujet d'une institution doit accomplir. Elle prend la forme d'un énoncé dans un contexte précis. On fait l'hypothèse que toute tâche prescrite à un élève comme « t_1 : porter et maintenir la suspension de levures à 25°C » admet au moins une technique pour l'accomplir, par exemple « τ : utilisation d'un bain marie ».

Une technique τ est ainsi décrite par un ensemble de types de tâches ou de tâches. Par exemple pour le type de tâche T_1 , la technique τ se décline en trois tâches :

- t'_{11} : mettre les suspension de levures dans la bain marie
- t'_{12} : régler le bain marie à température optimale
- t'_{13} : vérifier avec un thermomètre la stabilité de la température

On qualifiera un type de tâche ou tâche comme « **élémentaire** » si l'institution ou l'expert du domaine considère qu'il n'est pas nécessaire d'explicitier la ou les techniques pour ce type de tâche. Il peut être relatif à un niveau scolaire. Par exemple dans notre étude, ces tâches élémentaires se retrouvent principalement dans des tâches liées à l'exécution d'un protocole comme « t : remplir d'eau le bain marie ». Pour un élève non novice, il n'est pas nécessaire de décrire la technique de cette tâche, elle est donc élémentaire.

Une technologie ϑ justifie « rationnellement » la technique, et permet de la comprendre, et donc d'accomplir les types de tâches qui la constitue. On peut la modéliser par un ensemble d'énoncés qui portent sur les éléments du domaine ou non.

Par exemple la technique relative au type de tâche « T : identifier les réactifs et les produits d'une réaction » se justifie par la technologie « ϑ : Les réactifs sont des espèces chimiques présentes dans le milieu réactionnel, dont la concentration tend à diminuer au cours du temps : les réactifs sont consommés, leurs atomes se réarrangent pour former de nouvelles molécules : les produits de cette réaction. » Cette technologie porte sur les éléments du domaine (biochimie).

Enfin, un énoncé est une proposition qui peut être vrai ou fausse s'il prend en compte la praxéologie personnelle (paragraphe 3).

Une théorie a également une fonction de justification de la technologie cette fois ci. On passe ainsi à un niveau supérieur de justification-explication qui peut être également modélisé par un ensemble d'énoncés.

2.2. Introduction de variables dans T4TEL

Le modèle T4TEL introduit également, la notion de variable, pour définir les types de tâches, avec comme objectif de structurer un ensemble de situations spécifiques d'une connaissance (Chaachoua & Bessot, 2017).

Prenons l'exemple du type de tâche « *T : observer à l'aide d'un dispositif, la présence de glucose dans la suspension de levures* ».

Selon la caractérisation présentée dans le paragraphe 2.1, le type de tâche présente :

- ✓ **un verbe d'action** : « observer »
- ✓ **des compléments fixés** : « la présence de glucose » « dans la suspension de levures »
- ✓ un complément : « à l'aide d'un dispositif de mesure » qui peut varier, et qui pourrait être défini comme **une variable**.

En effet, selon le modèle T4TEL, une variable est définie par :

- **une raison d'être** : Il s'agit d'un outil méthodologique, associé à l'analyse *a priori* d'une situation, qui permet de structurer un ensemble de type de tâches relatif à un objet de savoir à enseigner.

Par exemple les tâches « *t : observer, à l'aide du glucotest, la présence de glucose dans la solution* » et « *t' : observer, à l'aide de la liqueur de Fehling, la présence de glucose dans la solution* » impliquent des techniques de résolution différentes.

L'introduction de la variable « dispositif de mesure » au niveau du type de tâche T (« *observer à l'aide d'un dispositif, la présence de glucose dans la suspension de levures* ») permet de structurer l'ensemble des tâches (t et t') qui sont relatives à un même objet de savoir à enseigner.

- **des fonctions** : elles permettent notamment de générer des sous types de tâches, et de rendre compte des praxéologies personnelles à partir des possibles valeurs prises par la variable. Nous aborderons ce point ultérieurement.

Selon les auteurs, la notion de variables dans T4TEL peut être amenée selon trois points de vue. Ils s'appuient sur la théorie des situations didactiques, dans laquelle Brousseau définit la variable cognitive comme étant :

« *...une variable de la situation telle que par le choix de valeurs différentes on peut provoquer des changements de la connaissance optimale. Les variables didactiques seront parmi les variables cognitives celles qui peuvent être fixées par l'enseignant.* » (Brousseau, 1997, p. 3-4)

Le modèle T4TEL présente ainsi trois points de vue sur les variables :

- **un point de vue épistémologique** : le changement de valeur d'une variable modifie l'éventail de techniques possibles.

Par exemple, pour le type de tâche « *T: préparer le dispositif expérimental de mesure du glucose* ». La variable **V1 « de mesure »** peut prendre plusieurs valeurs comme **V1a mesure qualitative** et **V1b mesure quantitative** qui impliqueraient potentiellement deux techniques liées à l'utilisation du gluco-test, ou de la sonde à glucose.

- **un point de vue institutionnel** : les contraintes fixées par l'institution induisent qu'une seule valeur de variable est possible ou que pour l'ensemble de valeurs possibles une unique technique est associée.

Dans l'exemple présenté précédemment, si on se place dans l'institution scolaire (contraintes matérielles de l'établissement, qui n'utilisent pas les sondes à glucose) la valeur de variable V1 peut être fixée (mesure qualitative) et devient unique.

- **un point de vue didactique** : une variable est didactique si elle est potentiellement à disposition du professeur au sein d'une institution. Elle est conditionnée par l'apprentissage, la réussite à la tâche et de ce fait elle laisse un choix à l'enseignant.

Par exemple, la variable liée au type de « mesure » prend deux valeurs « qualitative » ou « quantitative ». Ce choix implique des techniques de résolution différentes ayant pour chacune d'elles, des apprentissages en jeu. L'enseignant peut faire le choix de fixer une valeur en fonction de ses objectifs.

Une variable didactique dans une institution peut ne plus l'être dans une autre. De plus, une même variable peut être caractérisée selon les trois points de vue.

A partir de ces éléments de praxéologies, nous allons dans notre étude, modéliser les connaissances en jeu et produire trois praxéologies (institutionnelle, de référence et personnelle) que nous décrivons dans les paragraphes suivants.

3. Praxéologies institutionnelle et personnelle

3.1. Modèle théorique

Pour décrire le rapport institutionnel à un objet, Bosch et Chevallard (1999) proposent la notion de praxéologie.

« Le rapport institutionnel à un objet, pour une position institutionnelle donnée, est façonné et refaçonné par l'ensemble des tâches que doivent accomplir, par des techniques déterminées, les personnes occupant cette position. C'est ainsi l'accomplissement des différentes tâches que la personne se voit conduite à réaliser tout au long de sa vie dans les différentes institutions dont elle est le sujet successivement ou simultanément qui conduira à faire émerger son rapport personnel à l'objet considéré. » (Bosch & Chevallard, 1999)

La praxéologie institutionnelle modélise ainsi le rapport institutionnel en prenant en compte ce qui est attendu par l'institution.

Croset & Chaachoua (2016), mettent en avant la nécessité de prendre également en considération les connaissances de l'apprenant, ce qui, selon Artigue (2011), n'est pas pris en compte par la TAD. Selon Artigue, les connaissances de l'apprenant relèvent de la théorie des situations didactiques alors que la TAD modélise principalement les attentes institutionnelles.

Croset & Chaachoua (2016) proposent une articulation de ces deux cadres en intégrant à la fois les rapports institutionnel et personnel de l'élève dans la TAD.

Ces travaux proposent ainsi d'étendre le modèle praxéologique en intégrant le rapport personnel de l'élève avec l'émergence de praxéologies personnelles. Elles permettent de modéliser les écarts entre les attentes institutionnelles et les perceptions des élèves.

Selon Chaachoua & Bessot, (2017), « *l'organisation praxéologique institutionnelle correspond rarement à la praxéologie apprise (transposition didactique interne). En particulier, il existe des types de tâches personnels distincts des types de tâches institutionnels et par conséquent des praxéologies personnelles distinctes des praxéologies institutionnelles* » (p.12).

Ainsi, face à une tâche donnée t , l'institution attend d'un élève la mise en place d'une technique qui relève d'une organisation institutionnelle associée à la tâche t . La non-conformité du rapport personnel à t se traduit par la mise en œuvre d'une technique, soit scientifiquement valide mais non adéquate institutionnellement, soit scientifiquement non valide (Nguyen, Chaachoua & Comiti, 2007).

Croset & Chaachoua (2016) appellent praxéologie personnelle le quadruplet d'organisation praxéologique de l'activité d'un sujet institutionnel constitué de quatre composantes:

- **Un type de tâches personnel** est l'ensemble des tâches que le sujet perçoit comme similaires, provoquant chez lui l'application d'une technique.
- **Une technique personnelle** utilisée par l'élève permet de résoudre un seul type de tâches personnel. Elle peut être erronée, correcte, légitimée par l'institution de référence ou non.
- **Une technologie personnelle**, explicite ou non, gouverne et légitime l'utilisation de praxis personnelles. Souvent un simple déficit technologique institutionnel peut être à même d'expliquer des techniques personnelles erronées. Mais il est parfois des situations où une technologie qui avait sa légitimité pour répondre à certains types de tâches se trouve être généralisée et utilisée par des élèves en dehors de la portée de la technique qu'elle légitimait.
- **Une théorie personnelle** qui, à son tour, à l'instar du modèle institutionnel, justifie la technologie personnelle.

Les praxéologies personnelles de l'élève peuvent être modélisées selon le schéma présenté ci-dessous (figure 15). Nous indiquons en vert des éléments d'interprétation.

Pour un type de tâche T donné du modèle de référence, il existe une technique qui accomplit la tâche et qui est attendue par l'institution (I), et se décrit comme un ensemble de types de tâches tel que $\tau_I = \{T_i\}$.

Soit une technique τ_e de l'élève diagnostiquée appartenant ainsi au modèle praxéologique de référence.

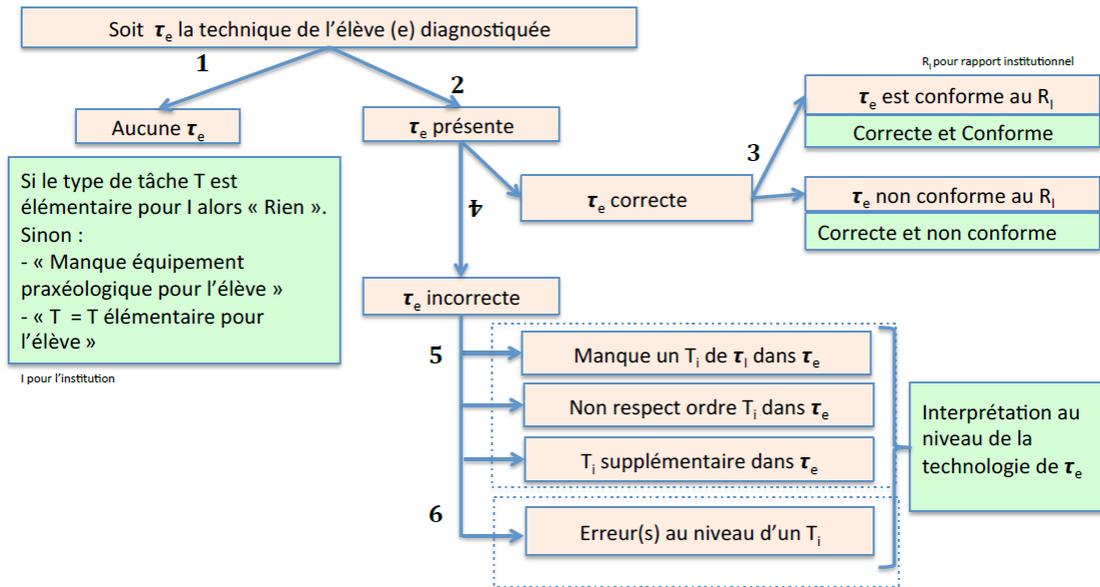


Figure 15 : modélisation des praxéologies personnelles de l'élève

La technique de l'élève diagnostiquée peut être soit présente, soit absente.

1 : Si la technique τ_e de l'élève est absente et que le type de tâche est élémentaire pour l'institution alors l'absence de technique de l'élève n'est pas interprétable au niveau des technologies de l'élève. Si par contre le type de tâche n'est pas élémentaire pour l'institution, alors soit l'élève ne dispose pas de l'équipement praxéologique correspondant, soit le type de tâche est considéré comme élémentaire par l'élève.

2 : Si la technique τ_e de l'élève est présente, elle peut être :

3 : correcte et conforme aux modèle de référence institutionnel, auquel cas elle est validée, ou bien **correcte et non conforme** au rapport institutionnel.

4 : Incorrecte auquel cas :

5 : L'erreur peut porter sur **la technique** globale de l'élève, et peut être de différente nature (un T_i absent / supplémentaire, ordre des T_i incorrecte).

6 : et/ou l'erreur peut également être inhérente à un **type de tâche T_i** de la technique.

Dans les deux cas (5 et 6), ces erreurs portées sur la technique de l'élève, pourront être justifiées au niveau des technologies relatives à la technique erronée de l'élève.

Ainsi, la praxéologie personnelle intègre des techniques et des technologies qui ne sont pas nécessairement valides. Elle permettra de décrire les erreurs des élèves lors de l'élaboration du protocole de mise en évidence du métabolisme de la fermentation alcoolique. Pour cela nous nous référons à des praxéologies personnelles *a priori* que nous décrirons dans les chapitres 6 et 11.

L'élaboration de praxéologies personnelles *a priori*, nécessite un croisement entre l'analyse épistémologique (chapitre 3) qui identifie les difficultés *a priori* des

élèves, et la modélisation praxéologique de la situation (chapitre 7). Ceci permet de distinguer les types de tâches, tâches techniques et technologie à l'origine de difficultés chez les élèves.

3.2. Modélisation des praxéologies personnelles dans une situation de conception expérimentale

Nous avons choisi, une situation de conception expérimentale incluant une conception de protocole sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique.

Nous rappelons qu'il s'agit d'une activité dans laquelle l'élève doit formaliser un protocole structuré en étapes et actions. Ces dernières contiennent des paramètres qui peuvent prendre plusieurs valeurs. La tâche de l'élève consiste ainsi, à la fois à proposer des étapes et des actions paramétrées mais aussi à choisir des valeurs de paramètres.

Par exemple, afin de mettre des levures en anaérobie, l'élève devra proposer dans son protocole au moment opportun, une action du type « *fermer le contenant avec un matériel adéquat* » pour laquelle il devra fixer deux valeurs de paramètre : le contenant (tube à essai, bécher, fiole...) et le matériel adéquat pour le fermer (bouchon, bouchon percé...).

Ainsi, du côté de l'activité de l'élève, les erreurs peuvent porter sur les actions proposées dans les étapes (ce qui correspond à la stratégie de résolution du problème), mais aussi, pour chacune des actions proposées, la présence et le choix de valeurs de paramètres.

Du côté de la modélisation des connaissances en jeu, cela se traduit sous la forme de types de tâches comprenant des variables de nature différentes, pour lesquelles le chercheur (ou l'enseignant) peut fixer ou choisir certaines valeurs.

L'exemple de l'activité de l'élève pris ci-dessus, peut se traduire selon la modélisation praxéologique, de la façon suivante :

T : fermer le contenant avec un matériel adéquat

L'élément de modélisation praxéologique correspondant est un type de tâche pour lequel on distingue deux variables didactiques : « le contenant » et « le matériel ». Ces variables peuvent prendre différentes valeurs à disposition de l'enseignant : le contenant (tube à essai, bécher, fiole...) et le matériel adéquat pour le fermer (bouchon, bouchon percé...).

Ainsi, afin de prendre en compte les spécificités de l'activité de conception expérimentale dans la modélisation de praxéologies personnelles des élèves proposée dans le paragraphe précédent, nous souhaitons faire évoluer la modélisation des erreurs inhérentes à un type de tâche T_i de la technique (n°6).

Pour cela, nous allons distinguer deux types d'erreurs (figure ci-dessous) :

6a) une erreur portée sur l'absence de variable(s) dans une tâche

6b) une erreur portée sur la présence d'une valeur de variable erronée

Ces erreurs pourront néanmoins se justifier au niveau des technologies de l'élève.

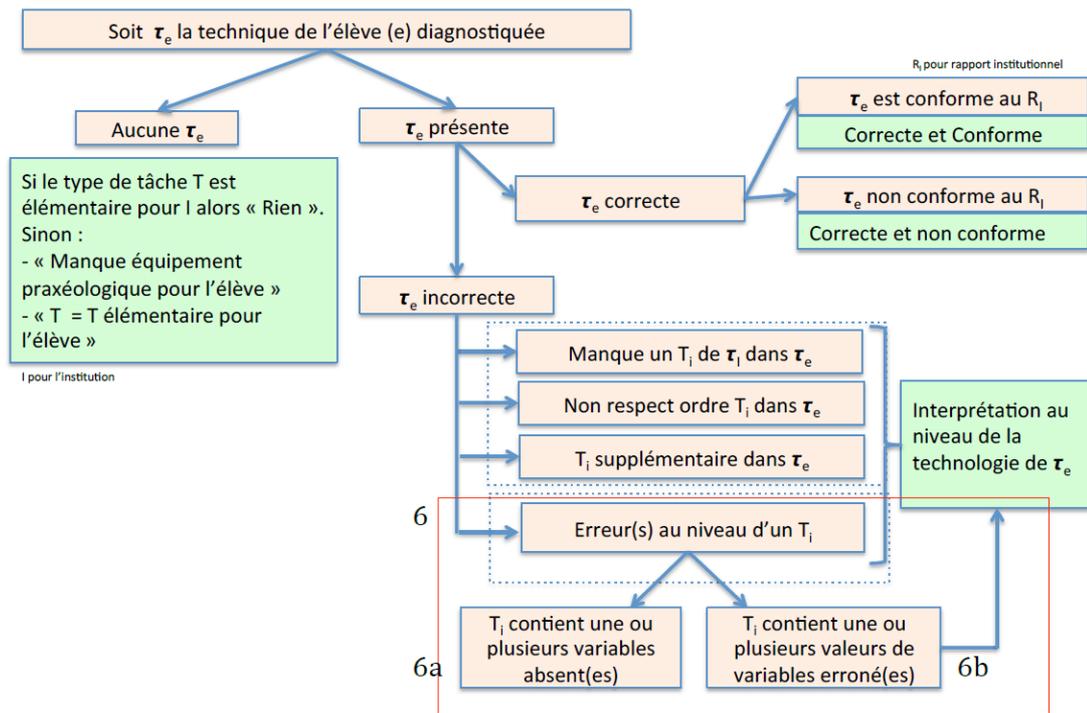


Figure 16 : modélisation des praxéologies personnelles de l'élève dans le cadre d'une activité de conception expérimentale

Les praxéologies personnelles et institutionnelles sont construites à partir d'une praxéologie dite de référence qui prend en compte l'ensemble des institutions et permet ainsi de sortir du contexte institutionnel pour élaborer les praxéologies personnelles *a priori*.

Nous allons ainsi, dans le paragraphe suivant développer la praxéologie de référence, dont la méthodologie d'élaboration sera quant à elle explicitée dans le chapitre 6.

4. Le modèle praxéologique de référence

La praxéologie de référence sera utilisée dans notre travail pour décrire l'activité de conception du protocole de mise en évidence d'un métabolisme et plus précisément celui de la fermentation alcoolique. Elle prend en compte les dimensions épistémologique, didactique et cognitive. Il s'agit d'une réinterprétation de la transposition didactique que nous ci-dessous.

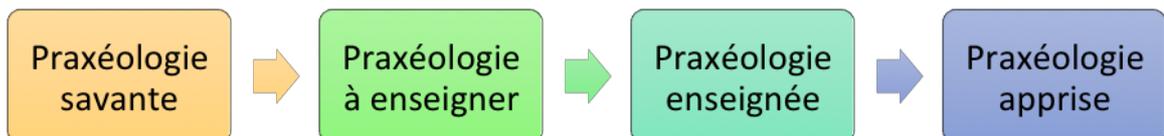


Figure 17 : modèle praxéologique de référence

La praxéologie de référence permet de décrire les praxéologies à enseigner, enseignées ou enseignables, ce que Bosch & Gascon (2004) nomment MPR pour

modèle praxéologique de référence. Elle est générique et évolutive, c'est à dire qu'en fonction de l'évolution des programmes notamment, elle peut être enrichie et ou adaptée. Nous développons ce point dans le chapitre 6, en détaillant la méthodologie utilisée pour son élaboration.

En mathématiques, Bosch et Gascon décrivent la praxéologie à enseigner ("Organisation Mathématique" pour les mathématiques) comme étant :

"...un modèle praxéologique du curriculum de mathématiques. La base empirique pour élaborer ce modèle se trouve dans les documents curriculaires (programmes officiels) et dans les manuels. Son influence sur (l'OM enseigné et l'OM apprise) est centrale bien que ni le professeur ni l'institution scolaire ne disposent explicitement de ce modèle mais uniquement de matériaux praxéologiques plus ou moins articulés entre eux." "Mais cette influence ne peut être adéquatement interprétée si nous ne disposons pas d'un point de vue épistémologique. Ce point de vue est fourni par une OM de référence dont la description se fait généralement à partir des OM savantes légitimant le processus d'enseignement. L'OM de référence est celle que considère le chercheur pour son analyse. Elle ne coïncide pas nécessairement avec les OM savantes d'où elle provient (parce qu'elle les inclut dans l'analyse), mais elle se formule dans des termes très proches. L'OM de référence est celle que le chercheur met à l'épreuve de la contingence et qui subit pour cela de permanent remaniement." (Bosch & Gascon, 2004, p.117)

Nous faisons ainsi le postulat qu'il existe une transposition de ce modèle utilisé en mathématiques dans les autres disciplines, et notamment les sciences expérimentales.

La praxéologie de référence permet également de décrire les praxéologies apprises, et de les situer au regard des praxéologies enseignées.

5. Conclusions

La modélisation praxéologique permet ainsi de structurer l'activité de l'élève en distinguant les savoirs faire des savoirs.

De plus, la formalisation des variables dans le cadre de T4TEL permet d'identifier celles à disposition du chercheur qu'il peut fixer. Les valeurs prises par ces variables peuvent également être enrichies par les praxéologies personnelles.

L'élaboration de la praxéologie de référence de la situation choisie permet de mettre à disposition du chercheur ou de l'enseignant l'ensemble des variables identifiées à partir desquelles nous allons concevoir la situation.

Néanmoins la prise en compte de la dimension institutionnelle liée à l'expérimentation *in situ* est importante et nécessaire. Cela se traduit notamment par la fixation de certaines valeurs de variables institutionnelles qui peuvent disparaître d'une institution à l'autre et ainsi ne plus être à disposition de l'enseignant.

Les valeurs de variables de la praxéologie de référence peuvent aussi être enrichies *a posteriori* à partir de la modélisation des praxéologies personnelles des élèves qui prennent ainsi en compte l'apprenant.

Enfin, l'extension du modèle praxéologique proposée dans T4TEL permettra dans notre étude de prendre en compte la dimension informatique liée à l'utilisation des

EIAH. En effet, le modèle T4TEL, permet de formaliser le modèle praxéologique, à partir de la structuration des valeurs de variables. Par rapport à notre travail, ce modèle calculable paraît être un modèle pertinent car un des objectifs visés est la production de différents services EIAH comme le diagnostic des connaissances de l'apprenant et les rétroactions vers un sujet d'une institution.

Chapitre 5 : Problématique

1. Questions de recherche

La démarche expérimentale d'investigation est au cœur des apprentissages scolaires depuis l'école primaire, notamment en cycle 2, jusqu'au lycée. Elle est un des objectifs d'apprentissage, proposés aux élèves tout au long du parcours scolaire. Cette démarche est également à l'origine du canevas qui structure l'évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat. La conception du protocole, inhérente à cette démarche, est en revanche peu institutionnalisée en sciences de la vie et de la terre, alors qu'en physique-chimie, elle fait l'objet d'une des étapes fondamentales des ECE. En effet, comme nous l'avons précisé dans le chapitre 1, il est actuellement demandé pour l'épreuve de SVT de rédiger une stratégie de résolution du problème sans pour autant entrer dans le détail de l'écriture du protocole à réaliser.

De précédents travaux ont effectivement montré le rôle des activités pratiques en sciences (Coquidé, 2000), et que la conception de protocole par les élèves favorisait leur implication dans la tâche, en donnant du sens à l'objet de l'étude, améliorant ainsi les apprentissages (Karelina & Etkina, 2007 ; Etkina, 2010). Néanmoins, cette activité reste complexe et les élèves rencontrent des difficultés à concevoir les expériences (Girault & al., 2014) mais aussi à les formaliser sous la forme de texte (Marzin & de Vires, 2013 ; Marzin, 2013), comme nous l'avons développé dans le chapitre 1.

Nous proposons ainsi d'étayer l'élaboration d'un protocole expérimental à l'aide d'un EIAH, LabBook que nous avons présenté dans le chapitre 2. Cette plateforme informatique propose des étayages fixes comme les documents ressources à disposition des élèves et la possibilité de pré structurer le protocole, ce qui a été l'objet des travaux menés précédemment par Girault & d'Ham (2014), utilisant un autre EIAH (copex chimie). Ce travail de thèse a pour finalité de préparer un diagnostic automatique des erreurs dans le but de proposer des rétroactions adaptées au travail de chaque élève, qui pourront être implémentées dans LabBook dans le prolongement de cette thèse.

Afin de tester les étayages fixes dans LabBook, nous avons choisi une situation de conception expérimentale étudiée en classe de terminale scientifique de spécialité SVT qui a pour objectif la mise en évidence de la fermentation alcoolique. Plusieurs études ont montré que l'enseignement et l'apprentissage de ce métabolisme et ses concepts limitrophes sont complexes et peuvent être à l'origine de difficultés (Flores & al., 2003 ; Songer & Mintzes, 1994 ; Guyon, 1987 ; Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Barlet & Plouin, 1994 ; Séré, 1986 ; Coquidé & al., 1999 ; Fortin, 2004), ce que nous avons présenté dans le chapitre 3.

Enfin, nous avons choisi de modéliser les connaissances en jeu dans le cadre théorique de la TAD (Chevallard, 1992 ; 1999) et plus précisément l'approche praxéologique (Bosch & Chevallard, 1999) qui permet de modéliser l'activité, et que nous avons développé dans le chapitre 4.

L'ensemble de ces travaux nous amène ainsi aux questions de recherches suivantes :

Modélisation des connaissances :

- * Peut-on modéliser une situation de conception expérimentale en biologie dans le cadre de la TAD et plus précisément selon le modèle praxéologique ?

Propositions d'une/de situation(s) dans l'EIAH (LabBook) à partir de la modélisation praxéologique des connaissances :

- * Quelles sont les contraintes que la situation et l'EIAH génèrent et comment les prendre en compte dans la modélisation de la situation ?
- * Comment l'EIAH peut étayer les difficultés identifiées *a priori* sur le métabolisme de la fermentation alcoolique ?
- * Comment l'EIAH peut étayer les difficultés identifiées *a priori* concernant la conception d'un protocole communicable ? Quels sont les étayages proposés ?

Mise à l'épreuve des situations proposées en classes :

- * Quelles sont les représentations des élèves sur la fermentation alcoolique avant et après la mise en situation ?
- * Est-ce que les situations proposées permettent de mettre en évidence certaines difficultés identifiées *a priori* ?
- * Est-ce que les situations proposées incluant différentes propositions d'étayage favorisent les apprentissages ?
- * Est-ce que les situations proposées incluant différentes propositions d'étayage favorisent la production par les élèves d'un protocole communicable et pertinent ?

Préconisations :

- * Quelles améliorations proposer à la situation ?
- * Comment réaliser un diagnostic de ces erreurs ? Avec quel modèle ?
- * Quelles rétroactions proposer ?

2. Plan expérimental de la thèse

Afin de situer l'ensemble de ces questions de recherche, nous allons replacer les cinq grandes étapes détaillées du travail de thèse en lien avec leurs objectifs, dans la figure 18 ci-dessous.

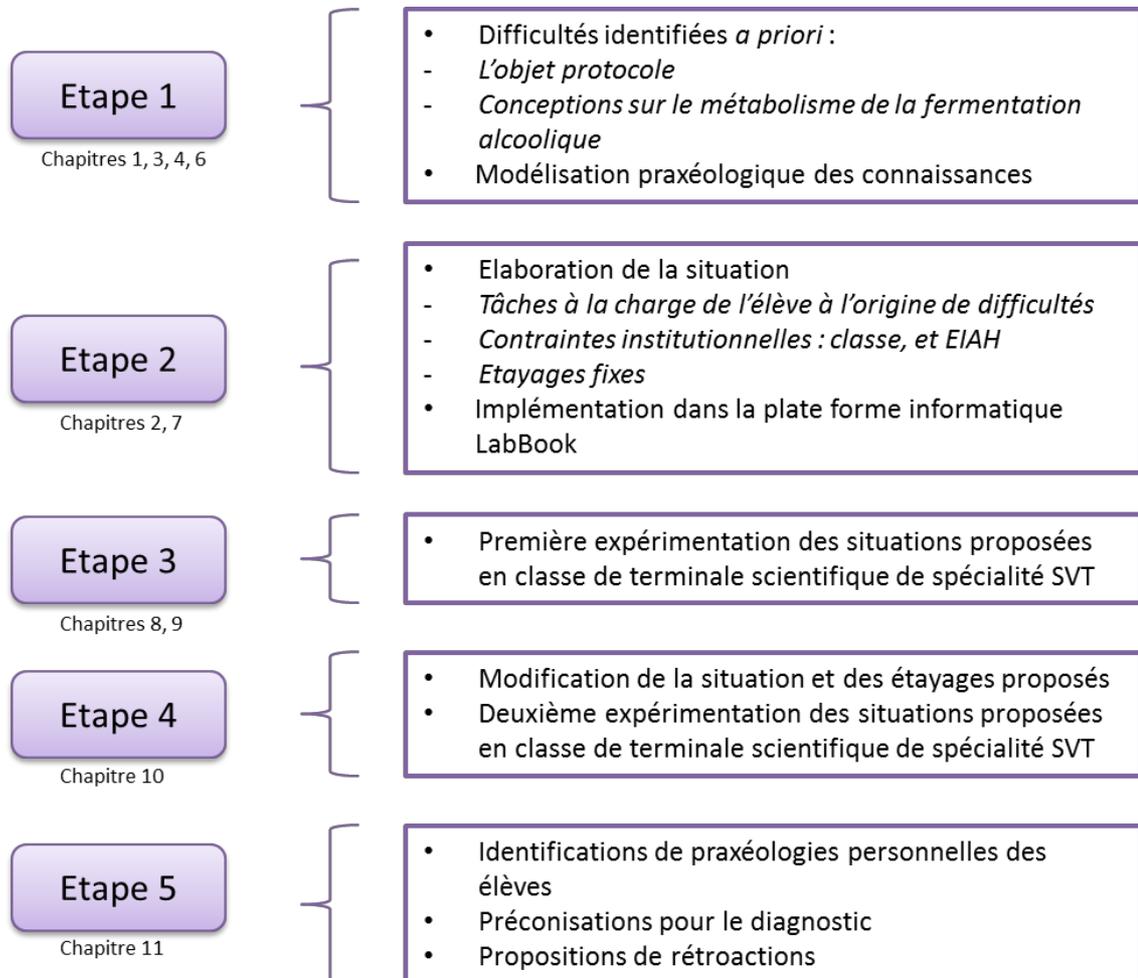


Figure 18 : principales étapes de la thèse

Chapitre 6 : Modélisation des connaissances : praxéologies de référence, institutionnelle, et personnelle

1. Questions de recherche

Nous avons choisi de modéliser les connaissances en jeu dans le cadre théorique de la TAD (Chevallard, 1992 ; 1999) et plus précisément selon le modèle praxéologique (Bosch & Chevallard, 1999), que nous avons développé dans le chapitre 4.

Principalement utilisé en mathématiques, nous pensons qu'il s'agit d'un cadre adapté pour décrire une activité de conception expérimentale en prenant le thème de la fermentation alcoolique. De précédent travaux, notamment dans l'équipe MeTAH, ont abouti à la modélisation en arbre de tâches des connaissances en jeu dans une situation de conception expérimentale (Marzin & al., 2007). Nous proposons d'approfondir cette modélisation en tâches, ce qui nous amène à la question de recherche suivante :

- * Peut-on modéliser une situation de conception expérimentale en biologie dans le cadre de la TAD et plus précisément selon le modèle praxéologique ?

Nous supposons également que cette modélisation des connaissances peut être transposée dans un environnement informatique qui propose des étayages liés aux difficultés que l'activité de conception expérimentale génère. Pour cela, nous utilisons l'extension du cadre de la praxéologie (T4TEL) proposée par Chaachoua & al. (2013) et Chaachoua (2015).

Ainsi, nous proposons dans ce chapitre de décrire la méthodologie utilisée pour l'élaboration de praxéologies institutionnelle, personnelle et de référence que nous décrirons dans un deuxième temps.

2. Méthodologie

2.1. Praxéologies institutionnelle et de référence

Nous représentons la construction de la praxéologie de référence dans la figure 19 ci-dessous :

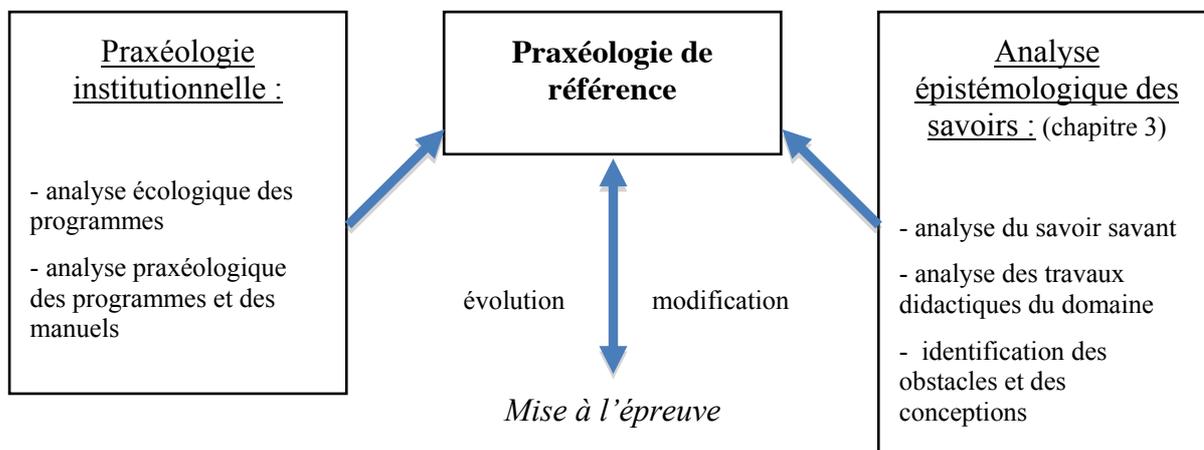


Figure 19 : méthodologie d'élaboration de la praxéologie de référence

Le point de départ pour la praxéologie de référence est l'institution. Nous faisons une analyse exploratrice des programmes d'enseignement et des manuels, afin de replacer le thème enseigné et d'identifier les tâches proposées aux élèves. La praxéologie institutionnelle peut être considérée comme une enquête concernant les savoirs à enseigner dans l'institution choisie.

Ainsi, dans les paragraphes suivants nous allons développer l'analyse institutionnelle avec tout d'abord l'analyse écologique des programmes, puis l'analyse praxéologique des manuels.

Nous avons déjà développé dans le chapitre 3 l'analyse épistémologique des savoirs.

2.1.1 Analyse écologique des programmes

Nous réalisons une analyse écologique des programmes des sciences de la vie et de la terre, afin de mettre en évidence la construction de ces notions de l'école élémentaire à la terminale scientifique de spécialité.

« D'où viennent ces nouveaux objets enseignés ? Comment sont-ils arrivés là ? Quelles interrelations avec quels autres objets y nouent-ils ? Et, aussi, surtout : pourquoi sont-ils arrivés jusque-là ?... s'interroger non seulement sur ce qui est [...] mais encore se demander pourquoi ce qui n'est pas, n'est pas ... ». (Chevallard, 1994, p.142)

Lorsqu'un enseignant construit son cours, il se réfère en premier lieu au programme paru dans les bulletins officiels. En effet, le programme précise de façon plus ou moins concise ce que l'enseignant est tenu de faire. Ce savoir à enseigner est le résultat du « travail externe de la transposition didactique » de la

noosphère. Cette partie nous permet ainsi de mettre en évidence les choix de transposition faits par la noosphère lors de l'introduction de la notion de métabolismes tout au long de la scolarité de l'élève.

En effet, selon Chevallard (1989) «[...] l'analyse écologique du texte d'enseignement [...] permet l'exploration de la clôture institutionnelle de l'univers du savoir enseigné, et consiste en l'analyse des interrelations entre objets, sous-objets et sur-objets présents dans le texte d'enseignement, afin de mettre en lumière, notamment, leurs habitats et leurs niches écologiques » (Chevallard, 1989, p. 233).

Cette analyse permet de comprendre la logique des programmes et d'expliquer pourquoi la notion est enseignée, et à quel niveau. En nous appuyant sur les travaux d'Artaud (1997), nous dégagerons ainsi les niches et habitats de la notion de métabolisme tout au long de la scolarité afin de voir comment est introduit ce concept.

« ... un objet ne pouvant pas vivre isolé, il sera nécessaire de faire vivre un complexe d'objets autour de [lui]. Il convient donc d'examiner les différents lieux où l'on trouve [cet objet] et les objets avec lesquels [il] entre en association, ce qu'on appellera les habitats. Puis, regarder en chacun de [ses] habitats, la niche écologique qu'[il] occupe, c'est à dire en quelque sorte, la fonction qui est la [sienne]. » (Artaud, 1997, p. 111).

Nous compléterons cette analyse par l'identification des objets de savoir présentés dans les programmes pour chaque niveau scolaire, et les éléments de définition de ce concept qui en découlent. Nous avons choisi de faire cette étude sur la notion générale de métabolisme, afin de replacer le concept de fermentation alcoolique.

2.1.2 Analyse praxéologique des manuels

Nous utilisons le modèle praxéologique pour l'analyse des manuels, afin de dégager les choix effectués par les auteurs lors de leur interprétation des programmes.

Pour cela, nous avons relevé les types de tâches, tâches, techniques et technologies présentes dans les manuels pour les pages consacrées à la fermentation alcoolique. Nous avons relevé les expressions exactes utilisées dans les manuels.

Puis nous réalisons une comparaison des manuels qui consiste à mettre en évidence les choix scientifiques et didactiques faits par les auteurs, et donc l'interprétation qu'ils font du programme officiel. On retrouve ainsi deux des composantes du modèle épistémologique de référence (chapitre 4, figure 17) qui consiste au passage de la praxéologie savante à la praxéologie enseignée.

Néanmoins ces choix ne se font pas dans le même système de contraintes que celui des enseignants. En effet, les contraintes de temps et de mise en scène des enseignements n'ont pas le même impact sur les auteurs que sur les enseignants, ce que Bosch et Gascon (2005) caractérisent comme étant la praxéologie à enseigner.

Pour cela, nous avons dégagé des critères de comparaison concernant l'organisation praxéologique $[T/\tau/\theta/\Theta]$ des manuels.

- ✓ **pour les types de tâches** : nous avons regardé la formulation et les objectifs notionnels.
- ✓ **pour les tâches** : nous avons regardé si elle nécessite la production d'une technique à la charge de l'élève, ou bien si cette technique est déjà proposée à l'élève. Cela se traduit dans les programmes scolaires respectivement par une « tâche complexe » qui induit implicitement plusieurs tâches pour pouvoir la réaliser, et une « tâche simple » dont la technique de résolution est constituée d'une seule tâche. De plus, nous avons identifié les tâches liées à la réalisation d'un protocole ou bien celles relatives à une tâche de conception expérimentale.
- ✓ **pour les techniques** : les types de techniques utilisés par les manuels sont indiqués, afin de comparer les stratégies de résolution des tâches.
- ✓ **pour les technologies** : nous avons précisé les concepts (du domaine et limitrophes) associés afin de montrer leur utilisation.

Ainsi, la praxéologie de référence a été construite à partir de l'ensemble de ces éléments, couplés à l'analyse épistémologique des savoirs en jeu. Elle n'est cependant pas pour autant figée, elle peut être modifiée et complétée si nécessaire pour prendre en compte l'ensemble des contraintes (institutionnelle, informatique) liées à notre étude.

2.2. Praxéologies personnelles

Nous avons présenté dans le chapitre 4 l'émergence des praxéologies personnelles selon Croset & Chaachoua (2016), qui prennent en compte le rapport institutionnel mais également le rapport personnel de l'apprenant au savoir. Ces praxéologies personnelles se formalisent sous la forme d'un quadruplet d'organisation praxéologique : un type de tâche et une technique personnelle concernant le *praxis*, une technologie et une théorie personnelle concernant le *logos*.

L'élaboration de praxéologies personnelles *a priori*, nécessite un croisement entre l'analyse épistémologique (chapitre 3) qui identifie les difficultés *a priori* des élèves, et la modélisation praxéologique de la situation (paragraphe 4), afin de distinguer les types de tâches, tâches, techniques et technologies à l'origine de difficultés.

Dans notre situation, nous proposons tout d'abord d'identifier des **éléments de praxéologies personnelles** concernant un des types de tâches qui est enjeu d'apprentissage en classe de terminale scientifique de spécialité SVT sur le thème de la fermentation alcoolique :

T : placer les microorganismes dans les conditions du milieu.

Pour cela, nous nous appuyons sur le modèle présenté dans le paragraphe 3 du chapitre 4 (figure 16).

Dans un second temps (chapitre 11), nous modéliserons et formaliserons, pour ce même type de tâche, des **praxéologies personnelles *a priori*** directement en lien avec la situation proposée aux élèves dans LabBook.

Comme nous l'avons précisé dans le chapitre 4, la modélisation des erreurs possibles, peut porter sur un ou plusieurs éléments de la technique de l'élève.

Nous utilisons également les résultats de l'analyse épistémologique afin de modéliser des technologies personnelles *a priori* qui peuvent être à l'origine de ces erreurs.

3. Résultat : Praxéologie institutionnelle

La praxéologie institutionnelle s'est construite à partir de l'analyse des attentes institutionnelles (programmes, manuels) que nous développons ci-après.

3.1. Résultats de l'analyse écologique des programmes.

Nous présentons dans ce paragraphe les résultats de l'analyse écologique des programmes scolaires du primaire à la terminale scientifique de spécialité SVT concernant les domaines en lien avec le métabolisme de la fermentation alcoolique. Nous utilisons les programmes en vigueur en 2014, afin d'avoir une cohérence de l'école élémentaire au lycée.

Ainsi, nous présentons en annexe 1, les résultats de l'analyse écologique des programmes pour chaque niveau, en dégagant les habitats (thèmes des programmes) et les niches (éléments des thèmes d'étude concernés). Nous identifions pour chacune des niches les objets de savoirs en jeu issus des programmes, et nous proposons ainsi les éléments de définition de la notion de métabolisme. Le concept de métabolisme fait appel à des concepts limitrophes ainsi nous avons extrait du programme les éléments qui se réfèrent aux concepts de cellule, d'énergie, et d'échanges avec le milieu, en distinguant néanmoins pour ces mêmes concepts (en italique), les éléments non impliqués dans l'étude des métabolismes. Nous développons ci-après les résultats obtenus.

A l'école élémentaire (Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008), au cycle des apprentissages fondamentaux, les élèves acquièrent des repères dans le temps et l'espace et des connaissances sur le monde vivant. Ces repères sont construits en partant de situations simples de la vie quotidienne et du milieu proche et connu. Les élèves dépassent leurs représentations initiales par l'observation et la manipulation, ce qui est présent notamment en classe de 6^{ème} avec, comme première approche des SVT, l'observation de l'environnement proche. Les échanges avec le milieu sont abordés en cycle 2. En effet, les conditions de développement des végétaux et des animaux sont abordées par la mise en évidence des besoins en eau, sels minéraux, lumière et conditions de températures. La fonction de respiration reste à l'échelle de l'organisme et de ce qui est visible. Le concept d'énergie est centré sur la découverte des objets au quotidien.

Au collège (Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008), l'analyse du fonctionnement des organismes vivants, leurs besoins en énergie, et les relations trophiques sont les entrées par lesquelles le concept d'énergie au sens métabolique est abordé. L'énergie est effectivement un concept transdisciplinaire abordé en SVT, et en physique-chimie.

Le domaine des sciences de la vie permet aux élèves de constater que les végétaux chlorophylliens ont besoin pour se nourrir, de matière minérale à condition de recevoir de l'énergie lumineuse, alors que pour l'organisme humain, ce sont les nutriments en présence de dioxygène qui libèrent de l'énergie utilisable, entre autre, pour le fonctionnement des organes.

Au collège, les échanges avec le milieu sont abordés à différentes échelles. Tout d'abord au niveau de l'écosystème en classe de 6^{ème}, puis à l'échelle de l'organisme également en classe de 6^{ème} avec les besoins nutritifs des végétaux. On ne les aborde pas au niveau cellulaire même si le concept de cellule sera développé, mais par une autre approche (unité du vivant). Les échanges à l'échelle des organes sont étudiés en classe de 5^{ème} avec la respiration des êtres vivants et plus précisément de l'être humain. Ainsi les échanges sont vus à l'échelle de l'écosystème (respiration et occupation des milieux), de l'organisme (mouvements respiratoires), des organes (muscles). Les notions d'oxygène et de dioxyde de carbone sont enrichies avec les notions de gaz et de molécule vues en physique-chimie. La cellule occupe une place centrale au collège, car la cellule est l'unité des êtres vivants. On associe la cellule à des fonctions différentes. Ainsi le concept de structure/fonction associée apparaît.

Tous ces concepts seront repris, et complétés dans les classes de lycée en enseignement général.

Au lycée, et plus particulièrement en 2nd dans le thème « La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant » (Bulletin officiel spécial n° 4 du 29 avril 2010), les programmes proposent une logique d'approfondissement des acquis du collège. Notamment, sont abordées les nombreuses transformations chimiques qui se déroulent à l'intérieur de la cellule et qui constituent le métabolisme cellulaire. Ainsi dans cette partie les échanges avec le milieu sont vus à l'échelle de la cellule voir à l'échelle de la molécule puisque ces notions sont abordées dans le thème « les molécules constitutives des êtres vivants ».

La classe de première S introduit ce concept dans le thème « nourrir l'humanité », principalement à l'échelle des écosystème en s'appuyant sur les agrosystèmes. La notion de métabolisme est simplement abordée lors du bilan de la photosynthèse que viennent appuyer par la suite des concepts liés au développement durable.

En classe de terminale, est présentée une vue d'ensemble des transformations du système vivant aux échelles cellulaire et moléculaire où plusieurs réactions métaboliques sont étudiées.

En spécialité SVT, le thème « Énergie et cellule vivante » remobilise des notions abordées dans le programme de physique-chimie de première S (concepts de conversion de l'énergie, aux réactions d'oxydo-réduction, aux équations bilans). Le concept d'énergie est présenté ainsi : « *Tout système vivant échange de la matière et de l'énergie avec ce qui l'entoure. Il est le siège de couplages énergétiques.* » (Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011).

La cellule apparaît comme un système vivant échangeant matière et énergie avec son environnement. Différentes catégories de cellules peuvent être distinguées en fonction des molécules et des formes d'énergie qu'elles échangent avec leur environnement.

Ces différentes analyses nous amènent à proposer une synthèse de l'ensemble de ces éléments dans la figure 20 ci-après. Afin d'organiser la représentation de ces savoirs en jeu sur les métabolismes (*et les concepts limitrophes*), nous avons choisi de les représenter selon les différentes échelles d'études identifiées qui, selon l'analyse épistémologique précédemment présentée (chapitre 3), peut être à l'origine de difficultés d'apprentissage chez les élèves. Nous identifions également les niveaux d'enseignements concernés.

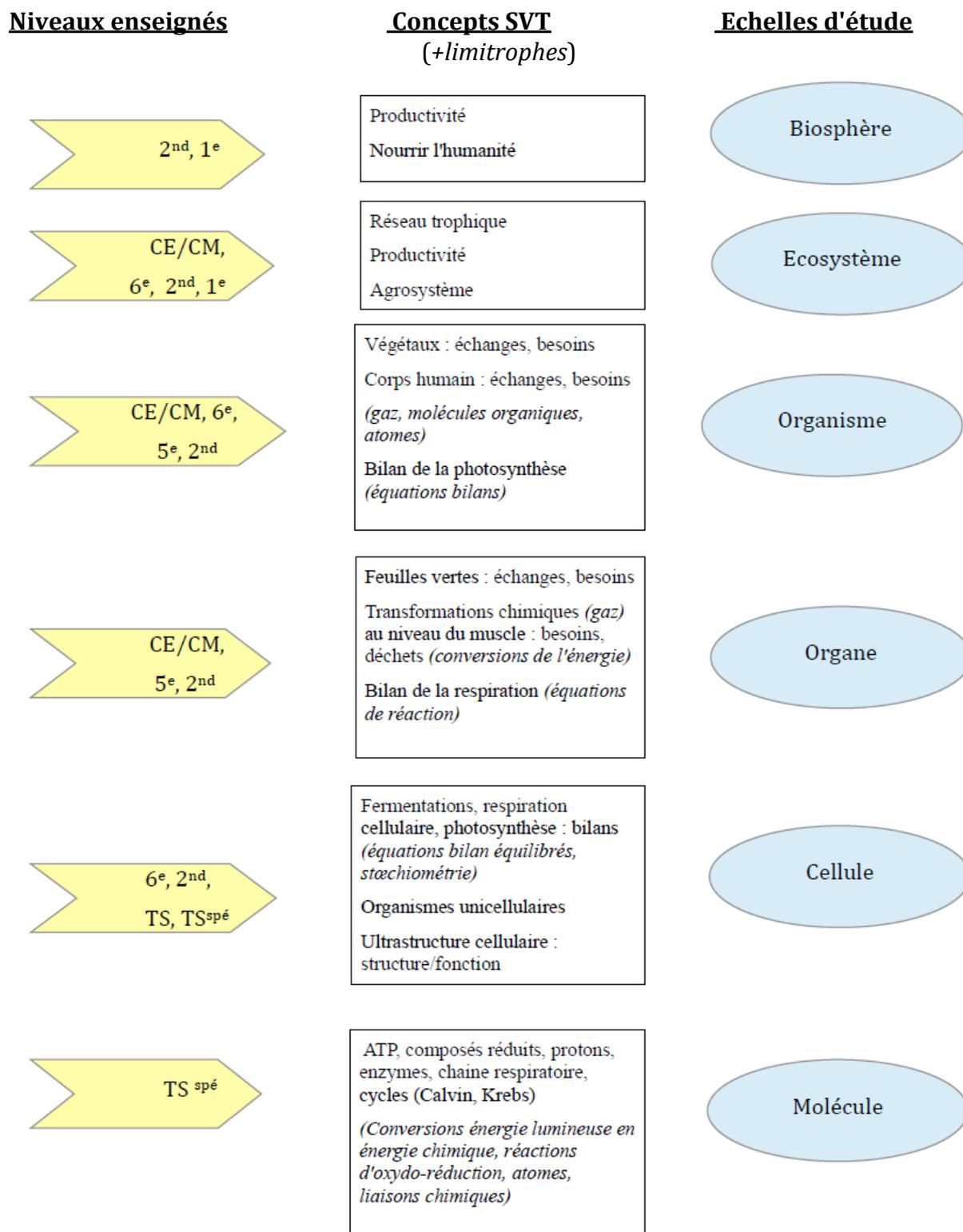


Figure 20 : analyse écologique des programmes sur le concept de métabolisme

La comparaison des savoirs savants (chapitre 3, paragraphe 1) aux savoirs à enseigner (analyse des programmes) nous amène aux constats suivants.

Nous remarquons que les savoirs savants sont tournés vers une échelle d'étude moléculaire principalement. En effet, on y aborde les structures moléculaires et atomiques des éléments. Le lien avec les connaissances de chimie est important, la barrière de la transdisciplinarité de ces notions est franchie. Ce qui n'est pas tout à fait le cas pour les programmes de terminale scientifique de spécialité SVT. En effet, on remarque une place plus importante des éléments portés sur l'échelle cellulaire. L'analyse écologique des programmes de SVT et des disciplines limitrophes met en évidence l'idée d'une barrière interdisciplinaire ce qui, selon l'analyse épistémologique (chapitre 3) peut être à l'origine de difficultés.

On remarque une même organisation des savoirs basée sur la relation structure / fonction, qui peut être à l'origine de difficultés du fait de la confusion entre la structure et les fonctions cellulaires impliquées (chapitre 3). En effet, on étudie dans un premier temps la structure cellulaire, puis on associe une multitude de fonctions cellulaires. Alors que l'étude des fonctions cellulaires permet d'introduire les structures cellulaires impliquées et de leur donner du sens, ce qui limite le cloisonnement structure / fonction qui peut être à l'origine de difficultés (Fortin, 2004).

Le vocabulaire et la formulation des concepts scientifiques des savoirs à enseigner sont adaptés et conformes au savoir savant. On remarque cependant que l'aspect moléculaire des réactions est simplifié, avec par exemple la simplification du coenzyme NAD en radical R'.

Les programmes très succincts laissent une place importante à la liberté pédagogique des enseignants. En effet, les programmes sont souvent perçus comme une contrainte de temps, de lourdeur (Chevallard, 1986) que les enseignants suivent dans le but de les « boucler » à la fin d'une année scolaire. Ainsi, le fait que ces programmes soient peu développés permet une interprétation plus personnelle de l'enseignant, et une liberté de choix pédagogique en fonction des objectifs d'apprentissage. L'apprentissage des notions n'est plus seul au centre des programmes qui insistent sur le développement du raisonnement et de la démarche expérimentale, également à l'origine de difficultés identifiées *a priori* (chapitre 1).

Afin de compléter l'analyse des savoirs enseignés, nous proposons dans le paragraphe suivant d'analyser les choix effectués par les auteurs des différents manuels.

3.2. Résultats de l'analyse praxéologique des manuels.

Nous présentons une analyse praxéologique de trois manuels (Belin, Bordas, Nathan) concernant l'étude du métabolisme de la fermentation alcoolique en classe de terminale scientifique de spécialité (annexe 2).

Les trois manuels ont fait le choix de regrouper la respiration et la fermentation cellulaire dans un même chapitre. Nous avons ainsi dans un premier temps réalisé une modélisation praxéologique commune incluant les concepts de respiration et de fermentation. Néanmoins, nous allons dans notre étude proposer une situation

sur la fermentation alcoolique, ainsi dans un second temps nous avons extrait les éléments praxéologiques correspondants que nous présentons dans le tableau 6.

Nous choisissons de détailler à partir d'un exemple pris dans le manuel Bordas, la méthode utilisée pour la modélisation praxéologique des manuels.

A partir du type de tâche générale sur les fermentations cellulaires (Manuel Bordas, p. 32) « T_4 : définir la fermentation cellulaire » qui englobe la fermentation alcoolique et la fermentation lactique, nous identifions une des tâches de la technique de T_4 relative à la fermentation alcoolique donnée dans les « pistes d'exploitation » (figure 21) « t_{41} : établir le bilan de la fermentation alcoolique » pour laquelle les élèves utiliser et exploiter documents 1 à 3 (figure 21).

Pistes d'exploitation

PROBLÈME À RÉSOUDRE ► Quelles sont les différentes voies métaboliques de production d'ATP par dégradation de molécules organiques ?

Doc. 1 à 3 Établissez le bilan de la fermentation alcoolique.

Doc. 2 et 3 Analysez et interprétez le résultat de l'expérience présentée par le document 2.

Doc. 1 à 3 À la lumière de cette étude, expliquez le but du « foulage » du raisin présenté page 32.

Doc. 3 et 4 Comparez ces deux exemples de fermentation. Pourquoi la dernière étape des réactions de ces fermentations est-elle nécessaire ?

Lexique, p. 232

Figure 21 : extrait du manuel Bordas de TS spé SVT p.45

L'étude des documents 1 et 2 du manuel nous permet d'identifier une technique relative à t_{41} non explicité dans le manuel qui consiste à mettre en évidence le métabolisme de la fermentation alcoolique. Nous le formalisons par le type de tâches « T_{411} : mettre en évidence la fermentation alcoolique à l'aide d'un dispositif expérimental ».

Ce type de tâche admet, dans le cadre de T4TEL, une variable épistémologique « V : dispositif expérimental » qui va prendre différentes valeurs (quantitatif, qualitatif) impliquant des techniques de résolution différentes. Nous en développons une ci-dessous.

Prenons l'exemple du document 2 qui fixe la variable « V : dispositif expérimental de mesure quantitative » (figure 22).

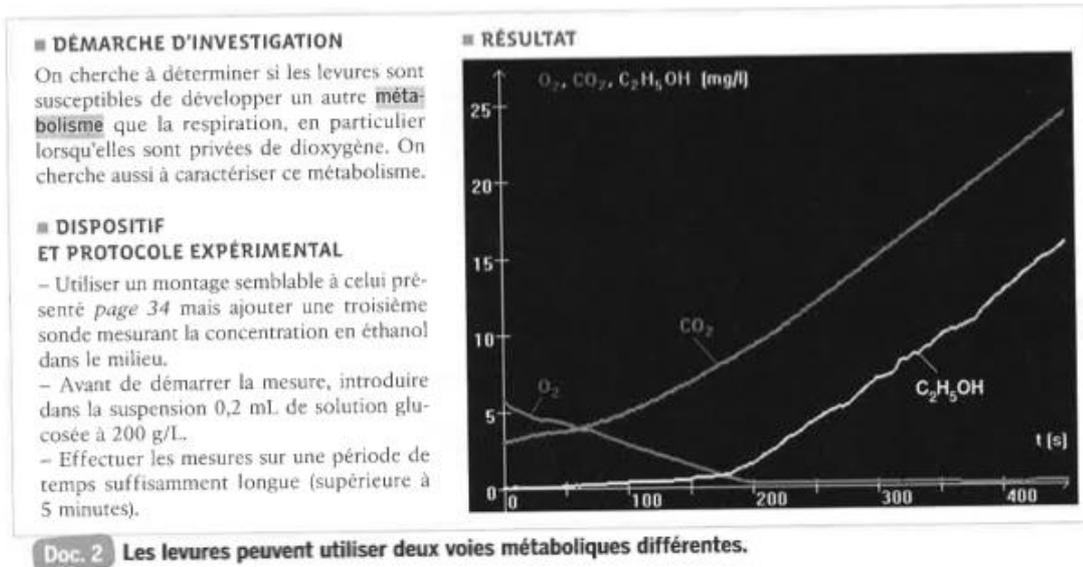


Figure 22 : extrait du manuel Bordas de TS spé SVT (p.44), document 2

Nous allons extraire de ce document, la technique proposée que nous décrivons selon le modèle praxéologique de la façon suivante :

- τ_{411} : utiliser un dispositif ExAO sur des levures en anaérobie (*cette technique non citée par les auteurs dans ce document, est utilisée dans les chapitres précédents qui mettent en évidence d'autres métabolismes. Nous utilisons ainsi l'intitulé précédemment cité dans les chapitres concernés*)
- ✓ τ_{4111} : ajouter au montage une sonde mesurant la concentration en éthanol
- ✓ τ_{4112} : avant de démarrer la mesure, introduire dans la suspension 0,2ml de solution glucosée à 200g/l.
- ✓ τ_{4113} : effectuer les mesures sur une période de temps suffisamment longue (supérieur à 5 minutes).

Les technologies relatives sont également extraites des documents en lien avec l'activité proposée.

Ainsi, nous présentons dans le tableau 6 ci-dessous, l'ensemble des praxéologies reconstruites à partir des énoncés des manuels.

Nous avons sélectionné les types de tâches ou tâches relatives aux activités incluant la fermentation alcoolique. Puis nous relevons la(les) techniques décrites, et enfin les technologies.

	Belin	Bordas	Nathan
Sélection des tâches relatives à la fermentation alcoolique dans les pages des manuels (en gras)	<p>Identifier les voies métaboliques permettant l'utilisation du potentiel énergétique des molécules organiques</p> <p>- T₁ : identifier les transformations de la matière organique et l'utilisation de son énergie.</p> <p>-t₂ : identifier les modalités de la respiration cellulaire et les structures cellulaires impliquées</p> <p>- t₃ : expliquer la production d'ATP en anaérobiose (fermentations)</p> <p>t₃₁ : décrire la fermentation éthylique</p> <p>t₃₂ : décrire la fermentation lactique</p> <p>t₃₃ : comparer les fermentations lactique et alcoolique</p>	<p>Montrer comment les cellules libèrent de l'énergie à partir de matière organique</p> <p>- t₁ : définir la respiration cellulaire</p> <p>- T₂ : identifier les étapes de cette respiration</p> <p>- T₃ : identifier la forme d'énergie disponible dans la cellule</p> <p>- T₄ : définir la fermentation cellulaire</p> <p>t₄₁ : établir le bilan de la fermentation alcoolique</p> <p>T₄₁₁ : mettre en évidence à l'aide d'un dispositif expérimental la fermentation alcoolique</p> <p><i>* Nous modélisons pour ce type de tâche T₄₁₁ une variable V : dispositif expérimental. Les auteurs proposent deux valeurs : a) méthode qualitative et b) méthode quantitative</i></p>	<p>Montrer comment les cellules libèrent de l'énergie à partir de matière organique</p> <p>- t₁ : localiser et définir les étapes de la respiration cellulaire</p> <p>- t₂ : expliquer comment le glucose peut être dégradé en absence de dioxygène</p> <p>t₂₁ : comparer les caractéristiques de la fermentation alcoolique par rapport à la respiration</p> <p>t₂₁₁ : réaliser une fermentation alcoolique</p> <p>t₂₁₂ : mesurer l'évolution de la teneur en glucose</p> <p>t₂₁₃ : mesurer l'évolution des concentrations en O₂, CO₂, et éthanol</p> <p>- t₃ : comparer les deux modes de dégradation du glucose</p>
Technique relative aux tâches sélectionnées	<p>τ₃₁ : utiliser un dispositif ExAO</p> <p>t₃₁₁ : mesurer en continu la concentration d'éthanol dans 9 ml de suspension de levures à 50 g/l en anaérobiose.</p> <p>t₃₁₂ : ajouter 1 ml de solution de glucose à 0,01 mol/l au temps t = 2min</p> <p>t₃₁₃ : suivre l'évolution de la concentration en</p>	<p><i>*Plusieurs techniques sont identifiées pour T₄₁₁ selon la valeur fixée de la variable identifiée</i></p> <p>a) τ₄₁₁ : recueillir les gaz dégagés : test à l'eau de chaux et éthylo test</p> <p>(technique non décrite dans les manuels)</p> <p>b) τ₄₁₁ : utiliser un dispositif ExAO sur des levures en anaérobiose :</p>	<p>τ₂₁₂ : utiliser des bandelettes réactives (technique non décrite dans les manuels)</p> <p>τ₂₁₃ : utiliser un montage ExAO</p> <p>t₂₁₃₁ : remplir l'enceinte du bioréacteur avec la suspension de levures</p> <p>t₂₁₃₂ : placer les sondes à O₂ et CO₂ et éthanol</p> <p>t₂₁₃₃ : agiter le milieu en réglant l'agitation à vitesse</p>

	<p>éthanol jusqu'à saturation (environ 30 min)</p> <p>t_{314} : estimer le nombre de molécules d'éthanol produites par molécule de glucose consommée sachant que la saturation de la concentration en éthanol traduit un épuisement du glucose injecté</p>	<p>t_{4111} : ajouter au montage une sonde mesurant la concentration en éthanol</p> <p>t_{4112} : avant de démarrer la mesure, introduire dans la suspension 0,2ml de solution glucosée à 200g/l.</p> <p>t_{4113} : effectuer les mesures sur une période de temps suffisamment longue.</p>	<p>moyenne</p> <p>t_{2134} : lancer l'enregistrement</p>
--	---	--	---

<p>Technologie</p> <p><i>On sépare les technologies relatives à une même technique en fonction du concept sur lequel elles portent</i></p>	<p>θ_{31} : cultivées en absence de dioxygène, les levures consomment du glucose et dégagent du CO₂. Elles produisent également une molécule organique, l'éthanol.</p> <p>θ_{31} : L'éthanol est un composé organique dont l'oxydation libère 1360 kJ/mol</p> <p>θ_{31} : Lors de la fermentation éthylique, R'H₂ est réoxydé dans le cytoplasme, ce qui permet de régénérer les R' nécessaires à la poursuite de la glycolyse. Cette régénération n'est pas couplée à une synthèse d'ATP.</p>	<p>θ_{41} : les levures mises dans un milieu glucosé et fermé épuisent les ressources en dioxygène et la suspension de levure fermente.</p> <p>θ_{41} : Par la fermentation, la dégradation du métabolite organique est incomplète : il y a production d'un composé secondaire organique, l'éthanol. Alors que la respiration produit 36 ATP par mole de glucose, la fermentation n'en produit que 2.</p>	<p>θ_{21} : les levures sont capables de se développer dans un milieu dépourvu de dioxygène et sont responsables des transformations des sucres en alcool par fermentation</p> <p>θ_{21} : les cellules musculaires sont capables de respirer et de fermenter</p> <p>θ_{21} : les levures déficientes en mitochondries sont capables de fermenter. L'ensemble des réactions se déroule dans le hyaloplasme.</p>
---	--	---	---

Tableau 6 : tableau comparatif des praxéologies des manuels de TS spé SVT sur le thème de la fermentation alcoolique

Nous présentons une analyse comparative détaillée des choix effectués par les auteurs en reprenant les éléments de praxéologie présents dans chaque manuel. Nous remarquons que pour un même énoncé du programme il y a une diversité d'objectifs d'apprentissages de savoirs et de savoirs faire selon les manuels.

Notons tout d'abord que la formulation explicite des types de tâches n'est pas toujours présente dans le manuel Bordas, mais les objectifs notionnels restent valables pour les trois manuels. En effet, ils consistent à localiser, définir les étapes de la respiration cellulaire et comparer les rendements énergétiques de la respiration cellulaire avec la fermentation cellulaire.

En ce qui concerne les tâches, on remarque l'absence de tâches supposées élémentaires en classe de terminale scientifique de spécialités (on qualifiera un type de tâche ou tâche comme élémentaire si l'institution ou l'expert du domaine considère qu'il n'est pas nécessaire d'explicitier la ou les techniques pour ce type de tâche. Ce choix peut être relatif à un niveau scolaire).

Cela peut s'expliquer par la chronologie des chapitres, photosynthèse puis respiration cellulaire, ce qui implique que les tâches déjà proposées dans le chapitre de la photosynthèse, deviennent élémentaires pour les chapitres suivants (respiration et fermentation). De plus, ces tâches élémentaires concernent principalement des protocoles d'expériences simples à réaliser, comme l'observation microscopique qui n'est pas reprise dans ce chapitre. Cependant, les techniques expérimentales comme l'utilisation de l'ExAO, couramment utilisée depuis la classe de seconde et qui devrait ainsi ne plus être décrite, est plus ou moins développée selon les manuels. Il s'agit d'un dispositif proposé dans les épreuves du baccalauréat (ECE) et qui est ainsi un des objectifs d'apprentissage.

Dans ce manuel, nous avons également extrait davantage de tâches dites « complexes » comme par exemple « *T : comparer les rendements des fermentations alcooliques et lactiques* ». Cette tâche induit la mobilisation par l'élève d'une technique de résolution non explicitée, incluant l'analyse de documents de nature différente (modélisations, expériences, savoirs).

La comparaison des technologies montre des unités différentes pour exprimer l'énergie (ATP ou kJoule). Les exemples cellulaires utilisés sont différents (levure, cellules musculaires), et le niveau « organite » est présent dans un seul manuel. Notons aussi, l'abondance de technologies apportées par le manuel Bordas, principalement sur des concepts au niveau d'échelle moléculaire empruntés à la chimie.

Par exemple :

θ_{31} : L'éthanol est un composé organique dont l'oxydation libère 1360 kJ/mol

θ_{31} : Lors de la fermentation éthylique, $R'H_2$ est réoxydé dans le cytoplasme, ce qui permet de régénérer les R' nécessaires à la poursuite de la glycolyse. Cette régénération n'est pas couplée à une synthèse d'ATP.

Rappelons néanmoins que l'étude des métabolismes à l'université fait partie du domaine de la biochimie au croisement des domaines de la biologie et de la chimie.

En revanche, les manuels Nathan et Belin axent principalement leurs technologies sur des concepts cellulaires.

Par exemple :

θ_{21} : les levures sont capables de se développer dans un milieu dépourvu de dioxygène et sont responsables des transformations des sucres en alcool par fermentation

θ_{22} : les cellules musculaires sont capables de respirer et de fermenter

θ_{23} : les levures déficientes en mitochondries sont capables de fermenter. L'ensemble des réactions se déroule dans le hyaloplasme.

On met ainsi en évidence une différenciation d'échelle d'étude concernant ce métabolisme. Nous relevons ainsi dans ces manuels, une certaine diversité concernant l'interprétation des programmes et les choix réalisés par les auteurs.

En conclusion :

Le manuel de l'édition Belin se différencie par l'abondance des tâches dites « complexes » (exemple : t_3 expliquer la production d'ATP en anaérobiose). Ces dernières s'appuient sur des modélisations et des apports de connaissances. Les technologies sont d'un haut niveau de savoir, et très développées (exemple : θ_{31} : Lors de la fermentation éthylique, $R'H_2$ est réoxydé dans le cytoplasme, ce qui permet de régénérer les R' nécessaires à la poursuite de la glycolyse. Cette régénération n'est pas couplée à une synthèse d'ATP). Bien souvent ces savoirs sont des concepts du domaine de la chimie, et appartiennent principalement aux échelles moléculaires et atomiques. On remarquera également des approches historiques présentes dans les deux chapitres.

L'édition Bordas se démarque par l'abondance de tâches relative à un protocole expérimental. Ces dernières sont simples (par exemple : t_{4122} : avant de démarrer la mesure, introduire dans la suspension 0,2ml de solution glucosée à 200g/l).

Par ailleurs, certaines tâches s'appuient sur des modélisations comme les réactions chimiques en chaînes intra mitochondriales. En effet, cela s'explique par les contraintes matérielles et institutionnelles d'une classe de lycée, qui ne permettent pas la mise en évidence expérimentale de ces réactions. Cette édition propose des tâches dites « complexes » qui favorisant la production d'un raisonnement incluant la démarche scientifique.

Enfin, l'édition Nathan, est pour beaucoup de points, similaire au manuel Bordas. Ce qui va le différencier c'est la simplification plus prononcée des technologies apportées dans le chapitre des respiration et fermentation cellulaires du manuel Nathan. Par exemple :

- ✓ dans le manuel Nathan : « θ_{21} : les levures sont capables de se développer dans un milieu dépourvu de dioxygène et sont responsables des transformations des sucres en alcool par fermentation »
- ✓ dans le manuel Bordas : « θ_{42} : Par la fermentation, la dégradation du métabolite organique est incomplète : il y a production d'un composé secondaire organique, l'éthanol. Alors que la respiration produit 36 ATP par mole de glucose, la fermentation n'en produit que 2. »

On remarque également l'absence, dans les deux chapitres, d'approche historique.

Cette analyse met en avant une diversité d'interprétation des programmes par les éditeurs, ce qui rejoint l'idée de liberté pédagogique explicitement citée dans les programmes de 2011. La réduction de ces programmes permet de laisser « une place à

la liberté pédagogique de l'enseignant » (Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011) et donc à celle des auteurs de manuels dans un premier temps.

3.3. Proposition d'une praxéologie institutionnelle de la mise en évidence de la fermentation alcoolique

L'ensemble de ces analyses nous conduit à une proposition de praxéologie institutionnelle concernant la situation de conception de protocole expérimental, sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique.

Afin de faciliter la lecture, nous distinguons pour le type de tâche générale T, la technique relative qui se décompose en trois types de tâches T1, T2 et T3 que nous formalisons en noir. Pour chacun de ces types de tâches, nous représentons par des couleurs différentes les techniques et technologies relatives.

De plus, conformément au modèle T4TEL présenté dans le chapitre 4, nous avons distingué des variables épistémologiques et/ou institutionnelles notées V1, V2, V3...

Ces variables peuvent prendre différentes valeurs notées a, b, c...

Nous développons, pour certaines d'entre elles, les techniques de résolution associées.

Nous rappelons également, qu'une variable épistémologique peut aussi, selon le même modèle, être une variable didactique. Nous le précisons pour chacune des variables épistémologiques identifiées. Néanmoins, nous ne détaillerons pas l'ensemble des variables didactiques modélisées du fait de l'exhaustivité de leur description peu pertinente dans notre étude. Cependant, nous les distinguerons lors de l'élaboration de la situation présentée dans le chapitre 7.

Praxéologie institutionnelle	
<ul style="list-style-type: none"> • Type de tâche principal T : Mettre en évidence le métabolisme de la fermentation alcoolique • La technique τ du principal type de tâche T est décrite par une succession de sous types de tâches : $\tau = \{T'_1, T'_2, T'_3\}$ avec : <ul style="list-style-type: none"> - T'₁ : identifier, à partir de données, les réactifs et les produits de la fermentation alcoolique - T'₂ : préparer les dispositifs expérimentaux relatifs à la mise en évidence de la fermentation alcoolique - T'₃ : mesurer la disparition des réactifs et l'apparition de produits de la fermentation alcoolique 	
<p>➤ T'₁ : Identifier, à partir de données, les réactifs et les produits de la fermentation alcoolique</p> <p>θ : La fermentation alcoolique est un processus biochimique par lequel des glucides, principalement le glucose, sont décomposés en milieu anoxique en éthanol et en dioxyde de carbone, avec libération d'énergie.</p>	
V1 : nature de l'information	<ul style="list-style-type: none"> a) Totale b) Partielle
V2 : objets ostensifs	<ul style="list-style-type: none"> a) Equation bilan b) Graphique c) Texte

V1a V2a

- **T'₁₁ : Relever les molécules (réactifs) placées à gauche de l'équation de réaction**
- **T'₁₂ : Relever les molécules (produits) placées à droite de l'équation de réaction**

θ : Dans une équation de réaction, les réactifs sont placés à gauche, et les produits sont placés à droite.

V1a V2b

- **T'₁₁ : Noter la/les molécule(s) (réactifs) dont la concentration diminue**
- **T'₁₂ : Noter la/les molécule(s) (produits) dont la concentration augmente**

θ : Les réactifs sont des espèces chimiques présentes dans le milieu réactionnel, dont la concentration tend à diminuer au cours du temps : les réactifs sont consommés, leurs atomes se réarrangent pour former de nouvelles molécules : les produits de cette réaction.

V1b V2c

- **T'₁₁ : sélectionner les informations relatives aux réactifs et/ou produits de la fermentation alcoolique**
- **T'₁₂ : chercher, parmi les sources d'informations disponibles, les réactifs/produits de la fermentation alcoolique manquants**

➤ **T'₂ : préparer les dispositifs expérimentaux relatifs à la mise en évidence de la fermentation alcoolique**

- **T'₂₁ : préparer les levures dans les conditions de milieu**
 - **T'₂₁₁ : prélever Xml de suspension de levures et la placer dans un contenant**
 - **T'₂₁₂ : Nommer la suspension à tester**
 - **T'₂₁₃ : placer la suspension de levures dans les conditions du milieu**
 - **T'₂₁₃₁ : placer la suspension à tester en anaérobie**
 - τ'_{2131} : suppression des apports en dioxygène
 - T'₂₁₃₁₁ : maintenir l'agitation au minimum
 - τ'_{21312} : supprimer le bulleur
 - τ'_{21313} : placer un bouchon hermétique 'percé'

θ_{2131} : Les levures réalisent provisoirement le métabolisme de la fermentation alcoolique pour gagner de l'énergie, quand l'oxygène nécessaire à la respiration cellulaire manque (condition anaérobie stricte)

La diminution de l'agitation et la mise en place d'un bouchon hermétique permettent de limiter les apports en dioxygène. Afin de favoriser la mise en anaérobie, les contenants doivent être remplis au maximum par la suspension de levures afin de limiter la quantité d'O₂ disponible aux levures pour un démarrage de la fermentation alcoolique plus rapide. Les gaz présents dans un milieu se dissolvent dans les liquides.

- **T'₂₁₂₄ : placer la suspension de levures à température optimale**

τ'_{2124} : utilisation d'un bain marie

- τ'_{21241} : remplir le bain marie d'eau
- τ'_{21242} : allumer le bain marie et le régler à 25°C
- τ'_{21243} : déposer la suspension de levures une fois la température stabilisée

θ_{2124} : la vitesse des réactions lors de la fermentation des levures dépend de la température du milieu. Chez les levures elle est optimale à 25°C. En dessous la vitesse ralentit, au dessus de 40°, les levures meurent et la réaction est stoppée.

▪ **T'₂₂ : préparer le dispositif expérimental de mesure du réactif**

V5 : oses	a) Galactose b) Glucose c) Fructose
------------------	---

V6 : méthode expérimentale de mesure	a) Qualitative seule b) Quantitative
---	---

- **T'₂₂₁ : prélever Xml de solution de glucose et la placer dans un contenant**

V6b

- **T'₂₂₂ : préparer un tableau de recueil de données**
- **T'₂₂₃ : préparer le dispositif du glucotest**
 - **T'₂₂₃₁ : prendre une pipette pour la solution test**
 - **T'₂₂₃₂ : Préparer les bandelettes de glucotest pour chacune des mesures à effectuer**
 θ_{2232} : Les bandelettes de glucotest sont spécifiques du glucose. Cette méthode est qualitative ou semi-quantitative et donne une précision à 0,1% de glucose. La lecture se fait par un code couleur qui correspond à un intervalle de concentration en glucose.

▪ **T'₂₃ : préparer le dispositif expérimental de mesure des produits**

V6 : méthode expérimentale de mesure	a) Qualitative seule b) Quantitative
---	---

V6b:

τ'_{23} : utilisation de sondes à CO₂ et éthanol

θ_{23} : Les sondes permettent de suivre en temps réel les concentrations en CO₂ et éthanol d'une solution.

- **T'₂₃₁ : paramétrer le logiciel en fonction du gaz mesuré et le temps de l'expérience**
- **T'₂₃₂ : Étalonner la/les sonde(s)**
- **T'₂₃₃ : mettre en place le matériel biologique dans l'enceinte du bioréacteur**
 - **t'₂₃₃₁ : prélever 10 ml de suspension de levures et les déposer dans l'enceinte du bioréacteur**
 - **T'₂₃₃₂ : laisser une agitation minimum pour la solution à tester**
 - **t'₂₃₃₃ : fermer le couvercle**
 - **t'₂₃₃₄ : placer les sondes**

V6a pour l'éthanol:

τ'_{23} : utilisation de bichromate de potassium solide

θ_{23} : l'éthanol contenu dans le milieu sera oxydé en acide éthanoïque par les ions dichromates, de couleur orange, qui se transformeront alors en ions chrome (III), de couleur verte

- **T'₂₃₁ : préparer un éthylotest pour la solution à tester à la fin de l'expérience**
- **T'₂₃₂ : préparer un tableau de recueil de données**

V6a pour le CO₂:

τ'_{23} : raccordement des levures à l'eau de chaux

θ_{23} : l'eau de chaux réagit en présence de dioxyde de carbone. Elle se trouble en présence de dioxyde de carbone (CO₂) qu'elle met en évidence. Le précipité blanc ainsi formé est du carbonate de calcium (CaCO₃).

- **t'₂₃₁ : prendre un tuyau flexible**
- **t'₂₃₂ : remplir un tube à essai d'eau de chaux**
- **t'₂₃₃ : raccorder un tube à essai d'eau de chaux à la solution**

► **T'₃ : mesurer la disparition des réactifs et l'apparition des produits de la fermentation alcoolique**

θ_3 : Les réactifs sont des espèces chimiques présentes dans le milieu réactionnel, dont la concentration tend à diminuer au cours du temps : les réactifs sont consommés, leurs atomes se réarrangent pour former de nouvelles molécules : les produits de cette réaction.

▪ **T'₃₁ : ajouter le réactif dans la solution à tester**

θ_{31} : l'ajout du glucose (réactif) permet de démarrer la réaction et donc de marquer le début de l'expérience

▪ **T'₃₂ : mesurer la quantité de réactif**

(V5b V6b)

- **T'₃₂₁ : réaliser τ'_{21212} pour chaque mesure à réaliser T'₂₂₂**
- **T'₃₂₂ : rincer les pipettes entre chaque mesures**
- **T'₃₂₃ : noter les résultats dans le tableau T'₂₂₃**

V6b éthanol et CO₂

▪ **T'₃₃ : mesurer l'apparition des produits dans la solution à tester**

- **T'₃₃₁ : lancer les mesures en mode graphique**
- **T'₃₃₂ : annoter la courbe**

τ'_{332} : utiliser les fonctions d'annotation du logiciel

V6a éthanol

▪ **T'₃₃ : observer l'apparition des produits dans la solution à tester**

- **t'₃₃₁ : prélever quelques gouttes de suspension avec une pipette**
- **t'₃₃₂ : les déposer sur l'embout de l'alcootest**
- **t'₃₃₃ : observer la couleur de l'alcootest**
- **T'₃₃₄ : rincer les pipettes entre chaque mesure**

V6a CO₂

▪ **T'₃₃ : observer l'apparition des produits dans la solution à tester**

▪ **T'₃₄ : laver le matériel**

θ_{34} : le lavage à l'eau permet d'enlever tous les résidus solides et liquides afin de ne pas interférer avec les prochaines utilisations

Nous identifions quatre variables⁷ dans la praxéologie institutionnelle :

- V1 : nature de l'information
- V2 : objet ostensif⁸
- V5 : type d'ose
- V6 : type de méthode expérimentale de mesure

Il s'agit de variables épistémologiques et didactiques car les valeurs proposées génèrent des techniques de résolution différentes et peuvent être à disposition de l'enseignant dans l'institution.

⁷ Les variables sont numérotées dans l'ordre de leur apparition dans la praxéologie de référence (paragraphe 4). Certaines variables disparaissent dans l'institution du fait de la fixation d'une unique valeur.

⁸ (Bosch & Chevillard, 1999). Les ostensifs ont pour objectif d'élargir les objets couverts par le champ des registres de représentation sémiotiques de Duval. Parmi les ostensifs certains s'organisent en registres de représentations sémiotiques.

Par exemple pour le type de tâche T'_{23} : *préparer le dispositif expérimental de mesure du réactif*

Il existe une variable V6 (méthode expérimentale de mesure) qui peut prendre deux valeurs :

- Qualitative seule (V6a)
- Quantitative (V6b)

Pour lesquelles il existe respectivement une technique (τ'_{23}) distincte :

- ✓ la technique relative à l'utilisation de la liqueur de Fehling
- ✓ la technique relative à l'utilisation du glucolest

Ces deux techniques sont justifiées par des technologies (θ_{23}) respectivement différentes :

- θ : *La liqueur de Fehling permet de tester la présence de sucres réducteurs dans une solution, sans indication de quantité.*
- θ : *Les bandelettes de glucolest sont spécifiques du glucose. Cette méthode est qualitative ou semi-quantitative et donne une précision à 0,1% de glucose. La lecture se fait par un code couleur qui correspond à un intervalle de concentration en glucose.*

La proposition de praxéologie institutionnelle que nous proposons ne décrit pas l'ensemble des techniques ou technologies qui nous semblent élémentaires ou fixées selon l'institution dans laquelle nous nous plaçons (classe de lycée terminale scientifique de spécialité dans notre étude).

Ainsi, la praxéologie institutionnelle permet d'identifier à travers les différents éléments inhérents à l'organisation praxéologique, les types de tâches à l'origine des objectifs notionnels d'apprentissage en jeu.

4. Résultat : Praxéologie de référence

L'analyse institutionnelle couplée à l'analyse épistémologique (chapitre 3), nous conduit, selon la méthodologie présentée au début de ce chapitre, à une proposition de praxéologie de référence que nous développons ci-dessous.

Nous distinguons (en surlignant en bleu) les éléments praxéologiques propres à la praxéologie de référence, qui disparaissent dans le cadre de l'institution scolaire (lycée) dans laquelle notre étude se place.

Pour ces types de tâches ou tâches ainsi identifiés, nous distinguerons celles qui ne sont pas à la charge de l'élève mais à la charge de l'enseignant (*), de celles qui ne sont pas mises en jeu (**) du fait des contraintes institutionnelles liées au matériel autorisé et/ou disponible.

Praxéologie de référence

- Type de tâche T : Mettre en évidence le métabolisme de la fermentation alcoolique
- La technique τ du principal type de tâche T est décrite par une succession de sous types de tâches : $\tau = \{T'_1, T'_2, T'_3\}$ avec :
 - T'_1 : identifier, à partir de données, les réactifs et les produits de la fermentation alcoolique
 - T'_2 : préparer les dispositifs expérimentaux relatifs à la mise en évidence de la fermentation alcoolique
 - T'_3 : mesurer la disparition des réactifs et l'apparition de produits de la fermentation alcoolique

➤ **T'_1 : Identifier, à partir de données, les réactifs et les produits de la fermentation alcoolique**

θ : La fermentation alcoolique est un processus biochimique par lequel des glucides, principalement le glucose, sont décomposés en milieu anoxique en éthanol et en dioxyde de carbone, avec libération d'énergie.

V1 : nature de l'information	a) Totale b) Partielle
-------------------------------------	---------------------------

V2 : registre de représentation	a) Equation bilan b) Graphique c) Texte
--	---

V1a V2a

- T'_{11} : Relever les molécules (réactifs) placées à gauches de l'équation de réaction
- T'_{12} : Relever les molécules (produits) placées à droite de l'équation de réaction

θ : Dans une équation de réaction, les réactifs sont placés à gauche, et les produits sont placés à droite.

V1a V2b

- T'_{11} : Noter la/les molécule(s) (réactifs) dont la concentration diminue
- T'_{12} : Noter la/les molécule(s) (produits) dont la concentration augmente

θ : Les réactifs sont des espèces chimiques présentes dans le milieu réactionnel, dont la concentration tend à diminuer au cours du temps : les réactifs sont consommés, leurs atomes se réarrangent pour former de nouvelles molécules : les produits de cette réaction.

V1b V2c

- T'_{11} : sélectionner les informations relatives aux réactifs et/ou produits de la fermentation alcoolique
- T'_{12} : chercher, parmi les sources d'informations disponibles, les réactifs/produits de la fermentation alcoolique manquants

➤ **T'_2 : préparer les dispositifs expérimentaux relatifs à la mise en évidence de la fermentation alcoolique**

V3 : microorganisme	(a) Levures (b) Bactéries
----------------------------	------------------------------

V3a

▪ **T'₂₁ : préparer les microorganismes dans les conditions de milieu**

• **T'₂₁₁ : préparer xL de suspension de levures à xg/L***

➤ **T'₂₁₁₁ : noter le volume (Vt) total de suspension de levures à préparer**

➤ **T'₂₁₁₂ : calculer la masse de microorganismes (m)**

$\tau'_{2112} : C_m = m / V$

θ'_{2112} : par définition, la concentration massique d'une espèce chimique est égale au quotient de la masse par le volume de la solution ($C_m = m / V$)

➤ **T'₂₁₁₃ : définir le volume d'eau distillée (Vd) pour mettre les levures en solution**

$\tau'_{2113} : V_{\text{eau distillée}} = V_{\text{total de suspension}}$

θ'_{2113} : L'ajout d'eau distillée permet d'obtenir le réactif en solution afin de pouvoir l'injecter à la solution de levure. La précision de mesure n'a pas d'importance car elle n'aura pas d'impact sur la qualité et les objectifs de l'expérience.

➤ **T'₂₁₁₄ : préparer le matériel pour réaliser la suspension de levures**

○ τ'_{21141} : prendre un bécher plus grand que le volume Vd

○ τ'_{21142} : prendre une balance (précise au mg) pour peser les levures

○ τ'_{21143} : prendre une éprouvette graduée adaptée au volume d'eau distillée à rajouter

○ τ'_{21144} : prendre un agitateur magnétique

θ'_{2114} : Les contenants doivent être adaptés pour recevoir le volume finale de solution. La précision de mesure n'a pas d'importance sur la qualité et les objectifs de l'expérience. L'agitation permet d'homogénéiser la suspension en favorisant la dissolution du réactif dans l'eau distillée ajoutée

➤ **T'₂₁₁₅ : mettre les levures en solution**

○ τ'_{21151} : peser les levures (m) et les placer dans le bécher

○ τ'_{21152} : rajouter le volume V d'eau distillée

○ τ'_{21153} : homogénéiser la solution

➤ **T'₂₁₁₆ : laver le matériel à l'eau courante**

θ'_{2116} : le lavage à l'eau permet d'enlever tous les résidus solides et liquides afin de ne pas interférer avec les prochaines utilisations

• **T'₂₁₂ : placer la suspension de levures dans les conditions du milieu**

➤ **T'₂₁₂₁ : « affamer » les levures***

Première technique (non décrite) :

τ'_{2121} : laver les levures

θ'_{2121} : laver les levures permet d'éliminer toute trace de substrat afin de les « affamer » et de les rendre plus réactives lors de l'ajout de substrat pendant l'expérimentation

Deuxième technique :

τ'_{2121} : agitation permanente

θ'_{2121} : l'agitation magnétique pendant quelques heures peut suffire à éliminer les reste de réactif car les levures en le consommant vont épuiser le milieu de même que leurs réserves internes.

○ τ'_{21211} : maintenir l'agitation magnétique dans la suspension pendant 2h

○ τ'_{21212} : placer un bulleur

○ τ'_{21213} : contrôler le taux de glucose

τ'_{21213} : utilisation du glucotest ou de la liqueur de Fehling

Technique τ'_{21212} du glucotest

θ'_{21213} : La liqueur de Fehling (méthode qualitative) en absence de sucre réducteur restera bleu après chauffage et deviendra rouge en leur présence.

t'_{212131} : prélever à l'aide d'une pipette quelques gouttes de la suspension

- t'_{212132} : déposer quelques gouttes sur la 'tête' d'une bandelette de gluco-test

- t'_{212133} : attendre quelques secondes

- t'_{212134} : comparer la couleur de la bandelette avec le référentiel

- t'_{212135} : noter le taux (intervalle) de glucose

○ T'_{21214} : renouveler T'_{2121} si nécessaire

Technique τ'_{21212} de la liqueur de Fehling

θ'_{21213} : Le gluco-test (méthode quantitative et qualitative) en absence de glucose présentera une couleur correspondant à un taux de glucose nul.

- t'_{212121} : prélever à l'aide d'une pipette quelques ml de la suspension et les déposer dans un tube à essai

- t'_{212122} : ajouter quelques gouttes de liqueur de Fehling

- t'_{212123} : attendre quelques secondes

- t'_{212124} : chauffer le tube à essai

- t'_{212125} : observer la couleur

T'_{21214} : renouveler T'_{2121} si nécessaire

➤ T'_{2122} : prélever Xml de suspension de levures et les placer dans un contenant

➤ T'_{2123} : Nommer la solution à tester

➤ T'_{2124} : placer la suspension à tester en anaérobie

τ'_{2124} : suppression des apports en dioxygène

θ_{2124} : Les levures réalisent provisoirement le métabolisme de la fermentation alcoolique pour gagner de l'énergie, quand l'oxygène nécessaire à la respiration cellulaire manque (condition anaérobie stricte)

La diminution de l'agitation et la mise en place d'un bouchon hermétique permettent de limiter les apports en dioxygène. Afin de favoriser la mise en anaérobie, les contenants doivent être remplis au maximum par la suspension de levures afin de limiter la quantité d' O_2 disponible aux levures pour un démarrage de la fermentation alcoolique plus rapide. Les gaz présents dans un milieu se dissolvent dans les liquides.

➤ T'_{2126} : placer la suspension de levures à température optimale

θ_{2126} : la vitesse des réactions lors de la fermentation des levures dépend de la température du milieu. Chez les levures elle est optimale à 25°C. En dessous la vitesse ralentit, au dessus de 40°, les levures meurent et la réaction est stoppée.

τ'_{2126} : utilisation d'un bain marie

➤ T'_{2127} : contrôler les paramètres du milieu dans la suspension **

τ'_{2127} : utilisation de sondes portatives

○ T'_{21271} : tester la présence d' O_2

τ'_{21271} : utilisation d'une sonde à O_2

- T'_{212711} : allumer la sonde portative et choisir le mode 'liquide'

- T'_{212712} : plonger la sonde dans la suspension et laisser la valeur se stabiliser

- T'_{212713} : comparer le taux relevé avec le seuil de tolérance

○ T'_{21272} : tester la présence d'éthanol

τ'_{21271}

○ T'_{21273} : tester la présence de CO_2

τ'_{21271}

➤ T'_{2128} : laver à l'eau courante

▪ T'22 : préparer le dispositif expérimental de mesure du réactif

V4 : réactif (glucides)	a) Osides b) Oses
V5 : oses	a) Galactose b) Glucose c) Fructose
V6 : méthode expérimentale de mesure	a) Qualitative seule b) Quantitative

V4bV5b

- T'221 : préparer xml de solution de glucose à xg/L.*
 - T'2211 : noter le volume (Vt) total de réactif à préparer
 - T'2212 : calculer la masse de réactif (m)
 - τ'2212 : $C_m = m/V$
 - T'2213 : calculer le volume d'eau distillée (Vd) pour mettre le réactif en solution
 - τ'2213 : Veau distillée = V total de réactif
 - T'2214 : préparer le matériel pour réaliser la solution de réactif
 - T'22141 : prendre un bécher plus grand que le volume Vd
 - T'22142 : prendre une balance (précise au mg) pour peser le réactif
 - T'22143 : prendre une éprouvette graduée adaptée au volume d'eau distillée à rajouter
 - T'22144 : prendre un agitateur manuel
 - T'2215 : mettre le réactif en solution
 - T'22151 : peser le réactif et la placer dans le bécher
 - T'22152 : rajouter le volume Vd d'eau distillée
 - T'22153 : homogénéiser la solution
 - T'2216 : laver le matériel à l'eau courante

V5b V6b

- T'222 : préparer un tableau de recueil de données
- T'223 : préparer le dispositif du glucotest

θ223 : Les bandelettes de glucotest sont spécifiques du glucose. Cette méthode est qualitative ou semi-quantitative et donne une précision à 0,1% de glucose. La lecture se fait par un code couleur qui correspond à un intervalle de concentration en glucose.

▪ T'23 : préparer le dispositif expérimental de mesure des produits

V6 : méthode expérimentale de mesure	a) Qualitative seule b) Quantitative
--------------------------------------	---

V6a pour l'éthanol:

τ'23 : utilisation de bichromate de potassium

θ23: l'éthanol contenu dans le milieu sera oxydé en acide éthanoïque par les ions dichromates, de couleur orange, qui se transformeront alors en ions chrome (III), de couleur verte

V7 : état du bichromate de potassium	a) Solide (éthylotest) b) liquide
--------------------------------------	--------------------------------------

V7a

- **T'₂₃₁ : préparer un éthylotest**
- **T'₂₃₂ : préparer un tableau de recueil de données**

V6a pour le CO₂:

τ'_{23} : raccordement des levures à l'eau de chaux

θ_{23} : l'eau de chaux réagit en présence de dioxyde de carbone. Elle se trouble en présence de dioxyde de carbone (CO₂) qu'elle met en évidence. Le précipité blanc ainsi formé est du carbonate de calcium (CaCO₃).

- **t'₂₃₁ : prendre un tuyau flexible**
- **t'₂₃₂ : remplir un tube à essai d'eau de chaux**
- **t'₂₃₃ : raccorder un tube à essai d'eau de chaux à chaque solution**

► **T'₃ : mesurer la disparition des réactifs et l'apparition des produits de la fermentation alcoolique**

θ_3 : Les réactifs sont des espèces chimiques présentes dans le milieu réactionnel, dont la concentration tend à diminuer au cours du temps : les réactifs sont consommés, leurs atomes se réarrangent pour former de nouvelles molécules : les produits de cette réaction.

- **T'₃₁ : ajouter le réactif dans la solution à tester**

θ_{31} : l'ajout du glucose (réactif) permet de démarrer la réaction et donc de marquer le début de l'expérience

- **T'₃₂ : mesurer la quantité de réactif**
- **T'₃₃ : mesurer l'apparition des produits dans la solution à tester**
- **T'₃₃ : observer l'apparition des produits dans la solution à tester**
- **T'₃₄ : laver le matériel**

Nous relevons une variable institutionnelle V3, qui est fixée par l'institution scolaire dans laquelle nous nous plaçons. En effet, la variable V3 (microorganismes) peut prendre plusieurs valeurs, nous en distinguons deux qui peuvent être à l'origine de difficultés identifiées *a priori* :

a) levures

b) bactéries⁹

L'institution, du fait de ses contraintes et notamment celle liée à l'utilisation du vivant, fixe la valeur « levure ». Or une variable n'existe qu'à partir du moment où elle propose au minimum deux valeurs, ainsi, la variable V3 disparaît dans l'institution scolaire.

Il en est de même pour les variables V4 et V7. Pour cette dernière, la manipulation du bichromate de potassium liquide étant interdit dans les établissements scolaires, la variable V7 ne peut prendre qu'une seule valeur « solide ». Elle n'est donc plus présente dans l'institution scolaire.

Certaines variables institutionnelles modélisées dans la praxéologie de référence, peuvent être effectivement en lien avec une difficulté identifiée *a priori* dans la littérature. Par exemple, la variable V3 peut être à l'origine d'une difficulté, notamment

⁹ *Zymomonas mobilis* est une bactérie anaérobie facultative à Gram négatif en forme de bâtonnet particulièrement connue pour ses capacités de fermentation alcoolique qui l'ont fait étudier pour la production industrielle d'éthanol pour biocarburants.

en ce qui concerne la confusion entre les microorganismes relevée dans les travaux de Schneeberger & Rodriguez (1999).

Ainsi, nous utilisons la praxéologie de référence pour élaborer notre situation, afin d'élargir le champ des variables disponibles.

La praxéologie de référence n'est pas non plus figée, car nous enrichissons *a posteriori* les valeurs possibles de ces variables pour rendre compte des praxéologies personnelles des élèves.

5. Résultat : éléments de praxéologies personnelles *a priori*

Nous proposons dans ce paragraphe (figure 23) des **éléments de praxéologie personnelles *a priori*** (représentés dans des encadrés) pour un des types de tâches qui est objectif d'apprentissage (en bleu) en classe de terminale scientifique de spécialité SVT, dans une situation de conception de protocole expérimentale sur la fermentation alcoolique « **T : placer les microorganismes dans les conditions du milieu** ».

Nous modéliserons l'ensemble des praxéologies personnelles *a priori* pour ce type de tâche dans le chapitre 11, afin d'enrichir le modèle avec l'analyse des productions des élèves.

La figure 23 présente ces différents éléments de praxéologie personnelle. Nous modélisons (en noir) la technique de T relative et conforme aux attentes institutionnelles. Elle se décline en trois types de tâches T0, T1, et T2 dont une des valeurs de variable (tube à essai) est fixée par l'institution (matériel disponible). Les autres variables à disposition du chercheur ou de l'enseignant sont soulignées en noir.

Puis, selon le modèle théorique de la situation présenté dans le chapitre 4, nous développons pour ce type de tâche les possibles **erreurs des élèves** (écrites en orange) :

- portées sur la **technique** globale de l'élève (τ_e)

et/ou

- portées sur une ou plusieurs **variables** d'un type de tâche de la technique de l'élève. Les erreurs modélisées *a priori* sont notées $V'x$.

Les erreurs modélisées *a priori* renvoient, pour certaines, vers une interprétation *a priori* du côté des **technologies** (écrites en vert) de l'élève (notées $\theta'x$).

Nous avons classé ces éléments de technologies *a priori* dans le tableau 7 en fonction des **difficultés identifiées *a priori*** dans l'analyse épistémologique.

Les technologies erronées ainsi identifiées peuvent être également classées selon la **catégorisation de difficultés** présentée dans le chapitre 3. Ainsi, nous faisons apparaître pour chaque technologie erronée, la catégorie à laquelle elle se réfère.

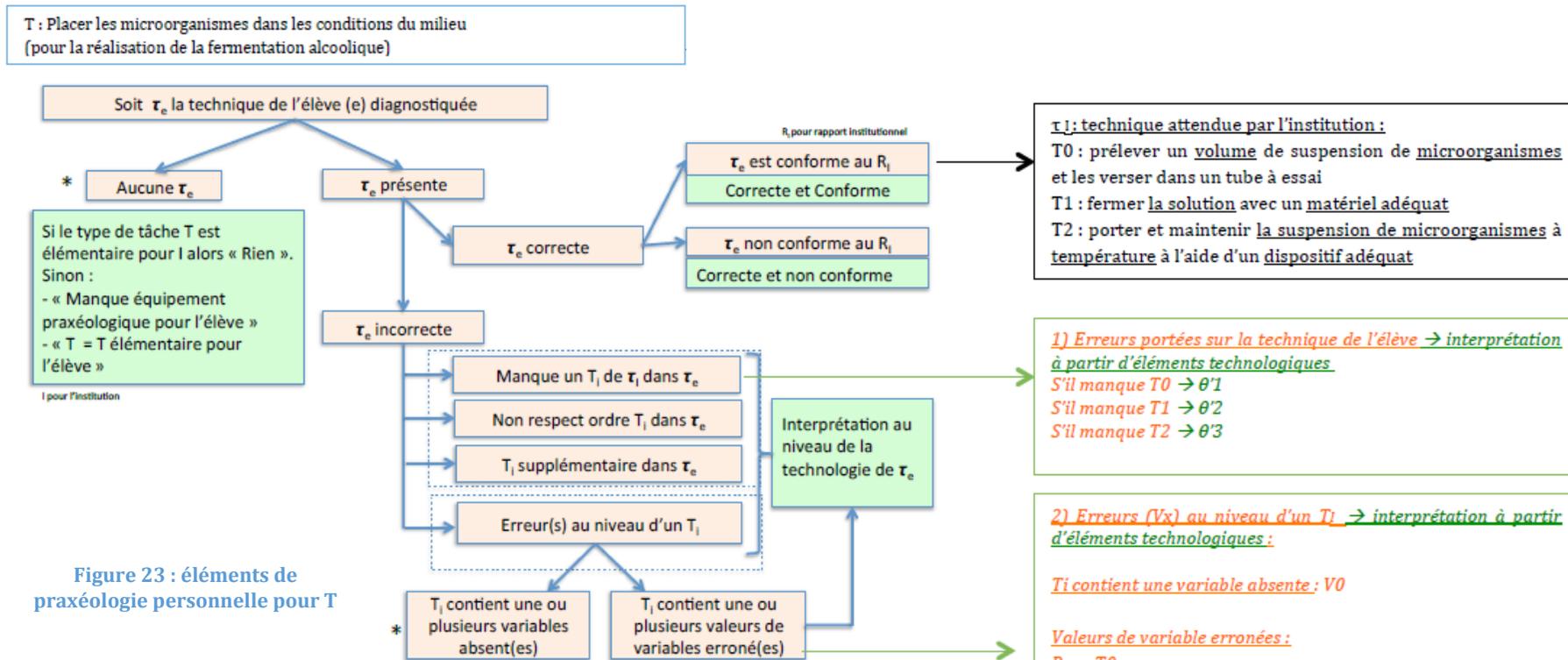


Figure 23 : éléments de praxéologie personnelle pour T

Éléments de technologies erronées a priori :

- θ^1 : la fermentation alcoolique est un métabolisme qui se déroule indépendamment de la présence de microorganismes (levures)
- θ^2 : le métabolisme de la fermentation alcoolique se déroule en aérobie
- θ^3 : la réalisation optimale du métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures est indépendante de la température du milieu
- θ^4 : le volume disponible d'un contenant est inférieur au volume versé.
- θ^5 : les gaz présents dans l'air ne se dissolvent pas dans une solution / l'air est « vide »
- θ^6 : la levure une bactérie. La levure n'est pas un microorganisme.
- θ^7 : la vitesse de réaction chimique de la fermentation alcoolique est indépendante de la température du milieu
- θ^8 : la température optimale pour la réalisation du métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures est > 40°C
- θ^9 : la température optimale pour la réalisation du métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures est < 20°C

Difficultés identifiées <i>a priori</i> **	Difficultés à définir le concept de fermentation alcoolique (Songer et Mintzes, 1994 Flores & al., 2003)	Confusion respiration /fermentation (Songer et Mintzes, 1994 Flores & al. 2003)	Difficulté à associer levure/vivant (Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Songer & Mintzes, 1994)	Difficulté à différencier les microorganismes (Schneeberger & Rodriguez, 1999)	Difficulté à matérialiser les gaz /dissolution (Séré, 1986 ; Stavy, 1988)	Méconnaissance /influence du matériel de laboratoire (Jordan & al., 2011)	Difficulté en lien avec la réaction chimique (Carretto & Viovy, 1994)
θ'1 (Cb)	✓		✓				
θ'2 (Cb)	✓	✓					
θ'3 (Cb, Cc)	✓						
θ'4 (Lm)						✓	
θ'5 (Cc)	✓				✓		
θ'6 (Cb)			✓	✓			
θ'7 (Cc)							✓
θ'8 (Cb, Cc)			✓				✓
θ'9 (Cb, Cc)			✓				✓

Tableau 7 : technologies erronées *a priori*, en lien avec les difficultés identifiées *a priori* dans l'analyse épistémologique

** Catégories de difficultés auxquelles les erreurs de réfèrent :

- C : concept fondamental (Cb pour un concept de biologie, Cc pour un concept de chimie)
- L : pour les techniques de laboratoire (Lm pour la connaissance du matériel)

Dans la figure 23, nous identifions ainsi des erreurs possibles au niveau de la technique du type de tâches T, et plus précisément si un ou plusieurs type(s) de tâches associés est/sont manquants. Pour chaque type de tâches manquant (T0, T1, T2) nous proposons une technologie erronée à l'origine de cette/ces erreur(s).

Par exemple, si le type de tâche T1 est manquant dans la technique τ_e proposée par l'élève, nous supposons une technologie erronée de l'élève $\theta'2$ à l'origine de cette erreur ($\theta'2$: le métabolisme de la fermentation alcoolique se déroule en aérobic).

Cependant dans notre étude, les erreurs portées sur l'ordre des tâches relatives à la technique de T ne sont pas pertinentes. Ainsi nous ne mettons pas en relation ces possibles erreurs avec une ou plusieurs technologies erronées *a priori*. De même nous ne proposons pas de tâches supplémentaires *a priori* du fait de la variété des tâches possibles dans notre situation.

Les erreurs possibles des élèves, identifiées *a priori*, peuvent aussi porter sur les variables d'un ou plusieurs types de tâches de la technique. Nous identifions, pour le type de tâche (T), huit valeurs génériques erronées ($V'x$) relatives aux différentes variables. Chacune est justifiée par une ou plusieurs technologies *a priori* erronées. Nous avons identifié pour ce type de tâches, neuf technologies erronées *a priori*.

Selon le modèle théorique présenté dans le chapitre 4, tout comme l'absence de technique τ_e , l'absence de variable (notée V0) dans un type de tâche de la technique ne peut pas être interprété au niveau des technologies de l'élève (nous les avons identifiés dans la figure 23 par *).

Le tableau 7 regroupe l'ensemble des technologies erronées *a priori* selon les difficultés identifiées dans l'analyse épistémologique relatives au type de tâche T.

Nous remarquons qu'une seule difficulté identifiée *a priori* peut se traduire sous la forme d'une ou plusieurs technologies erronées relatives à une ou plusieurs erreurs au niveau de la technique et/ou au niveau d'une valeur prise par une variable. C'est le cas notamment d'une difficulté identifiée dans les travaux de Songer & Mintzes (1994) et Flores & al. (2003) concernant la confusion entre les métabolismes de la fermentation et de la respiration cellulaire. En effet, dans notre modèle de praxéologie personnelle *a priori*, cette difficulté peut être à l'origine d'erreurs concernant la technique avec une absence de T1, mais aussi des valeurs erronées de variables V'2 et V'5, justifiée par une même technologie erronée $\theta'2$.

Ainsi, on peut supposer que pour une catégorie de difficultés identifiée *a priori*, il y aurait une ou plusieurs praxéologies personnelles correspondantes.

Nous faisons néanmoins le choix de les formaliser dans le chapitre 11, afin d'enrichir la modélisation de praxéologies personnelles *a priori* avec celles modélisées dans les protocoles d'élève.

6. Conclusions

Les résultats obtenus montrent que la modélisation d'une situation de conception de protocole en biologie peut être réalisée selon le modèle praxéologique étendu au modèle T4TEL. Cette modélisation permet de structurer l'activité de l'élève en distinguant les savoirs faire des savoirs. De plus, la formalisation des variables permet d'identifier celles que le chercheur peut fixer. Les valeurs prises par ces variables peuvent être enrichies par la modélisation de praxéologies personnelles.

Les praxéologies nous permettent de produire une référence pour décrire l'activité de l'élève dans une situation de conception expérimentale sur la fermentation alcoolique. La praxéologie de référence peut évoluer et être complétée lorsqu'elle est mise à l'épreuve, notamment au niveau des valeurs de variables qui peuvent être complétée par l'analyse de productions d'élèves.

La praxéologie institutionnelle permet d'identifier les types de tâches à la charge de l'élève, les techniques de résolution nécessaires et les technologies requises pour donner du sens aux techniques utilisées.

Le croisement entre l'analyse praxéologique de la situation et l'analyse épistémologique des connaissances en jeu permet l'élaboration de praxéologies personnelles *a priori* de la situation. Nous avons ainsi identifié des erreurs pour certains types de tâches, en proposant une origine épistémologique sous la forme de technologies erronées. Nous formaliserons des praxéologies personnelles *a priori*, à partir de ces éléments, dans le chapitre 11, que nous enrichirons avec l'analyse des productions des élèves.

Cette modélisation praxéologique est une référence en terme de contenu, d'attentes institutionnelles, qui sera utilisée dans la suite de notre étude :

- **pour concevoir la situation et l'implémenter dans LabBook :**
Nous verrons comment la modélisation praxéologique des connaissances en jeu de la situation, peut être traduite en étapes et actions paramétrées dans l'activité de conception de protocole de l'élève. Nous verrons également, comment prendre en compte les contraintes liées à l'utilisation de LabBook (chapitre 7).
- **pour concevoir un protocole de référence** (chapitre 8) :
Le protocole de référence permettra d'analyser les protocoles d'élèves (chapitres 9 et 10)
- **pour enrichir la modélisation de praxéologies personnelles *a priori*** à partir de l'analyse des erreurs identifiées (chapitre 11).
- **pour proposer des rétroactions** adaptées à partir de préconisations pour un diagnostic automatique des erreurs des élèves (chapitre 11).

Chapitre 7 : Conception de la situation, élaboration de la pré structuration du protocole

Dans le chapitre 6, nous avons modélisé les connaissances mises en jeu lors d'une activité de conception expérimentale sur le thème des métabolismes cellulaires, et plus particulièrement le concept de fermentation alcoolique, en utilisant le cadre de la Théorie Anthropologique du Didactique (Chevallard, 1992, 1999). Nous avons élaboré une praxéologie de référence à partir d'une analyse des savoirs en jeu et de l'analyse épistémologique (chapitre 3). Cette dernière a mis en évidence des difficultés relatives aux concepts liés au métabolisme de la fermentation alcoolique. Nous avons pu ainsi, en nous appuyant sur des travaux sur la démarche expérimentale (Coquidé & al., 1999 ; Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Beaufiles & Larcher, 1999), catégoriser ces difficultés *a priori* : les concepts fondamentaux, les techniques de laboratoire, la démarche expérimentale.

Par ailleurs, nous avons relevé dans le chapitre 1, les difficultés rencontrées par les élèves alors qu'ils réalisent une activité de conception expérimentale incluant la conception de protocoles (Séré & Beney, 1997 ; Coquidé, 2000 ; Marzin & de Vries, 2011 ; Girault & d'Ham, 2014). Or il s'agit d'une activité inhérente à la démarche d'investigation qui est évaluée lors de l'évaluation des capacités expérimentales (ECE) du baccalauréat, qui est donc objectif d'apprentissage en classe de terminale scientifique de spécialité SVT. De nombreuses recherches ont aussi montré l'importance de son utilisation dans l'enseignement des sciences, car elle favorise notamment l'apprentissage des concepts (Arce & Bétancourt, 1997), des procédures (Séré, 2002) et des méthodes expérimentales (Etkina & al., 2010).

Afin d'aider les élèves dans cette activité à l'origine de difficultés, nous utilisons des supports d'étayage, portés par la plateforme informatique, LabBook (Girault & al., 2017). Cet EIAH structure des rapports expérimentaux et contient un logiciel « Copex », qui permet de pré structurer un protocole expérimental (cf chapitre 2).

1. Questions de recherche

Ainsi, à partir des résultats de la modélisation des connaissances et de l'analyse épistémologique des savoirs, l'objectif de nos recherches est de concevoir une situation qui puisse être implémentée dans la plateforme LabBook. En effet, il s'agit de proposer des supports d'étayage qui prennent en charge les difficultés des élèves tant sur la conception de protocole que sur les concepts liés à la fermentation alcoolique. Ceci nous amène à poser les questions de recherche suivantes :

- * Quelle(s) situation(s) peut-on proposer dans l'EIAH à partir de la modélisation praxéologique des connaissances en jeu ? Quels sont les étayages proposés ?

- * Quelles sont les contraintes que la situation et l'EIAH génèrent et comment les prendre en compte dans la modélisation de la situation ?
- * Est-ce que l'EIAH peut prendre en charge les difficultés identifiées *a priori* sur le métabolisme de la fermentation alcoolique ?
- * Est-ce que l'EIAH peut prendre en charge les difficultés identifiées *a priori* concernant la conception d'un protocole communicable ? Quels sont les étayages proposés ?

Dans ce chapitre, nous présenterons tout d'abord la conception d'une situation implémentable dans la plateforme à partir de la transposition de la modélisation praxéologique des connaissances en jeu, et de l'intégration des contraintes liées à l'utilisation de l'EIAH. Puis nous présenterons les différentes situations conçues et implémentées.

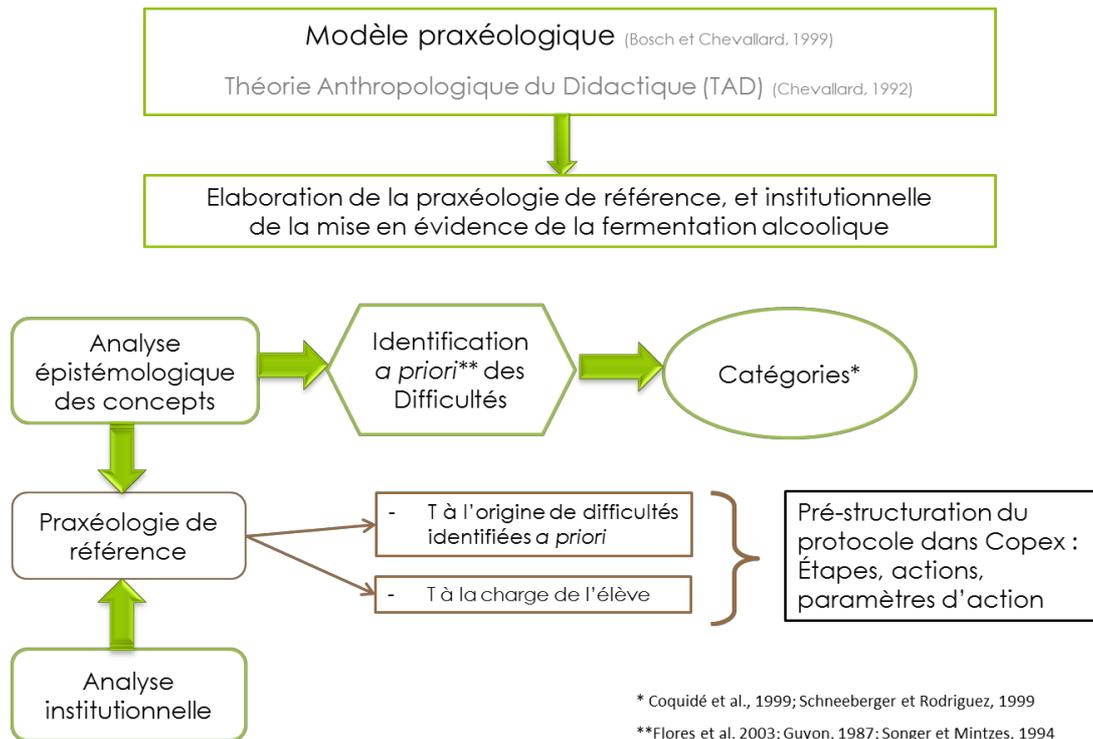
2. Méthodologie

La figure 24 ci-dessous, présente la méthodologie utilisée pour concevoir une situation de conception expérimentale sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique, qui se découpe en trois phases.

Pour construire la pré structuration du protocole, nous avons tout d'abord sélectionné dans la praxéologie de référence les tâches du protocole usuellement à la charge des élèves, c'est à dire celles qui sont enjeu d'apprentissage en classe de terminale scientifique de spécialité. Ces tâches ont été identifiées au préalable dans l'analyse institutionnelle. Nous les avons croisées avec celles qui peuvent être à l'origine de difficultés identifiées *a priori* (Coquidé & al., 1999 ; Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Songer & Mintzes, 1994 ; Flores & al., 2003 ; Astolfi & Peterfalvi, 1997 ; Séré, 1986), afin d'envisager des étayages en conséquence.

Nous avons également pris en compte, dans la sélection des tâches, les contraintes institutionnelles d'une classe de terminale S spécialité SVT au lycée dans laquelle nous allons réaliser notre expérimentation (matériels à disposition, évaluation du baccalauréat, organisation pédagogique de la classe).

Puis, nous avons transposé le résultat de la modélisation praxéologique, afin de concevoir une situation qui prenne également en compte les contraintes liées aux fonctionnalités de la plateforme LabBook, et son logiciel Copex (paragraphe 2.1).



T : type de tâche

Figure 24 : conception de la situation : sélection des types de tâches à l'origine de difficultés

2.1. Elaboration de la pré structuration du protocole

2.1.1 Transposition du modèle praxéologique

La figure 25 ci-dessous présente la transposition des éléments praxéologiques sélectionnés dans le logiciel de structuration de protocole Copex qui correspond au mode opératoire du labdoc¹⁰ « protocole» (chapitre 2 paragraphe 2.3).

Nous proposons d'illustrer ce modèle avec un type de tâche « **T : placer les microorganismes dans les conditions du milieu** » de la praxéologie de référence et qui est un des objectif d'apprentissage.

¹⁰ Objet construit par les élèves à l'aide d'un outil protocole, texte, dessin ou tableur dans LabBook

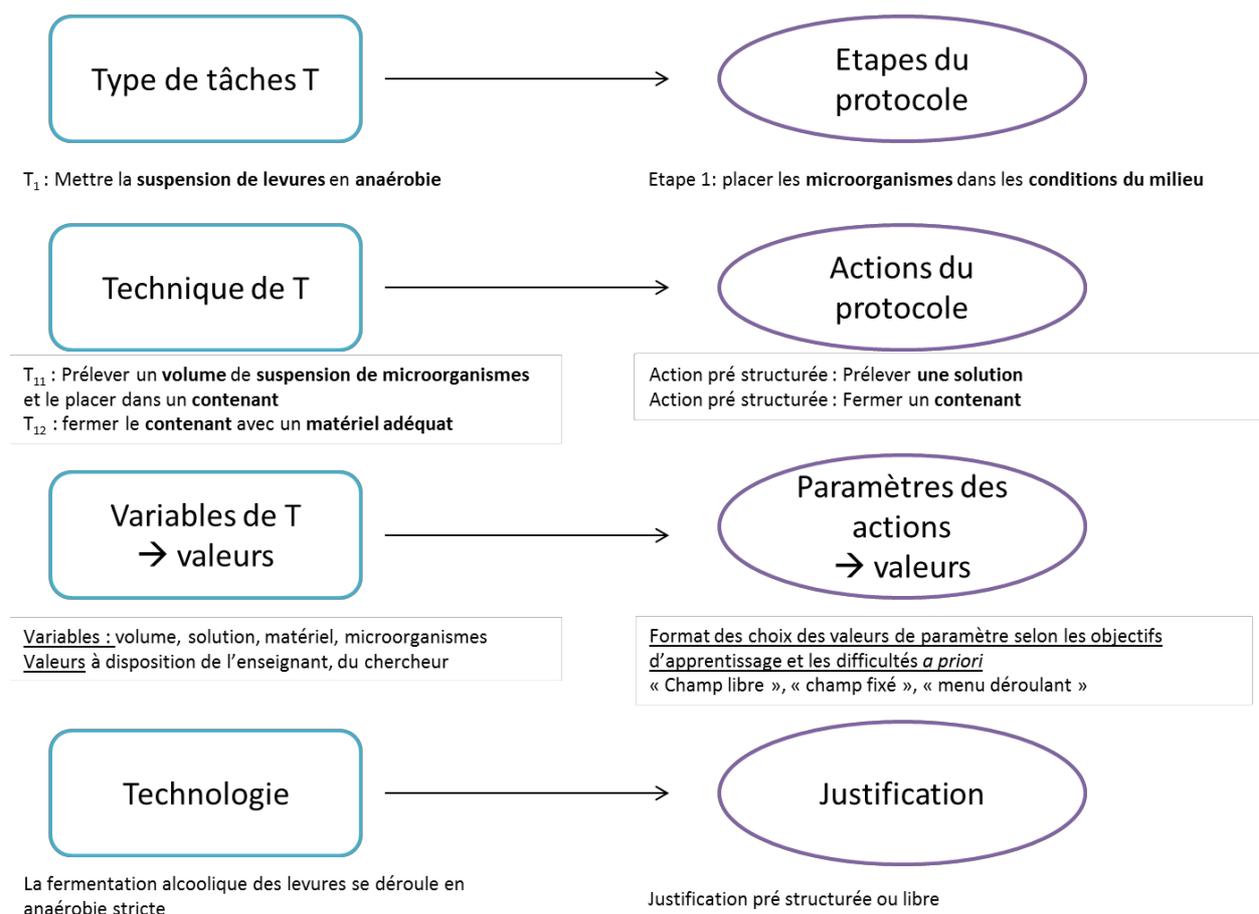


Figure 25 : transposition du modèle praxéologique dans le logiciel Copex de pré structuration de protocole

Les types de tâches sélectionnés dans la praxéologie de référence sont transposés en étapes du protocole.

La technique relative au type de tâche sélectionné est transposée sous la forme d'actions. Les variables de la tâche sont transposées en paramètres d'actions qui peuvent prendre différentes valeurs.

Ainsi, dans la situation proposée aux élèves, pour chaque étape imposée, nous avons défini des actions paramétrées qui, une fois sélectionnées, incitent les élèves à choisir des valeurs de paramètre (figure 26).

Figure 26 : action pré structurée, titre imposé et contenu structuré

Pour la formalisation des étapes et des actions pré structurées, nous avons adapté les intitulés des types de tâches ou tâches correspondants de la praxéologie de référence. En effet, les titres des actions doivent être suffisamment génériques pour être utilisés dans différentes étapes.

De plus, nous avons adapté le contenu de certaines actions afin de répondre à des contraintes institutionnelles liées à l'expérimentation en classe. Par exemple, nous avons fixé ou mis à disposition dans les menus déroulants, certaines valeurs de paramètres en lien avec le matériel disponible en classe, comme le contenant (tube à essai), ou le matériel pour prélever une solution.

Enfin, nous avons parfois fait le choix de regrouper deux tâches de la praxéologie de référence dans une même action, comme « prélever et verser une solution dans un contenant » pour donner plus de sens à l'action.

Les valeurs de paramètres peuvent être fixées ou laissées à la charge de l'élève. Les propositions de choix de valeurs de paramètres des actions, laissées à la charge des élèves, sous la forme de menus déroulants, ou de champs libres, se réfèrent à des difficultés *a priori*.

Nous proposons un autre niveau de pré-structuration qui permet de justifier les choix d'actions ou de valeurs de paramètres pour les actions qui le permettent. Pour élaborer ces justifications, nous nous sommes appuyés sur les technologies de la praxéologie de référence, et la/les catégorie(s) de difficultés que les actions mettent en jeu.

2.1.2 Implémentation dans le logiciel Copex

Nous avons indiqué dans le paragraphe précédent, que le choix des valeurs de paramètre laissé à la charge de l'élève peut prendre différentes formes. Ce sont des champs libres à compléter, ou bien des menus déroulants dans lesquels sont proposés plusieurs valeurs pour certains paramètres. Comme nous l'avons précisé dans la description des fonctionnalités du logiciel Copex dans le chapitre 2, les valeurs proposées dans les menus déroulants doivent provenir de la liste de matériel. Il a fallu prendre en compte cette contrainte dans l'élaboration de la structuration des actions. Ceci implique que les menus déroulants sont utilisés lorsque le choix des valeurs d'un paramètre se réfère à du matériel (par exemple, le choix d'une solution : glucose, eau de chaux, eau, suspension de levure). Alors que pour les autres types de valeurs (par exemple une quantité, un volume), nous utilisons des champs libres à compléter, sous forme de texte à trous.

De plus, dans les menus déroulants, nous avons créé un matériel « vide » qui correspond à la possibilité de « ne rien choisir ». Ce « blanc » est la valeur de paramètre par défaut dans le menu déroulant, ce qui permet de faire le choix de ne rien choisir.

Les choix des valeurs de paramètres mis à disposition dans les menus déroulants ont été élaborés en fonction des difficultés identifiées *a priori* dans la littérature, enrichis par des erreurs identifiées lors d'une pré expérimentation dans une classe de terminale scientifique de spécialité SVT en 2015.

Par exemple, pour choisir un dispositif expérimental qui permet de porter et maintenir une solution à température, nous avons proposé *a priori* certaines valeurs de paramètres (Bain marie, thermomètre) auxquelles, suite à cette pré expérimentation, nous ajoutons une troisième valeur « la bouilloire » qui a été utilisée par plusieurs groupes.

Un dernier niveau de pré structuration est modélisé au niveau des justifications de choix de valeurs de paramètres. Nous choisissons de les implémenter dans la partie commentaire de chacune des actions afin de les distinguer des actions du fait de leur fonction. En effet, les justifications ont été formalisées à partir des technologies de la praxéologie de référence. Elles se distinguent ainsi des actions à la fois par leur localisation dans l'action pré structurée, mais également par la couleur (bleue). Elles se présentent uniquement sous la forme de phrases, dont les termes à choisir par les utilisateurs, se trouvent entre parenthèses. Il n'est actuellement pas possible de pré structurer avec des champs vides ou des menus déroulant la partie commentaire de l'action.

2.1.3 Niveaux de pré structuration

Nous proposons ainsi plusieurs niveaux de pré structuration du protocole dans le logiciel Copex :

- ✓ la pré structuration des types de tâches sous la forme d'étapes
- ✓ la pré structuration de la technique des types de tâche sous la forme d'actions paramétrées
- ✓ la pré structuration des valeurs de variables sous la forme de valeurs de paramètres d'actions formalisées par un champ libre ou un menu déroulant
- ✓ la pré structuration des technologies sous la forme de justifications de choix de valeurs de paramètres

2.2. Consignes, documents ressources et autres fonctionnalités

Le fait d'avoir à décider de certaines valeurs de paramètres d'actions peut être à l'origine de difficultés pour les élèves. En effet, la mise en évidence de la fermentation alcoolique fait appel à des concepts nouveaux ou qui ne sont habituellement pas à la charge de l'élève, parce qu'ils ne sont pas dans les objectifs d'apprentissages en classe de terminale scientifique de spécialité SVT.

Ainsi nous proposons un étayage fixe pour apporter des informations par la mise à disposition pour les élèves, de documents ressources dans le service « ressources » de LabBook.

Nous avons élaboré ces documents à partir de l'analyse des programmes, des manuels et des attentes en terme d'évaluation institutionnelle (ECE) des années antérieures sur ce thème. Nous avons inséré dans ces documents certaines valeurs de paramètres d'action qui ne sont pas enjeux d'apprentissages comme par exemple la température de réalisation optimale de la fermentation alcoolique chez les levures.

Nous avons également utilisé le service « ressources et consigne » pour élaborer une consigne générale qui articule la démarche et qui explicite la formalisation attendue du protocole en étapes et en actions.

Enfin, nous avons fait le choix de ne pas laisser à la charge de l'élève, la « question de recherche ou objectif » présente dans la partie 1 du rapport expérimental car il ne s'agit pas de l'objet de notre étude et a déjà été testé dans la thèse de Saavedra (2015). A l'inverse, nous avons mis à sa charge la production « d'hypothèses » et le « principe de la manipulation ». Ces deux tâches sont habituellement à la charge de l'élève et attendues dans l'évaluation des compétences expérimentales au baccalauréat.

Enfin, nous avons décidé que les élèves n'auraient pas accès à la messagerie car nous n'avons pas de question de recherche portant sur la collaboration entre élèves, ou entre les élèves et l'enseignant.

3. Résultats

Nous proposons dans cette partie de développer les différents supports d'étayages mis en place pour aider les élèves dans la situation de conception expérimentale que nous proposons. Pour cela, nous commençons par présenter un premier niveau de pré structuration concernant le rapport expérimental dans LabBook. Puis, nous détaillons les pré structurations du protocole expérimental concernant le labdoc « protocole ». Enfin, nous présenterons les trois situations que nous avons élaborées et implémentées dans LabBook et que nous allons tester en classe.

3.1. Texte d'accueil

La plateforme informatique permet d'introduire des informations pour étayer l'activité sous la forme d'un texte d'accueil qui explicite la consigne générale. Il s'agit d'un type d'étayage que l'enseignant peut modifier selon ses objectifs et les attentes institutionnelles.

Afin d'introduire le sujet, nous proposons un texte d'accueil commun à tous les élèves. Il permet de situer la situation expérimentale de la fermentation alcoolique dans le thème des métabolismes cellulaires. Le métabolisme de la fermentation alcoolique est le troisième métabolisme étudié dans le thème. Il fait suite aux activités sur la photosynthèse et la respiration cellulaire.

*« La respiration n'est pas l'unique processus permettant aux cellules de produire de l'énergie à partir de molécules organique ; **la fermentation** est un processus qui permet notamment le développement d'organismes vivants en milieu anaérobie. On connaît des souches de levures capables de se développer en milieu anaérobie, elles sont utilisées dans*

l'industrie pour la fabrication du vin, de la bière ou encore de pâte levée (pain, brioche etc.).

On cherche à mettre en évidence le métabolisme fermentaire des levures. »

Ce texte d'accueil se trouve dans l'interface utilisateur (chapitre 2, paragraphe 2.1). Il permet de contextualiser la tâche à partir d'apports d'informations scientifiques expertes.

3.2. Documents ressources

De plus, pour aider les élèves dans cette tâche, nous proposons des documents ressources qui prennent en charge certains concepts à l'origine de difficultés (paragraphe 3.5.2) en apportant des informations scientifiques expertes. Nous proposons quatre documents ressources que nous présentons en annexe 3.

- Le document 1 présente quelques caractéristiques de la fermentation alcoolique (microorganismes impliqués, conditions du milieu requises).
- Le document 2 est un tableau qui présente les différents types de métabolisme cellulaire, les produits, les substrats, les microorganismes à l'origine de chaque type de métabolisme fermentaire.
- Le document 3 présente l'équation de réaction de la fermentation alcoolique.
- Le document 4 est un tableau qui présente une liste des principaux réactifs et notamment l'alcootest dont la réaction n'est pas connue des élèves.

Nous donnerons plus de détail dans le tableau 12 du paragraphe 3.5.2 sur les aides apportées par ces ressources dans le choix des valeurs des paramètres d'actions.

3.3. Pré structuration du rapport expérimental dans LabBook

Comme nous l'avons développé dans le chapitre 2, LabBook est une plateforme informatique qui permet de structurer l'ensemble du rapport expérimental proposé aux élèves. L'enseignant, ou le concepteur peut le pré structurer en mettant à la charge des élèves ou non certaines parties.

Nous présentons ci-dessous la pré structuration du rapport expérimental de notre situation.

La consigne générale qui explicite le type de tâche général et qui est donnée aux élèves dans le menu d'accueil et l'onglet consigne est la suivante :

« Proposer un protocole expérimental qui permette de vérifier que les levures sont capables de réaliser la fermentation alcoolique. Pour cela préciser l'ensemble des actions pour chacune des étapes proposées pour sa mise en œuvre.

Pour certaines actions, il vous sera demandé de les justifier en choisissant un des termes placés entre parenthèses dans la partie commentaire.

Pour les actions qui n'en comportent pas, vous êtes libres d'ajouter un commentaire si nécessaire. »

Cette consigne permet de structurer la tâche et d'expliquer la démarche et la procédure attendues.

L'entrée dans la mission donne accès au rapport expérimental suivant que nous avons structuré en quatre parties selon les attentes institutionnelles des ECE.

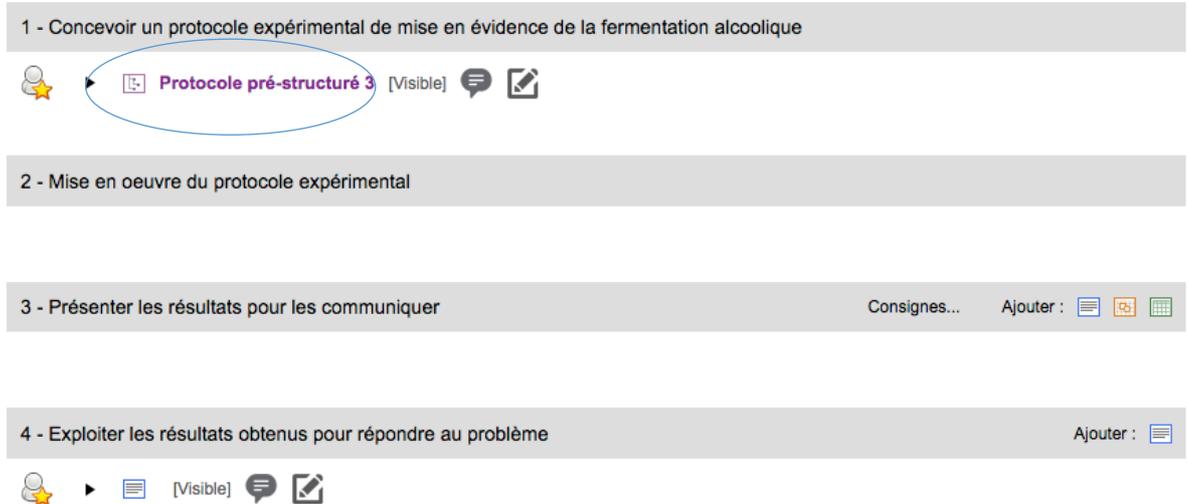


Figure 27 : pré structuration du rapport expérimental

Nous développons la partie 1 du rapport qui fait l'objet de notre étude : **Concevoir un protocole expérimental de mise en évidence de la fermentation alcoolique** dans laquelle nous avons imposé aux élèves un labdoc « protocole » de conception expérimentale.

3.4. Pré structuration du labdoc « protocole »

Ce labdoc comporte différentes sous parties qui peuvent être pré structurées par le concepteur. J'indiquerai pour chacune d'elles les choix effectués dans notre étude.

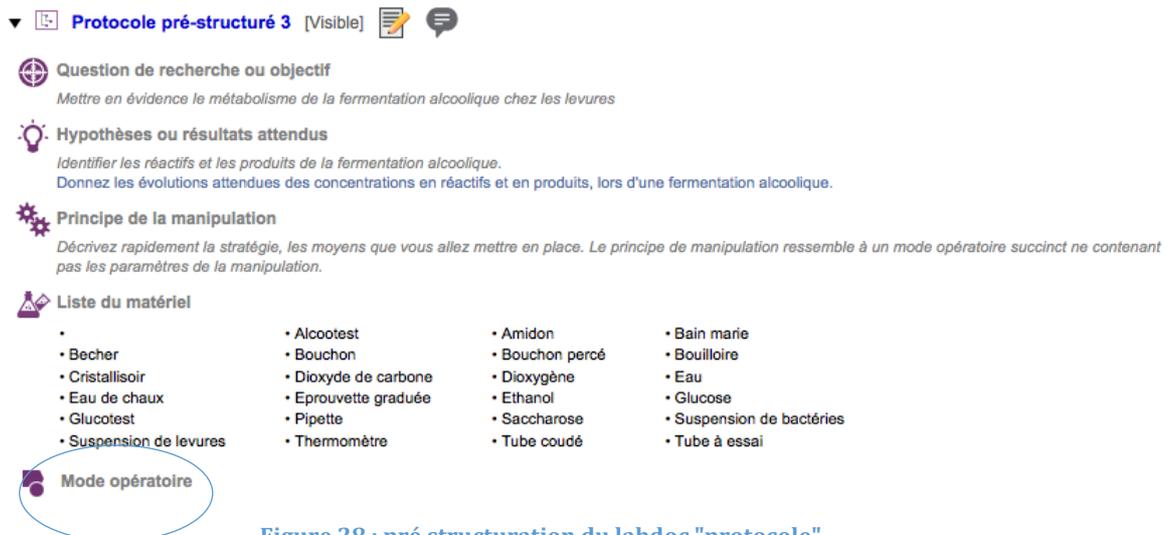


Figure 28 : pré structuration du labdoc "protocole"

- **la question de recherche ou objectif** : « *mettre en évidence le métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures* ». Ce volet est pré rempli par le concepteur.

- **les hypothèses ou résultats attendus** : une consigne est donnée « Identifier les réactifs et les produits de la fermentation alcoolique ». Elle a été formulée à partir d'un type de tâche de la praxéologie de référence (chapitre 6, paragraphe 4), à la charge de l'élève et qui fait partie des objectifs d'apprentissages de la séance « *T : Identifier les réactifs et les produits de la fermentation alcoolique* ». Il est également demandé de décrire les évolutions des concentrations en réactifs et en produits lors de la fermentation alcoolique. Cette consigne quant à elle a été élaborée en fonction de la technologie (à disposition des élèves de TS spé) de la praxéologie de référence relative au type de tâche précédent. « *θ : Les réactifs sont des espèces chimiques présentes dans le milieu réactionnel dont la concentration tend à diminuer au cours du temps : les réactifs sont consommés, leurs atomes se réarrangent pour former de nouvelles molécules, les produits de cette réaction.* »
- **le principe de la manipulation** : il est demandé aux élèves de décrire la stratégie mise en place, ce qui est explicitement demandé dans les ECE en SVT.
- **la liste de matériel** : elle peut être imposée ou libre. Dans notre étude elle est imposée afin de répondre aux contraintes de pré structuration que nous développerons par la suite, et aux contraintes de disponibilité de matériel lors de l'exécution du protocole.
- **le mode opératoire** : le mode opératoire consiste en l'élaboration du protocole expérimental en étapes et en actions. Nous présentons dans le paragraphe suivant, les types de pré structurations que nous proposons.

3.5. Pré structuration du protocole expérimental (mode opératoire)

3.5.1 Pré structuration des étapes et des actions

Conformément à la méthodologie, nous présentons dans le tableau 8 ci-dessous la correspondance entre les étapes **(B)** et actions **(D)** du protocole pré structuré avec les types de tâches **(A)** et tâches **(C)** sélectionnées de la praxéologie de référence.

La modélisation praxéologique des connaissances se transpose en étapes et en actions paramétrées du protocole. Le protocole comporte ainsi deux niveaux de pré structuration :

- ✓ **les « étapes »** : (colonne B du tableau) nous proposons cinq étapes du protocole structuré pour lesquelles nous avons défini des actions
- ✓ **les « actions »** : (colonne D) nous proposons 10 actions pré structurées.
- ✓ Pour chaque action, **des valeurs de paramètres** d'action sont à choisir (indiqués par des lettres) dans une liste de propositions (tableau 10).

Si on regarde l'ensemble des actions, certaines comme « prélever une solution » ou « fermer un contenant » sont décrites de façon suffisamment générique afin qu'elles puissent être utilisées dans d'autres étapes du protocole. Ceci conforte la transposition du modèle praxéologique réalisé au niveau des types de tâches et non des tâches pour lesquelles les valeurs de variables sont fixées par le chercheur ou l'enseignant.

L'élève choisit dans une liste d'actions génériques (figure 30) celle(s) qu'il souhaite faire apparaître dans son protocole et complète chaque action pré-structurée détaillée qui lui est donnée.

Par exemple l'élève qui souhaite utiliser l'action générique (2) « fermer un contenant » dans son protocole complètera l'action pré-structurée « Je place (a) sur le tube à essai de la (b) » en sélectionnant une proposition dans une liste de choix définis. Ceci est valable pour l'ensemble des actions proposées.

(A) Types de tâches	(B) Etapes	(C) Technique de T'	(D) Actions Les titres des actions sont numérotés de 1 à 10 et les paramètres d'actions à choisir sont représentés par une lettre
T' ₂₁ : Préparer les levures dans les conditions du milieu	Placer les microorganismes dans les conditions du milieu	T' ₂₁₁ : Prélever Xml de suspension de levure et la placer dans un contenant. T' ₂₁₂₃₃ : Placer un bouchon hermétique « percé » T' ₂₁₂₅ : Placer la suspension de levures à température optimale τ : utilisation d'un bain marie	(1) Prélever une solution : Je prélève (a) ml de (b) à l'aide d'une éprouvette graduée et je les place dans un tube à essai de 40ml : J'appelle ainsi cette solution: (c) (2) Fermer un contenant : Je place (a) sur le tube à essai de la (b) (3) Porter et maintenir une solution à température : Placer (a) à (b)°C. Pour cela j'utilise (c). Je vérifie la stabilité de la température avec (d)
T' ₂ : Préparer les dispositifs expérimentaux de mise en évidence de la fermentation alcoolique	Préparer les dispositifs expérimentaux de mesure	T' ₁ : identifier, à partir des informations données, les réactifs et les produits de la fermentation alcoolique T' ₂₂ : préparer le dispositif expérimental de mesure du réactif τ' : utilisation du glucotest T' ₂₃ : préparer le dispositif expérimental de mesure du réactif τ' : utilisation de l'eau de chaux τ' : utilisation de l'alcootest	(4) Molécule à mettre en évidence : (a) J'utilise comme dispositif expérimental : (b)
T' ₃ : mesurer la disparition des réactifs et l'apparition des produits de la fermentation alcoolique	Initier l'expérimentation	T ₃₁ : ajouter le réactif dans les deux solutions	(5) Ajouter une solution : A l'aide d'un/une (a), injecter (b) ml de (c) dans (d) (6) Définir la durée de l'expérimentation : J'indique la durée de l'expérimentation : (a) (b)
	Recueillir des données	T ₃₂ mesurer la quantité de réactif dans la solution T ₃₃ : observer l'apparition des produits dans la solution T ₂₂₂ : préparer un tableau de recueil de données	(7) Observer une réaction : Molécule concernée : (a). La réaction a lieu si (b) (8) Réaliser une mesure : Je réalise la mesure de/du (a) à t= (b) (9) Utiliser un tableau de données : Je note le/les résultats dans un tableau de données.
T' ₃₄ : laver le matériel	Laver le matériel		(10) Laver le matériel

Tableau 8 : correspondance des étapes et des actions proposées avec la modélisation praxéologique des connaissances

Ainsi les cinq étapes implémentées sont données dans l'ordre aux élèves et imposées afin de proposer une structuration minimale du protocole. Il s'agit là d'un premier niveau de pré structuration du protocole afin de guider les élèves dans une démarche de résolution en structurant la tâche. En effet, la formalisation d'un protocole en étapes et en actions est, en SVT, une activité nouvelle qui peut être à l'origine de difficultés identifiées notamment parce qu'habituellement on demande aux élèves de décrire une stratégie de résolution sans entrer dans la rédaction détaillée d'un protocole (ECE). La plupart des élèves n'ont jamais utilisé la plateforme LabBook.

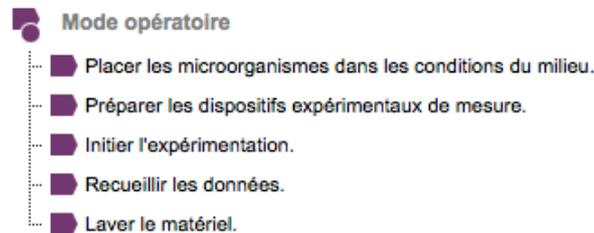


Figure 29 : liste des étapes pré structurées

Il revient aux élèves d'ajouter les actions qu'ils estiment nécessaires pour la réalisation de chacune des étapes. Ils disposent d'une liste de dix titres d'actions (figure 30). Néanmoins ils ont toujours la possibilité de créer une action « libre » qu'ils formalisent eux-mêmes.

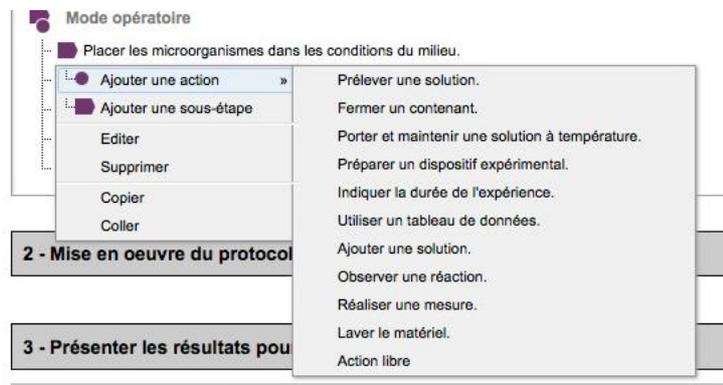


Figure 30 : liste des actions pré structurées proposées

3.5.2 Pré structuration des paramètres d'action

Dans la pré structuration des actions (tableau 8), nous avons, pour certaines d'entre elles, des paramètres dont les valeurs ont été fixées. Par exemple nous avons donné la valeur « éprouvette graduée » au paramètre « matériel pour prélever » de l'action 1 (prélever une solution).

Néanmoins, certaines valeurs de paramètres ont été laissées à la charge de l'élève, soit sous la forme d'un champ libre, soit sous la forme d'un menu déroulant du fait des contraintes de la plateforme précédemment citées.

Ainsi, les valeurs de paramètres qui correspondent à des « valeurs numériques » sont représentées sous la forme d'un champ libre. Le tableau ci-dessous regroupe les actions et paramètres concernés. Ces choix de valeurs de paramètres peuvent être à l'origine de difficultés identifiées (3^{ème} colonne du tableau).

Actions	Paramètres	Concepts à l'origine de difficultés
1a, 5b	Volume de la solution à prélever	Concepts de mathématiques : volume Concept de biologie : fermentation alcoolique et mise en anaérobie Concept de chimie : dissolution des gaz
3b	Température du milieu	Concept de biologie : vivant Concept de chimie : réaction chimique
6a	Durée de l'expérience	Concept de chimie : réaction chimique Méthode expérimentale (planification)
8b	Temps de mesure	Méthode expérimentale : contraintes temporelle et anticipation

Tableau 9 : valeurs de paramètres formalisées dans un champ « libre »

D'autres paramètres à la charge de l'élève sont formalisés sous la forme d'un menu déroulant. Nous les explicitons de la même manière dans le tableau 10 ci-dessous. Les valeurs mises à disposition dans ces menus déroulants ont été proposées à partir de l'analyse *a priori* des difficultés.

Actions	Paramètres	Valeurs proposées	Catégories de difficultés identifiées <i>a priori</i>
1b, 2b 3a, 5c 5d, 7a 8a	Solution à prélever	glucose, saccharose, amidon alcool, suspension de levures, suspension de bactéries, eau de chaux, eau	Concept de biologie : microorganismes, vivant Méthode expérimentale : contrainte biologique
4a	Molécule à tester	glucose, saccharose, amidon alcool, suspension de levures, suspension de bactéries, eau de chaux, eau, dioxygène, dioxyde de carbone	Concept de biologie : fermentation alcoolique (réactifs, et produits)
2a	Matériel pour fermer	Bouchon, bouchon percé, bécher, cristalliseur, éprouvette graduée, pipette, tube à essai, tube coudée	Connaissance du matériel de laboratoire Concept de chimie : gaz, dissolution
3d 3e	Matériel pour chauffer	Thermomètre, bouilloire, bain marie	Connaissance du matériel de laboratoire
4b	Matériel pour tester (réactifs)	Alcotest, eau de chaux, glucotest	Recherche d'une technique de laboratoire : réinvestissement (CO ₂ et Glucose) et technique proposée (éthanol)

Tableau 10 : valeurs de paramètres proposées dans des menus déroulants, à l'origine de difficultés identifiées

Les tableau 11 ci-dessous permet de montrer comment la pré-structuration au niveau des valeurs de paramètres d'actions proposées dans les menus déroulants, prend en charge des difficultés identifiées *a priori*. Par exemple, l'action « porter et maintenir une solution à température » contient un menu déroulant pour le choix de la solution. Les valeurs mises à disposition sont en lien avec des difficultés recensées dans la littérature.

Valeurs au choix	Catégorie de difficulté	Difficulté <i>a priori</i>
levures bactéries	Concept de biologie Méthode expérimentale (contrainte biologique)	Confusion entre les microorganismes (Schneeberger & Rodriguez, 1999)
Ethanol	Concept de biologie/chimie	Difficultés à identifier les molécules (Barlet & Plouin, 1994),
Glucose Amidon Saccharose	Concept de biologie/chimie	Difficultés à définir le concept de fermentation alcoolique (Songer & Mintzes, 1994 ; Flores et al., 2003) Difficultés à associer la levure au vivant (Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Songer & Mintzes, 1994)
Eau de chaux	Concept de chimie	

Tableau 11 : corrélation entre les valeurs de paramètres mises à disposition et les difficultés identifiées *a priori* (exemple du paramètre « solution »)

Ainsi, à chaque difficulté identifiée *a priori*, correspond une ou des actions pré-structurées, comprenant des choix de valeurs de paramètres proposées en conséquence. Ceci nous permettra par la suite, en fonction des différentes combinaisons choisies, de réaliser un diagnostic des erreurs sur les difficultés identifiées *a priori* (chapitre 11).

De plus, certains choix de valeurs de paramètres ne peuvent être à la charge de l'élève sans aide car il s'agit d'un concept nouveau ou habituellement étayé par l'enseignant. Ainsi, nous proposons un étayage à travers quatre documents ressource (annexe 3).

Nous présentons ci-dessous la mise en relation des choix de valeurs de paramètres avec les étayages proposés dans les documents ressources.

Paramètres d'actions	Extrait du / des documents ressource
1a volume	Document 1 : « il faut compter 1ml de glucides pour 10 ml de suspension de levures à 10g/l »
3b température	Document 1 : « .. température proche de 25°C. »
4a molécule à tester	Documents 2 et 3 réactifs et produits de la fermentation alcoolique
4b dispositif	Document 4
6a durée	Document 1 : « ainsi 30 minutes sont suffisantes pour la réalisation de la fermentation alcoolique »
7a molécule (réactif)	Document 4

Tableau 12 : étayages de certaines difficultés mis en place dans les documents ressource

Par exemple le paramètre « dispositif expérimental » de l'action (4) peut prendre trois valeurs possibles (CO₂, éthanol, et glucose) qui font référence au concept de réactifs et produits de la fermentation alcoolique. Cependant, le choix du dispositif expérimental peut être étayé (pour l'éthanol) ou non (pour le CO₂ et le glucose) si le fonctionnement et l'utilisation du dispositif est nouveau et objectif d'apprentissage.

3.5.3 Pré structuration des justifications de choix de paramètres

Nous retrouvons pour certaines actions, le niveau de pré structuration concernant la justification de certaines valeurs de paramètre choisie (colonne D du tableau 8). L'élève doit choisir une des propositions entre parenthèses qui ont été proposées afin de mettre en évidence certaines difficultés identifiées.

Paramètres d'actions	Justification proposée (les mots entre parenthèses sont à choisir par l'élève)	Technologie associée
2a 2b	Je réalise cette action afin de (limiter/augmenter) les apports en dioxygène : la suspension est en (aérobie/anaérobie)	La fermentation alcoolique est réalisée par des microorganismes tels que la levure en condition strictement anaérobie
3a 3b	J'ai choisi cette température car il s'agit de la température (létale/optimale)	La vitesse de réaction de la fermentation alcoolique des levures est dépendante de la température. Elle est optimale à 25°C
4b	Ce dispositif permet de mesurer (la présence/l'absence/l'évolution de la consommation/l'évolution de la disparition) de ce (réactif/produit)	Le gluco-test permet de mesurer la présence de glucose dans une solution (précis à 1%) L'éthylotest permet de mesurer la présence d'éthanol dans un milieu L'eau de chaux permet d'observer la présence de CO ₂ dans un milieu
5c 5d	Je réalise cette action car cela permet de (démarrer/stopper) la réaction de fermentation.	L'ajout de glucose permet de démarrer la réaction de fermentation alcoolique dans une suspension de levures affamées.
6a 6b	En effet la réaction de fermentation (est/n'est pas) instantanée	La fermentation alcoolique est une réaction qui n'est pas instantanée.

Tableau 13 : prise en charge des difficultés identifiées a priori par les paramètres d'actions et les justifications pré structurées

Nous proposons ainsi des justifications pré structurées pour les actions 2, 3, 4, 5, 6. Elles font appels à des technologies qui peuvent être à l'origine de difficulté.

Par exemple l'action (3) « Porter et maintenir une solution à température », propose un choix la température sous la forme d'un champ libre à compléter. Le choix de la température n'est pas à la charge de l'élève, il ne s'agit pas d'une connaissance requise. Ainsi nous mettons à disposition de l'élève le choix du paramètre dans les documents ressources (tableau 12). Et nous lui demandons de justifier l'importance du choix de la température avec la justification pré structurée « J'ai choisi cette température car il s'agit de la température (létale/optimale) ». Le choix de la température fait appel à des concepts de biologie et de chimie qui peuvent être à l'origine de difficultés chez les élèves (difficultés à associer la levure au vivant : Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Songer & Mintzes, 1994).

Ainsi, la pré structuration des justifications participerait elle aussi à aider les élèves à choisir des valeurs pertinentes de paramètres d'actions.

3.6. Trois types de pré structuration du protocole

Pour évaluer l'impact des pré structurations, nous proposons trois types de pré structuration du protocole qui peut se faire au niveau des étapes, des actions et des justifications. Nous les appelons respectivement, N1, N2, N3, et les décrivons dans les paragraphes suivants.

3.6.1 N1 : étapes imposées et actions libres

Le type de pré structuration du protocole « N1 » propose uniquement les cinq étapes imposées. Les actions quant à elles sont libres, c'est à dire qu'elles n'ont pas de titre imposé. Le champ doit être complété par l'élève, et il a la possibilité de rajouter un commentaire s'il l'estime nécessaire.

The screenshot shows a software interface for a protocol. On the left, under the heading 'Mode opératoire', there is a vertical list of three steps: 'Placer les microorganismes dans les conditions du milieu.', 'Préparer les dispositifs expérimentaux de mesure.', and 'Initier l'expérimentation.'. The third step is currently selected. To the right of this list is a large form area. At the top of this form is a text input field. Below it is a label 'Commentaire :'. Underneath the label is another text input field containing the text 'Justifiez ici, si nécessaire, cette action.'. At the bottom of the form are two buttons: 'Valider' and 'Annuler'.

Figure 31 : exemple d'action du protocole pré structuré N1

3.6.2 N2 : étapes imposées, actions pré structurées et justifications libres

Le type de pré structuration du protocole « N2 » propose les cinq étapes imposées, et la liste des 10 actions pré structurées. Les valeurs de paramètres sont à choisir ou à compléter par les étudiants. La justification des choix de paramètre est libre comme pour le niveau N1.

The screenshot shows a software interface for a protocol. On the left, under the heading 'Mode opératoire', there is a vertical list of three steps: 'Placer les microorganismes dans les conditions du milieu.', 'Préparer les dispositifs expérimentaux de mesure.', and 'Porter et maintenir une solution à température.'. The third step is currently selected. To the right of this list is a large form area. At the top of this form is the title of the selected action: 'Porter et maintenir une solution à température.'. Below the title is a text input field containing the text 'Je place [dropdown] à [input] °C.'. Below that is another text input field containing the text 'Pour cela, j'utilise [dropdown]. Je vérifie la stabilité de la température avec [dropdown].'. Below the text input fields is a label 'Commentaire :'. Underneath the label is a text input field containing the text 'Justifiez ici, si nécessaire, cette action.'. At the bottom of the form are two buttons: 'Valider' and 'Annuler'.

Figure 32 : exemple d'action du protocole pré structuré N2

3.6.3 N3 : étapes imposées, actions et justifications pré structurées

Le type de pré structuration du protocole « N3 » est identique au type N2 auquel on ajoute pour certaines actions, une justification des choix effectués dans la partie commentaire de l'action pré structurée.

Mode opératoire

- 1. Placer les microorganismes dans les conditions du milieu.
- 2. Préparer les dispositifs expérimentaux de mesure.

Porter et maintenir une solution à température.

Je place à °C.

Pour cela, j'utilise . Je vérifie la stabilité de la température avec .

Commentaire :

Figure 33 : exemple d'action du protocole pré structuré N3

3.6.4 Trois situations proposées aux élèves

Ainsi, N1, N2 et N3 correspondent à trois situations de mise en évidence de la fermentation alcoolique pour lesquelles les élèves disposent de supports d'étayages :

- **communs** : en ce qui concerne le texte d'accueil, la consigne, les documents ressources, la pré structuration du rapport expérimental, la pré structuration de l'objectif, des hypothèses, du principe de manipulation, du matériel et des étapes dans le mode opératoire du labdoc « protocole », des actions libres, des justifications libres.
- **différents en ce qui concerne la pré structuration des actions** : les protocoles du type N2 et N3 disposent d'un support d'étayage supplémentaire avec une liste de 10 actions pré structurées. Le protocole du type N3 dispose d'un support d'étayage supplémentaire avec la pré structuration de certaines justifications d'actions.

4. Conclusions et discussion

Dans cette partie nous avons présenté les résultats de la transposition de la modélisation praxéologique des connaissances en jeu pour concevoir une situation implémentée dans LabBook. L'utilisation de l'EIAH permet de proposer des supports d'étayage qui prennent en charge les difficultés des élèves tant au niveau de la conception de protocole que des concepts liés à la fermentation alcoolique.

Nous avons proposé différents supports d'étayage par l'intermédiaire notamment, de différents types de pré structuration du protocole qui peut se faire au niveau des étapes, des actions, et des justifications. Nous avons ainsi conçu trois situations N1, N2, N3.

La situation proposée et plus particulièrement la pré structuration du protocole a été réalisée en prenant en compte les contraintes fonctionnelles de la plateforme informatique. C'est le cas par exemple, pour les choix de valeurs de paramètres mis à disposition des élèves dans les menus déroulants (pour les protocoles du type N2 et N3) ou bien la place des justifications pré structurées proposées dans N3. Selon la nature du paramètre d'action à compléter par l'élève, nous avons utilisé des fonctions différentes qui pouvaient répondre à nos attentes (menu déroulant, champ libre, texte modifiable). Nous avons ainsi dû adapter les actions et paramètres d'action initialement proposés afin de répondre aux contraintes d'implémentation dans le logiciel.

La pré-structuration permet également de prendre en compte des difficultés identifiées *a priori* par le choix des actions pré structurées, des valeurs de paramètres des actions, et des justifications mis à disposition des élèves. La liste d'action proposée a été réalisée à partir de la praxéologie de référence, dont certains éléments croisés avec l'analyse épistémologique, peuvent être à l'origine de difficultés chez les élèves. Les choix de certaines valeurs de paramètres d'actions proposés reposent aussi sur des difficultés identifiées *a priori*. Enfin, la pré structuration des justifications est un étayage qui permettra d'aider les élèves à choisir des valeurs de paramètres pertinentes.

La situation ainsi proposée présente différentes aides pour les élèves. Nous avons dans le chapitre 2, utilisé la classification des étayages proposée par Saavedra afin d'identifier les modes et fonctions des possibles étayages de la plateforme labBook et de son logiciel Copex. Nous proposons dans le tableau 14 ci-dessous de caractériser les supports d'étayages mis en place selon les trois situations que nous avons développées dans ce chapitre, et que nous allons tester dans des classes.

Supports d'étayage proposés	Types de protocoles concernés	Fonctions	Modes
Consigne (Pour cela préciser l'ensemble des actions pour chacune des étapes proposées pour sa mise en œuvre.)	N1, N2, N3	- Articuler la démarche - Structurer la tâche	- Guidage pour la planification - Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier
Document ressource n°1 (la fabrication de la bière conditions de réalisation de la fermentation alcoolique)		- Intégrer un guidage expert concernant les pratiques scientifiques	- Apport d'informations scientifiques expertes
Document ressource n°2 (Présentation des métabolismes fermentaires)			
Document ressource n°3 (Equation de réaction de la fermentation alcoolique)			
Document ressource n°4 (présentation de quelques réactifs)			
Rapport pré-structuré en différentes parties 4 parties		- Structurer la tâche	- Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier - Décomposition de la tâche en ses constituants
« Labdoc protocole » pré rempli et modifiable par l'élève - 5 étapes du protocole pré remplies		- Articuler la démarche - Structurer la tâche	- Guidage pour la planification - Décomposition de la tâche en ses constituants - Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier
« Labdoc protocole » Items non modifiables par l'élève - Objectifs pré rempli - Hypothèses : consigne précisée - Principe de la manipulation : consigne précisée, explicitation - Liste de matériel finie	N1, N2, N3	- Intégrer un guidage expert concernant les pratiques scientifiques - Structurer la tâche	- Apport d'informations scientifiques expertes - Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier - Restriction des options disponibles pour l'élève : réduction de la complexité de la tâche
- Liste de 10 actions pré structurées - Liste à choix de certaines valeurs de paramètres d'actions	N2, N3	- Structurer la tâche	- Restriction des options disponibles pour l'élève - Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier
- Justifications pré structurées de certaines actions modifiables	N3	- Articuler la démarche	- Guidage pour contrôler le travail en cours

Tableau 14 : supports d'étayages mis en place dans les trois situations (N1, N2, N3)

Selon les travaux de Quintana & al. (2004), nous proposons principalement un étayage du type « process management » qui consiste à structurer des tâches complexes, ce qui est également repris dans les travaux de Reiser (2004). Une des stratégies d'étayage est la décomposition de la tâche complexe en tâches simples avec néanmoins une structure de résolution. En effet, les différentes situations proposent toutes un rapport expérimental qui aide à la réalisation de la démarche expérimentale en structurant la tâche.

Nous le proposons également à travers la pré structuration du protocole en étapes et en actions dans les pré structurations du type N2 et N3. Ce type d'étayage n'est que partiellement proposé (étapes uniquement) dans les protocoles du type N1. Les types de tâches sélectionnés et transposés en étapes et actions dans le protocole recentrent l'activité de l'élève vers l'objectif d'apprentissage. Cette fonction d'étayage est également reprise dans la structuration du protocole en étapes (pour les trois types de protocoles) et en actions pré structurées (pour N2 et N3).

Néanmoins les trois situations proposent une même consigne générale qui définit la marche à suivre et permet d'articuler la démarche.

Les quatre documents ressources apportent des informations scientifiques dites « expertes » sur les concepts liés aux métabolismes fermentaires et à la mise en évidence des différentes molécules impliquées. Selon les travaux de Quintana & al. (2004), il s'agit d'un étayage du type « sense making » qui consiste, selon les auteurs, à proposer des étayages en fonction des obstacles identifiés *a priori* que les élèves pourraient rencontrer sur des concepts. Nous avons effectivement proposé dans les documents ressources des apports de connaissances concernant des concepts en jeu à l'origine de difficultés. De même, la liste des valeurs de paramètres d'actions (dans les actions pré structurées) mis à sa disposition a été élaborée à partir d'une analyse des conceptions et obstacles.

Enfin, nous utilisons un étayage du type « articulation and reflexion », à travers les justifications demandées des choix d'actions ou de valeurs de paramètres, dans les protocoles du type N3.

L'étape suivante du travail consiste à tester, dans des classes de terminales scientifiques de spécialité SVT, les différentes situations proposées ainsi que l'efficacité des étayages mis en place dans les trois types de protocoles (N1, N2, N3). Nous allons ainsi développer dans le chapitre suivant la méthodologie utilisée.

Chapitre 8 : Plan expérimental de la première expérimentation : mise à l'épreuve des trois types de pré structuration

Nous avons proposé dans le chapitre précédent trois situations de conception expérimentale incluant des étayages fixes afin d'aider les élèves à concevoir un protocole expérimental sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique.

Nous avons pour cela, élaboré et implémenté des pré structuration de protocole dans Copex qui prennent en charge des difficultés identifiées *a priori*. Ce travail a permis d'identifier différents types de pré structuration : des étapes uniquement (protocole de type N1), des étapes et des actions (protocole de type N2), auxquelles s'ajoutent des justifications pré structurées (protocole de type N3). Les pré structurations prennent en compte des difficultés identifiées *a priori* pour le choix des actions, le choix de valeurs de paramètres des actions, et la formulation de justifications laissées à la charge des élèves.

Nous souhaitons à présent tester l'impact des étayages proposés à la fois sur les apprentissages mais aussi sur les protocoles produits par les élèves. Ainsi, nous mettons à l'épreuve les différentes situations dans des classes de terminale scientifique de spécialité SVT, selon un plan expérimental que nous développons dans ce chapitre.

1. Questions de recherche

Nous avons élaboré le plan expérimental en fonction des questions de recherche et des contraintes institutionnelles relatives à une expérimentation en classe que nous présentons ci-dessous :

- * Quelles sont les représentations des élèves sur la fermentation alcoolique avant et après la mise en situation ?

Nous faisons l'hypothèse que nous allons retrouver des erreurs relatives aux conceptions et difficultés identifiées dans la littérature (chapitre 3). Nous pensons également que les situations font évoluer les représentations des élèves sur le concept de fermentation alcoolique. Nous utilisons pour cela des tests d'apprentissage (pré test et post tests).

- * Est-ce que les situations proposées permettent de mettre en évidence certaines difficultés identifiées *a priori* ?

Nous faisons l'hypothèse que nous allons identifier dans les tests et dans les protocoles des élèves (particulièrement dans les choix de valeurs de paramètres à la charge de l'élève) des erreurs en lien avec certaines difficultés identifiées *a priori*. Nous pensons retrouver moins d'erreurs concernant les choix pour lesquelles nous proposons des étayages fixes (documents ressources).

- * Est-ce que les situations proposées incluant différentes propositions d'étayage favorisent les apprentissages ?

Nous faisons l'hypothèse que les situations proposées favorisent les apprentissages, notamment celles qui proposent des pré structurations (N2 et N3) car elles incitent les élèves à paramétrer des actions et donc à mobiliser ou chercher des connaissances.

- * Est-ce que les situations proposées incluant différentes propositions d'étayage favorisent la production par les élèves d'un protocole communicable et pertinent ?

Nous faisons l'hypothèse que la pré structuration du protocole en étapes et en actions (protocoles de types N2 et N3) favorise la rédaction d'un protocole en étapes et actions paramétrées, et que la pré structuration des actions sous la forme d'une liste guide les élèves vers une résolution de problème pertinente. De plus, nous faisons également l'hypothèse que la pré structuration des justifications favorise le choix d'une valeur de paramètre pertinente.

2. Méthodologie

Dans cette partie nous présentons tout d'abord le plan expérimental de cette première expérimentation. Puis, nous expliquons l'élaboration du test utilisé pour évaluer les apprentissages. Nous identifions ainsi les différentes données recueillies lors de cette expérimentation, pour lesquelles nous proposons un traitement au regard des différentes questions de recherches développées précédemment.

2.1. Plan expérimental

L'expérimentation a été menée dans cinq classes (ou groupe classe¹¹) sur deux lycées différents. Deux des cinq groupes ont le même enseignant.

L'expérimentation proposée afin de tester l'efficacité de la plateforme informatique comprend trois temps (figure 34) :

Temps 1 :

- ✓ Un pré test individuel de 15 minutes, composé de 12 questions élaborées en lien avec les difficultés identifiées *a priori* et prises en charge par la plateforme informatique.
- ✓ La conception individuelle du protocole expérimental avec la plateforme LabBook. Un des types de protocole pré structuré (N1, N2 ou N3) est donné aléatoirement à chaque élève qui dispose en moyenne de 40 minutes pour le réaliser.
- ✓ Un premier post test individuel, identique au pré test, est donné immédiatement après la conception individuelle du protocole.

Temps 2 :

- ✓ Exécution du protocole en salle de travaux pratiques.

¹¹ Le groupe classe est un regroupement d'élèves pouvant provenir de classes différentes et qui ont choisi l'enseignement de spécialité en SVT

Temps 3 :

- ✓ Un second post test, également identique au pré test, est réalisé 2 à 3 semaines après le temps 2, selon les contraintes d'emploi du temps des différentes classes.

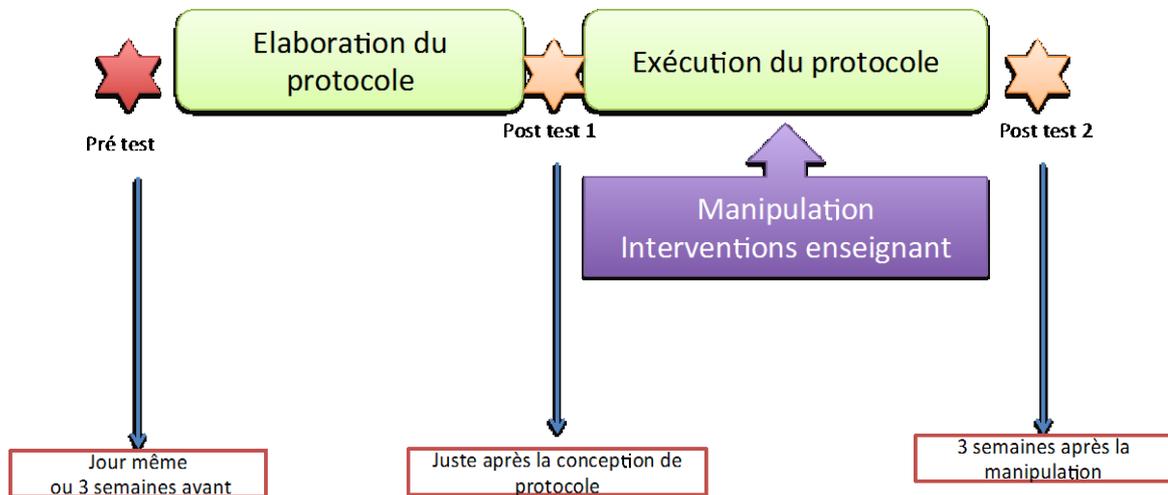


Figure 34 : plan expérimental

L'enseignant de chaque groupe n'intervient pas pendant le temps 1 sauf pour faire respecter le temps au cours de la séance.

Pendant le temps 2, l'enseignant peut intervenir lors de la manipulation sur des aspects techniques ou matériels informatiques qui ne sont pas en lien avec la conception du protocole.

Pour l'élaboration et la réalisation du plan expérimental, nous avons pris en compte les contraintes liées à l'expérimentation « en classe » et plus particulièrement en classe de terminale scientifique au troisième trimestre.

En effet, il s'agit d'une classe à examen, dont l'évaluation des compétences expérimentales se déroule fin mai. Les effectifs de classe, qui varient d'une séance à l'autre, et les outils informatiques à disposition nécessitent un aménagement particulier de l'organisation de l'expérimentation. En effet, en TS spé SVT les séances durent 1h50, entrecoupées parfois d'une pause de 15 minutes, et le nombre de postes informatiques dans une salle de TP est insuffisant par rapport au nombre total d'élèves. Il faudra donc adapter les séances en fonction des moyens disponibles (paragraphe 2.3).

De plus, il est important de rappeler que nous avons attribué aléatoirement les types de protocole N1, N2, et N3, répartis de façon homogène dans chaque classe. Les enseignants n'interviennent pas dans cette répartition de protocole.

2.2. Elaboration du test

L'élaboration du test s'est faite en plusieurs étapes. Nous présentons tout d'abord la méthodologie utilisée pour son élaboration puis le résultat.

2.2.1 Méthodologie

Etape 1 :

Nous avons sélectionné des concepts en jeu dans la situation, à l'origine de difficultés, pour lesquels nous avons proposé des étayages dans les situations (chapitre 7). Nous les présentons dans le tableau ci-dessous qui met en lien les concepts en jeu, les difficultés relatives identifiées *a priori*, et leur catégorisation (chapitre 3).

Concepts en jeu	Difficultés identifiées et catégorisation
Fermentation alcoolique (mise en anaérobie)	Concept de biologie Confusion respiration/fermentation (Songer et Mintzes, 1994 ; Flores & al., 2003)
Caractéristiques du vivant (microorganisme, fermentation alcoolique)	Concept de biologie Difficulté à associer levure/vivant (Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Songer & Mintzes, 1994) Difficulté à différencier les microorganismes (Schneeberger & Rodriguez, 1999)
Réaction chimique (vitesse, température, réaction dynamique)	Concept de chimie Difficultés liées à l'intégration de la dynamique d'une réaction chimique qui commence par l'initiation de la réaction. (Carretto & Viovy, 1994)
Equation de réaction (réactifs, produits de la fermentation alcoolique)	Concept de chimie Difficultés à donner du sens au concept de réaction chimique dynamique qui se traduit par une équation de réaction statique (Barlet & Plouin, 1994)
Mise en évidence du CO ₂ Mise en évidence de l'éthanol	Technique de laboratoire Recherche d'une technique (réinvestissement d'une technique ou technique nouvelle) Mobilisation de la matrice cognitive (Coquidé & al., 2009)
Anticipation et planification des mesures	Méthode expérimentale Contraintes biologique, temporelle, liée à l'utilisation du vivant (Schneeberger & Rodriguez, 1999)

Tableau 15 : concepts en jeu et difficultés relatives identifiées *a priori*

Etape 2 :

Nous avons élaboré les questions du test à partir des types des tâches de la praxéologie de référence. A partir des concepts en jeu à l'origine de difficultés sélectionnées, nous avons extrait les types de tâches ou tâches correspondantes.

Etape 3 :

Nous avons choisi de proposer plusieurs questions pour un même concept, lorsqu'il est objectif d'apprentissage afin d'élaborer par la suite un diagnostic des erreurs le plus fin possible. Pour cela, nous avons défini les questions selon les

trois catégories de difficultés identifiées *a priori* (chapitre 3), puis nous avons regroupé les questions en fonction.

Nous avons proposé cette méthodologie axée sur la sélection de types de tâches ou tâches à l'origine de difficultés en utilisant la praxéologie de référence. Ceci nous permet de suivre l'évolution des erreurs des élèves pour un même type de tâches entre le pré test, le protocole produit et le post test, et d'identifier une possible technologie erronée.

2.2.2 Résultat

Le test (annexe 4) regroupe douze questions de nature différente.

- **trois questions ouvertes** (Q1, Q2, Q3). Les questions 1 et 2, de nature ouverte, ont été posées afin d'établir un état des lieux des connaissances des élèves sur le métabolisme en général (question 1) et plus précisément sur celui de la fermentation alcoolique (question 2). Il s'agit ainsi d'un recueil de conceptions qui sera analysé en tant que tel. La question 3, également de nature ouverte, fait appel à des techniques de laboratoire connues que les élèves doivent mobiliser. En effet, la mise en évidence du CO₂ dans une solution fait intervenir différentes techniques connues qui ne sont pas des objectifs d'apprentissage. Le choix des techniques proposées par les élèves dans cette question peut être sous influence du matériel précédemment utilisé en classe ou bien sous l'influence du matériel disponible.
- **neuf questions à choix multiples** (Q4 à Q12) pour lesquelles une ou plusieurs réponses sont possibles.

Le tableau 16 permet de catégoriser les questions par concept à l'origine de difficultés. Les réponses attendues des questions à choix multiples sont en italique.

Questions	Catégories de difficultés
Q1 : A partir de tes connaissances, donne une définition et un exemple de métabolisme cellulaire.	Concept de biologie : métabolismes
Q2 : Donne les 4 mots ou groupes de mots, qui définissent selon toi la fermentation alcoolique.	Concept de biologie : fermentation alcoolique, microorganismes Concepts de chimie : réaction chimique
Q3 : A ton avis, comment peut-on mettre en évidence expérimentalement la présence de CO₂ dans une solution ?	Technique de laboratoire : recherche d'une technique (réinvestissement) Adéquation de la technique avec le paramètre à mesurer.
Q4 : Selon toi, la fermentation alcoolique c'est : Un métabolisme réalisé par un microorganisme mort. <i>Un métabolisme réalisé par un microorganisme vivant.</i> Un métabolisme réalisé en l'absence de microorganismes. Je ne sais pas.	Concept de biologie : microorganismes, vivant
Q5 : Selon toi, la fermentation alcoolique c'est : <i>Un métabolisme réalisé dans un milieu sans oxygène.</i> Un métabolisme réalisé dans un milieu avec oxygène. <i>Un métabolisme qui produit du dioxyde de carbone.</i> <i>Un métabolisme qui produit de l'éthanol.</i> Je ne sais pas.	Concept de biologie : fermentation alcoolique (anaérobie, produits)
Q6 : Selon toi, la température optimale d'une réaction c'est : <i>La température pour laquelle la vitesse de réaction est maximale.</i> La température pour laquelle la vitesse de réaction est ralentie. La température pour laquelle la vitesse de réaction s'arrête. Je ne sais pas.	Concept de chimie : réaction chimique
Q7 : Selon toi, dans une suspension de levures affamées (en absence de glucides) réalisant la fermentation alcoolique, l'ajout d'un glucide (réactif) permet : De stopper la réaction. <i>De démarrer la réaction.</i> De ralentir la réaction. Je ne sais pas	Concept de chimie : réaction chimique Concept de biologie : le vivant
Q8 : Choisis, parmi les schémas ci-dessous le dispositif expérimental qui permet à des microorganismes de réaliser le métabolisme de la fermentation alcoolique dans les conditions optimales. <i>Réponse b</i>	Concept de biologie : fermentation alcoolique (anaérobie) Concept de chimie : gaz, dissolution
Q9 : Choisis, parmi le/les dispositifs suivants, celui/ceux qui permet(tent) de mettre en évidence la présence d'éthanol dans une solution : <i>L'alcootest.</i> <i>La sonde à éthanol.</i> La liqueur de Fehling. L'eau de chaux. Je ne sais pas.	Technique de laboratoire : recherche d'une technique de labo. Adéquation de la technique avec le paramètre à mesurer.
Q10 : Choisis, parmi les affirmations suivantes, celle(s) qui selon toi, décrit(-vent) l'équation de réaction suivante : C₆H₁₂O₆ → 2 CO₂ + 2 C₂H₅OH (éthanol)	Concept de chimie : équation de réaction

<p><i>Le réactif, ici le glucose, va être consommé, ce qui va conduire à la formation de deux produits, le dioxyde de carbone et l'éthanol.</i> <i>Les réactifs, ici le dioxyde de carbone et l'éthanol, vont être consommés, ce qui va conduire à la formation d'un produit, le glucose.</i> <i>Le réactif, ici le glucose, va être consommé, ce qui va conduire à la formation de deux produits, le dioxygène et l'éthanol.</i> <i>Les réactifs, ici le dioxygène et l'éthanol, vont être consommés, ce qui va conduire à la formation d'un produit, le glucose.</i> <i>Je ne sais pas.</i></p>	
<p>Q11 : Tu disposes de 60 ml de suspension de levures dans un contenant de 100 ml. Tu souhaites placer les levures dans les conditions optimales pour qu'elles réalisent la fermentation alcoolique. Que fais-tu ? <i>Je place un bouchon hermétique.</i> <i>Je place un bulleur (pour oxygéner la suspension).</i> <i>Je rajoute une certaine quantité de suspension de levures dans le contenant.</i> <i>J'enlève une certaine quantité de suspension de levures du contenant.</i> <i>Je ne sais pas.</i></p>	<p>Concept de biologie : fermentation alcoolique (anaérobie) Concept de chimie : gaz, dissolution Concept de Mathématiques : volumes</p>
<p>Q12 : Combien de mesures, au minimum, sont nécessaires, pour mettre en évidence la consommation d'un réactif ? <i>Aucune mesure.</i> <i>1 mesure.</i> <i>2 mesures.</i> <i>Plus de 2 mesures.</i> <i>Je ne sais pas.</i></p>	<p>Technique de laboratoire : connaissance du matériel Démarche expérimentale : anticipation Concept de chimie : réaction chimique</p>

Tableau 16 : catégorisation des questions du test

Les questions reprennent l'ensemble des trois catégories de difficultés identifiées *a priori* : les concepts fondamentaux, les techniques de laboratoires et la méthode expérimentale.

Le concept de mise en anaérobie qui est un objectif d'apprentissage et à l'origine de difficultés est repris par trois questions. En effet, dans la question 5 il s'agit d'une condition de la fermentation alcoolique proposée dans un des choix. Dans la question 8, ce concept est présenté sous la forme d'un schéma qui utilise de la verrerie connue des élèves qui pourrait selon des études précédemment menées les influencer. Il y a à la fois la nécessité de mettre un bouchon mais également de choisir un volume adéquat pour une mise en anaérobie stricte. La question 11 reprend ces deux nécessités mais sous la forme d'un texte et de propositions à choisir. La notion de volume est abordée du côté des mathématiques, mais fait également référence à un concept de chimie sur la matérialité et la dissolution des gaz, ce qui peut être également à l'origine de difficultés. Le recoupement des réponses des élèves dans le test et le protocole permettra d'affiner le diagnostic des erreurs des élèves sur ces concepts.

2.3. Recueil de données

2.3.1 Corpus de données

Les données recueillies selon le plan expérimental (figure 34) pour chaque expérimentation, sont les suivantes :

- ✓ les protocoles individuels des élèves
- ✓ les pré test et post test 1 et 2 individuels

2.3.2 Données prévisionnelles

Nous présentons dans les tableaux suivants, les variables des cinq classes, et l'organisation pédagogique prévue pour les temps 1, 2 et 3 pour chacune des classes testées.

	Echirolles classe 1 Enseignantes a et b	Echirolles classe 2 Enseignante b	Chambéry classe 3 Enseignante c	Chambéry Classe 4 Enseignante c	Chambéry Classe 5 Enseignante d
Nombre d'élèves	16	17	19	21	23
Prise en main de labBook	Elèves novices	2 ^{ème} prise en mains	Elèves novices	Elèves novices	Elèves novices

Tableau 17 : variables de classes

Les 96 élèves sont répartis en cinq groupes (classe) de 16 à 23 élèves. Chaque enseignante encadre un groupe sauf l'enseignante c qui a deux groupes. Il y a deux groupes dans un lycée général à Echirolles et trois groupes dans un lycée général à Chambéry. Les élèves des enseignantes a, c, et d n'ont jamais utilisé la plateforme informatique LabBook. Cependant, les élèves de l'enseignante b l'ont déjà utilisé dans une autre situation d'apprentissage (réaction enzyme-substrat) dans laquelle la conception de protocole n'était pas pré structurée.

Notons que la classe 1 avait l'enseignante b pour la phase de pré test et de conception individuelle de protocole et l'enseignante a (l'enseignante responsable de la classe en SVT) pour le temps 2.

Voyons à présent l'organisation pédagogique prévue dans chaque classe pour chacune des phases du plan expérimental.

Le pré test pour les classes 3, 4 et 5, s'est déroulé plusieurs semaines en amont de la conception individuelle du protocole. Ceci est dû à la période de vacances scolaires qui s'est intercalée entre les deux séances, et l'ajout de l'examen blanc des ECE. Contrairement aux classes 1 et 2, le temps 1 et 2 (conception et exécution du protocole) se déroulent le même jour pendant la même séance pour les classes 4, 5 et 6. (tableau 18).

Conception individuel du protocole	28/04/16	03/05/16	13/05/16	13/05/16	13/05/16
	Séance 50 min d'AP Avec l'enseignante b	Séance 50 min d'AP	40 minutes en séance de TP d'1h50	40 minutes en séance de TP d'1h50	40 minutes en séance de TP d'1h50
Organisation du groupe classe	entière	entière	½ groupe en alternance	½ groupe en alternance	½ groupe en alternance
Salle à disposition (nombre d'ordinateur)	Salle informatique 16 postes	Salle informatique 16 postes	Salle de TP 12 postes	Salle de TP 12 postes	Salle de TP 12 postes

Post test 1	03/05/16	03/05/16	13/05/16	13/05/16	13/05/16
	Séance d'1h50	Séance d'1h50	30 minutes	30 minutes	30 minutes
Organisation du groupe classe	entière	entière	entière	entière	entière
Salle à disposition (Nombre d'ordinateur)	Salle de TP 12 postes				

Post test 2	Deux à trois semaines après le post test 1
--------------------	--

Tableau 18 : organisation prévisionnelle du plan expérimental

L'expérimentation dans les classes 1 et 2 s'est déroulée selon l'organisation suivante :

- 1h d'accompagnement personnalisé a été utilisé pour réaliser les phases 1 et 2 du temps 1 soit le pré test et la conception du protocole individuelle en salle informatique. Tous les élèves de la classe disposent d'un ordinateur.
- 2h de séance de travaux pratiques pour la réalisation du temps 2 (post test 1 et exécution du protocole) à la suite de l'heure d'AP pour la classe 2 ou cinq jours après pour la classe 1.

L'expérimentation pour les classes 3, 4 et 5 s'est déroulée selon l'organisation suivante :

- 2h de séance de travaux pratiques pour réaliser la phase 2 du temps 1 et le temps 2. Pour chaque classe, les élèves étaient répartis en deux groupes homogènes pour répondre aux contraintes de salle et de postes informatiques disponibles. En effet, pendant 30 minutes une partie de la

classe réalisait le protocole et l'autre partie était avec l'enseignante sur une situation différente de la fermentation alcoolique, et les groupes s'échangeaient au bout de 30 minutes. La situation proposée pendant les 30 minutes par les enseignantes était un exercice sur la respiration cellulaire. Nous prendrons ainsi en compte ce facteur lors de l'analyse de données.

La réalisation du post test 2 (temps 3) doit se faire deux à trois semaines après le post test 1 selon les contraintes d'organisation de chaque classe.

2.3.3 Données recueillies

Le nombre de pré tests recueillis est de 92. Le nombre d'élèves présents à l'ensemble des phases de l'expérimentation est de 72.

La quantité importante de données non exploitables, ou manquantes, s'explique pour les classes 3, 4 et 5 par l'épreuve de langue vivante qui s'est tenue le 13 mai. Pour la classe 2, le créneau pris pour la conception du protocole était une heure supplémentaire ajoutée à l'emploi du temps cette semaine-là. Pour la classe 1, l'enseignant ne nous a pas renseigné sur l'origine des absences.

Notons aussi que, durant la phase de conception individuelle de protocole dans la classe 1, des problèmes informatiques sont survenus. Ainsi, cette phase n'a pu se dérouler correctement, donc nous n'avons pu récolter les données concernant l'ensemble des protocoles de cette classe. Les données de la classe 1 ne pourront pas être utilisées.

Ainsi **le nombre de données exploitables pour l'ensemble des phases de l'expérimentation** (pré test / protocole / post test 1) est de **56**.

L'analyse indépendante des protocoles est réalisée sur l'ensemble des protocoles produits pendant la séance dédiée à cela. Nous ne tenons pas compte des absences éventuelles aux pré tests, ainsi nous avons un corpus légèrement supérieur (59 protocoles exploitables). La répartition du nombre d'élèves par type de protocole s'est avérée homogène malgré le nombre d'absents par classe. Rappelons que la répartition des types de protocole (N1, N2 et N3) a été faite aléatoirement. Ainsi, nous obtenons la répartition suivante :

Type de protocole	N1	N2	N3	Total protocoles
Nombre d'élèves	19	21	19	59

Tableau 19 : répartition du nombre d'élève par niveau de protocole

Le nombre de **protocoles** exploitables est de **59**.

Enfin, pour les classes 3, 4 et 5, le temps de conception de protocole initialement de 30 minutes s'est avéré trop court, nous l'avons donc augmenté à 45 minutes, ce qui n'a pas laissé le temps aux élèves de réaliser leur propre protocole. Ainsi les conditions de réalisation du post test 2 n'étant plus les mêmes, nous ne les avons pas exploités.

Ainsi, le nombre de **post test 2** exploitables concerne les données de la classe 2 soit **14**.

2.4. Méthode d'analyse des données

2.4.1 Méthode d'analyse des questions 1 et 2 du test

Rappel des questions 1 et 2 du test :

Question 1 : À partir de tes connaissances, donne une définition et un exemple de métabolisme cellulaire.

Question 2 : Donne les quatre mots ou groupes de mots, qui définissent selon toi la fermentation alcoolique.

- **Objectifs**

A travers l'analyse des questions 1 et 2 du test qui sont des questions ouvertes sur le métabolisme (Q1) et plus particulièrement celui de la fermentation alcoolique (Q2), nous souhaitons répondre à la question de recherche suivante :

- * Quelles sont les représentations des élèves sur la fermentation alcoolique avant et après la mise en situation ?

Les questions 1 et 2 du test permettent de recueillir et de suivre l'évolution des représentations des élèves sur le métabolisme en général et la fermentation alcoolique. En effet, de précédentes études sur la fermentation alcoolique ou sur des concepts limitrophes que nous avons mentionnées dans l'analyse épistémologique du chapitre 3, nous ont permis de mettre en évidence des difficultés et des conceptions erronées.

Ainsi, l'analyse de ces deux questions nous permettra de mettre en évidence des difficultés identifiées *a priori* et de montrer que la situation d'apprentissage proposée les fait évoluer.

Pour les deux questions, nous utiliserons une méthodologie commune décrite ci-dessous.

- **Echantillon**

Le recueil des représentations initiales s'appuie sur les données de tous les élèves présents à l'ensemble des phases de l'expérimentation. Il en est de même pour l'analyse comparative des tests (pré et post tests 1)

Soit : 56 élèves

- **Saisi des données : catégories a priori**

Pour traiter les données recueillies concernant ces deux questions, nous avons élaboré des catégories *a priori* de réponses que nous présentons dans les tableaux 20 et 21 ci-dessous (respectivement questions 1 et 2). Nous les avons élaborées en fonction des attentes institutionnelles de la classe concernée.

Pour la question 1 (tableau 20) nous avons défini cinq catégories de réponses attendues (a, b, c, d, et e) pour définir le métabolisme cellulaire, et trois pour donner un exemple de métabolisme (f, g et h). Rappelons qu'un métabolisme cellulaire est l'ensemble des réactions chimiques (anabolisme et catabolisme) qui se déroulent dans le cytoplasme de la cellule. La respiration cellulaire, la photosynthèse, les fermentations alcoolique et lactique sont des exemples de métabolismes cellulaires. Nous ajoutons une catégorie « autre » (i) dans laquelle

nous classons les réponses des élèves qui ne correspondent pas aux catégories de réponses attendues par l'institution (a, b, c, d et e).

	Catégories <i>a priori</i>	Justification
a	Réaction chimique	Le terme de réaction, ou bien l'écriture d'une réaction chimique est acceptée
b	Etres vivant	Toute réponse faisant appel à un être vivant qu'il soit cité ou non
c	Cellule	Toute réponse incluant le fonctionnement de la cellule (cellulaire...)
d	Anabolisme, catabolisme	Toute réponse impliquant la synthèse ou la dégradation de molécules
e	Energie	ATP, énergie
i	Autres	Dans la catégorie « autres », sont écrits tous les termes ne pouvant appartenir à l'une des catégories précédemment citées.

f	Photosynthèse	Le terme doit être précisément cité
g	Respiration cellulaire	Le terme doit être précisément cité
h	Fermentations lactique ou alcoolique	Le terme doit être précisément cité

Tableau 20 : catégories de réponse *a priori* sur le métabolisme (Q1)

Pour la question 2 (tableau 21) nous avons défini quatre catégories principales qui peuvent pour certaines se subdiviser, ce qui nous amène à identifier six sous catégories pour définir la fermentation alcoolique (a, b, c, d, e et f). La fermentation alcoolique est un métabolisme cellulaire (catabolisme) qui consomme des glucides et produit de l'éthanol et du dioxyde de carbone. Il s'agit d'un métabolisme que certains microorganismes comme la levure peuvent réaliser selon certaines conditions : milieu anaérobie, et température du milieu qui dépend du type de microorganisme concerné. Nous ajoutons une catégorie « autre » (g) dans laquelle nous classons les réponses des élèves qui ne correspondent pas aux catégories de réponses attendues par l'institution a, b, c, d, e et f.

	Catégories <i>a priori</i>		Justification
a	Réactifs	Glucides	Le terme glucides (consommation) ou un exemple de glucide est accepté (glucose, maltose, fructose..)
b	Produits	CO2	Le dioxyde de carbone (ou CO ₂) doit être précisément cité.
c		Ethanol	Le terme « éthanol » doit être précisément cité.
d	Conditions du milieu	Anaérobie	Un milieu dépourvu, sans oxygène ou en anaérobie est accepté.
e		Température	Le terme « température » doit être précisément cité.
f	Micro-organisme	Levure	Le terme « levure » doit être précisément cité. « Microorganisme n'est pas accepté.
g	Autres		Dans la catégorie « autres », sont écrits tous les termes ne pouvant appartenir à l'une des catégories précédemment citées.

Tableau 21 : catégories de réponse *a priori* sur la fermentation alcoolique (Q2)

- **Traitement des données : identification de « niveaux » de réponse pour les questions 1 et 2.**

Afin de visualiser la répartition des élèves en fonction du nombre de réponses attendues proposées pour chacune des questions 1 et 2, nous avons décidé de différencier des « niveaux » de réponses.

Quatre niveaux pour la question 1 :

- **Le niveau « débutant »** : correspond au niveau pour lequel les élèves ne donnent aucune réponse attendue par l'institution
- **Le niveau « apprentis »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent 1 ou 2 réponse(s) attendue(s) par l'institution
- **Le niveau « confirmé »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent 3 ou 4 réponses attendues par l'institution
- **Le niveau « expert »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent les 5 réponses attendues par l'institution

Quatre niveaux pour la question 2 :

- **Le niveau « débutant »** : correspond au niveau pour lequel les élèves ne donnent aucune réponse attendue par l'institution
- **Le niveau « apprentis »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent 1 réponse attendue par l'institution
- **Le niveau « confirmé »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent 2 ou 3 réponses attendues par l'institution
- **Le niveau « expert »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent 4, 5 ou 6 réponses attendues. En effet, nous avons demandé aux élèves dans la question 2 quatre mots ou groupes de mots, et nous avons identifié six sous-catégories de réponses possibles, ainsi nous proposons un niveau « expert » qui comprend 4 à 6 réponses attendues.

- **Traitement des données des questions 1et 2 : identification des réponses des élèves**

Nous allons extraire les réponses des élèves et les classer selon les catégories de réponses définies selon les attentes institutionnelles ainsi que la catégorie « autres » dans laquelle on classe les autres réponses. Ce traitement de données permettra d'identifier les représentations conceptuelles des élèves sur les métabolismes cellulaires dont celui de la fermentation alcoolique.

- **Traitement des données des réponses classées dans la catégorie « autres » : établissement de trames et de nuages de mots**

Nous allons dans un premier temps extraire des données les réponses des élèves classées dans la catégorie « autres » pour chacune des deux questions. Nous en proposons un extrait ci-dessous dans le tableau 22 (chaque ligne correspond à la réponse d'un élève).

Exemples de réponses données par les élèves et classées « autres »
respiration, microorganismes, réaction chimique, liaison
laisser agir
bactérie, pourriture, bière, cellule
bactérie
oxygène, fermenter, microorganisme, réactions
bactérie, cellule, bière, culture
temps, bactéries mousseuses, ça sent fort, plante
respiration, production, produits, synthèse
bactérie, lait fermenté, temps essentiel, goût
respiration, lien avec la sang
durée, transformation

Tableau 22 : extrait de réponses données dans la catégorie autre de la question 2

A partir de cette liste exhaustive, nous avons réalisé des nuages de mots dont la taille est fonction du nombre de fois qu'il est cité dans l'ensemble des données.

Puis dans un deuxième temps, à partir de ces données nous construisons une trame conceptuelle associant les mots les uns avec les autres afin d'en dégager des grandes catégories appartenant aux domaines de la biologie et de la chimie. Ces catégories sont en lien avec les difficultés identifiées *a priori* relevées dans la littérature.

2.4.2 Calcul des scores d'apprentissage

- **Objectifs**

L'analyse des tests consiste dans un premier temps à collecter les informations sur les apprentissages afin de répondre à la question de recherche :

- * Est-ce que les situations proposées incluant différentes propositions d'étayage favorisent les apprentissages ?

Ainsi, nous recherchons une évolution des apprentissages entre le pré test et le post test 1 avec une augmentation du score suite à l'activité de conception expérimentale proposée par la plateforme.

Nous recherchons également à voir s'il y a une stabilité des apprentissages sur plusieurs semaines (entre le post test 1 et le post test 2). En effet, le post test 2 est à la fin du processus de conception expérimentale, qui inclut les rétroactions de la manipulation.

Dans la situation que nous proposons, nous allons aussi tester l'impact des trois niveaux de pré structuration de protocole proposés, sur les apprentissages.

- **Codage des données**

Comme nous l'avons précisé précédemment, la distribution des types de protocoles (N1, N2, N3) au sein de chaque classe s'est faite aléatoirement et la répartition est homogène entre les groupes.

Etablissement du score :

- ✓ pour les questions ouvertes (Q1, Q2 et Q3), 1 point est accordé par catégorie de réponse *a priori* attendue. Ainsi pour la question 1, cinq catégories *a priori* définissent le métabolisme : l'élève peut avoir un maximum de 5 points auxquels on rajoute 1 point pour l'exemple de métabolisme donné. La question 1 vaut donc 6 points. La question 2 totalise 6 catégories de réponses, donc on lui accorde 6 points. La question 3 totalise 2 catégories donc on lui accorde 2 points.
- ✓ pour les questions fermées, les points sont donnés pour chaque réponse correcte. Soit un point pour les questions 4, 6, 7, 8, 10, 12, deux points pour les questions 9 et 11, et trois points pour la question 5.

Questions	4, 6, 7, 8, 10, 12	3, 9, 11	5	1, 2	Total
Points attribués	1	2	3	6	27

Tableau 23 : répartition des points par question

Le calcul du score se fait par la somme des points acquis pour chaque question. Le score maximal est de 27 points.

- **Méthode du calcul des apprentissages**

Le calcul des apprentissages a été réalisé selon une étude sur la méthodologie de calcul d'apprentissages proposée par Pentecost & Barbera (2013). Usuellement, le calcul des apprentissages se réalise en faisant la différence de score entre le post test et le pré test.

Cependant, notre effectif (par type de protocole) est faible. Ainsi, si on souhaite comparer les apprentissages entre les différents niveaux de pré structuration, il faut prendre en compte le niveau initial des élèves au pré test. En effet, la différence des scores obtenus entre les deux tests sera plus importante avec les élèves qui ont un petit score au pré test, or il est plus facile d'augmenter son score lorsque celui-ci est faible.

Ainsi, à partir de résultats d'études menés par Lord (1963), Cronbach & Furby (1970), Pentecost & Barbera proposent une autre méthode de calcul afin de lisser le score initial au pré test.

$$\text{Gain} = (\% \text{post} - \% \text{pré}) / (100\% - \% \text{pré})$$

Que nous traduirons dans notre étude par :

$$\text{Apprentissage} = (\text{score post} - \text{score pré}) / (27 - \text{score pré})$$

27 étant le score maximal du test que nous proposons.

Le regroupement des élèves selon la variable du type de protocole attribué permet d'avoir les scores de chaque test pour N1, N2 et N3.

Seule la classe de l'enseignante 1 d'Echirolles permet d'établir des scores pour le post test 2, soit sur un total de 14 élèves.

• **Méthode d'établissement des scores par concept**

Afin d'affiner le diagnostic des erreurs des élèves sur certains concepts à l'origine de difficultés, nous avons proposé dans le test plusieurs questions relatives à un même concept. Nous souhaitons mettre en évidence les concepts pour lesquels la situation proposée favorise les apprentissages. Pour cela, nous avons mis en lien les questions du test regroupées par concept avec les possibles supports d'étayage proposés par la pré structuration des actions et des justifications (4^{ème} colonne du tableau).

Questions du test	Concepts	Objectif d'apprentissage ou pré requis ?	Etayages proposés : (pré structuration, actions ? justifications ?)
Q3	Technique de laboratoire : mise en évidence du CO ₂	Pré requis	Oui : action et justification
Q4	La levure, microorganisme vivant responsable de la fermentation alcoolique	Pré requis	Oui : paramètre d'action
Q8 Q11	La mise en anaérobie, condition nécessaire à la fermentation alcoolique	Objectif d'apprentissage	Oui Q8 et Q11 : action et justification
Q5cd	Réactifs et produits de la fermentation alcoolique	Objectif d'apprentissage	Non (pris en charge par la pré structuration des hypothèses)
Q6 Q7	Vitesse de réaction	Pré requis	Oui : justification (Q6) Oui : action et justification (Q7)
Q9	Technique de laboratoire : mise en évidence de l'éthanol	Objectif d'apprentissage	Oui : action et justification
Q10	Lecture de l'équation de réaction de la fermentation alcoolique : identification du réactif et des produits	Pré requis et objectif d'apprentissage	Non (pris en charge par la pré structuration des hypothèses)
Q12	Méthode expérimentale : planification des mesures	Non à la charge de l'élève	Oui : action

Tableau 24 : regroupement des questions par concept pris en charge par la pré structuration

Nous allons ainsi réaliser une analyse comparative des scores par concept selon le type de protocole, afin de vérifier si la pré structuration des actions favorise davantage les apprentissages.

Nous faisons le choix d'analyser en détail les questions qui sont étayées par la pré structuration des actions et ou les justifications, et qui sont objectif d'apprentissage. Il s'agit des questions 8 et 11. Elles consistent à décrire la technique de mise en anaérobie qui nécessite la fermeture du contenant dont le volume de suspension de levure présent est maximum.

2.4.3 Méthode d'analyse des protocoles

- **Objectifs**

La méthodologie d'analyse des protocoles, développée ci-après, permettra de répondre à la question de recherche suivante :

- * Est-ce que les situations proposées incluant différentes propositions d'étayage favorisent la production par les élèves d'un protocole communicable et pertinent ?

- **Critères d'analyse des protocoles**

Nous avons élaboré une grille de critères d'analyse à partir de ceux présentés dans les travaux de Girault & al. (2012). Ces travaux présentent une analyse des manuels de laboratoire dans le secondaire et à l'université afin de décrire les procédures utilisées, mais également les résultats d'entretiens réalisés auprès d'enseignants de différentes disciplines expérimentales sur les critères d'évaluation des protocoles expérimentaux.

Nous présentons dans le tableau ci-dessous les critères que nous utilisons dans notre analyse des protocoles des élèves.

Critères	Sous critères	Fonctions
Communicabilité		Ce critère considère la personne cible qui va lire et exécuter le protocole
	Complétude	Il s'agit d'une procédure détaillée, « concise » nécessaire à l'exécution du protocole. On relève l'absence de tâches, et de paramètres de tâche.
	Structure	Le protocole est décrit selon une séquence d'étapes et d'actions organisées.
	Présence d'information adéquates	Il s'agit de la présence d'informations non techniques, qui ne font pas parties de la procédure, mais qui sont importantes pour l'élève (justification de la procédure, apport de cours)
Pertinence		Ce critère considère les choix de méthode et de matériels effectués par les élèves afin de répondre au problème posé

Tableau 25 : critères d'analyse des protocoles des élèves (selon Girault & al., 2012)

Afin de répondre aux questions de recherche précédemment citées, nous avons choisi dans notre étude de retenir les critères de communicabilité et de pertinence. Nous avons étendu ce dernier critère à la fois sur les actions paramétrées proposées dans les protocoles pré structurés, mais aussi sur les justifications.

Ainsi, nous proposons dans le tableau 26 ci-dessous, une grille d'analyse des protocoles, que nous avons adapté à notre situation au regard de nos questions de recherches. Elle présente les deux catégories précédemment citées, que nous avons décliné en sous catégories. Nous proposons pour chacune d'elle l'hypothèse retenue.

Critères		Protocoles concernés	Hypothèses	Traitement des données
Communicabilité	Présence d'action dans les étapes fournies	N1/N2	La pré structuration des actions favorise l'écriture d'un protocole, ainsi les protocoles N2 comprennent davantage d'actions, que les protocoles N1	Nous calculons la moyenne du nombre d'actions proposé par étapes, et selon le type de protocole. Nous comparons avec le protocole « expert ». Nous relevons le nombre de protocoles dans lesquels il n'y a pas d'actions pour chacune des étapes / nombre total de protocole du même type. Nous comparons avec les données entre les protocoles N1 et N2
	« Nature » des actions	N1	Les étapes et actions des protocoles non pré structurés N1 sont la transposition de plusieurs types de tâches combinés dits « multi-tâches »	Nous identifions le nombre de tâches modélisées par actions et nous faisons la moyenne sur l'ensemble des protocoles N1
	Présence de paramètre dans les actions	N1/N2	Les actions des protocoles non pré structurés N1 sont peu paramétrées, alors que la pré structuration des actions (N2) incite fortement les élèves à paramétrer les actions	Nous calculons dans les protocoles N1 et N2 le nombre de paramètres présents par rapport au nombre de paramètres attendus (dans le protocole expert) Nous comparons avec les données entre les protocoles N1 et N2
	Autres types d'informations données dans les actions	N1 N1 et N2	Les étapes et actions non pré structurées comprennent des éléments de technologie issus de la praxéologie	Nous relevons les propositions d'actions qui ne font pas parties du protocole « expert » et nous identifions la « nature » de ces propositions
	Utilisation des propositions de pré structuration :			
- Proposition d'étapes hors pré structuration	N1/N2/N3	Les protocoles N1, N2 et N3 sont écrits avec les étapes proposées	Nous relevons le nombre d'étapes proposées en dehors de la pré structuration imposée et nous identifions la « nature » de ces propositions.	
- Proposition d'actions hors pré structuration	N2	Les protocoles N2 sont écrits avec les actions proposées	Nous relevons le nombre d'actions proposées en dehors de la pré structuration imposée et nous identifions la « nature » de ces propositions.	
- Proposition de justifications hors pré structuration	N3	Les protocoles N3 sont écrits avec les justifications proposées	Nous relevons le nombre de justifications pré structurées complétées. Nous relevons le nombre de justifications proposées en dehors de la pré structuration et nous identifions leur nature	

Pertinence	Pertinence des actions proposées (par étapes)	N1/N2	La liste des actions proposées dans la pré structuration N2 favorise le choix d'une technique de résolution pertinente	Identification des techniques (actions proposées pour chacune des étapes) expertes (comparaison avec le protocole expert) de résolution Comparaison N1 et N2
	Pertinence de la valeur des paramètres	N1 N2/N3	La pré structuration des actions incite les élèves à réfléchir sur des choix de paramètres La pré structuration des justifications favorise le paramétrage correct des actions Les paramètres d'actions mis à la charge de l'élève dans la pré structuration sont à l'origine de difficultés identifiées <i>a priori</i>	Dans les protocoles de type N1 (pour chaque action) : nous comparons le nombre de valeurs de paramètre corrects par rapport au nombre de valeurs de paramètres proposés et le nombre de valeurs de paramètres corrects par rapport au nombre attendus Dans les protocoles N2 et N3 (analyse comparative) : Nous comparons le nombre de valeurs de paramètres corrects avec le nombre de valeurs de paramètres attendues (pour chaque action) Nous identifions les valeurs de paramètres incorrects dans chacune des actions et nous les mettons en lien avec les difficultés identifiées dans l'analyse épistémologique
	Pertinence des justifications	N3	Les erreurs des justifications sont liées aux erreurs de paramètres	Nous identifions les erreurs de justification et nous les mettons en lien avec les erreurs de valeurs de paramètres associés

Tableau 26 : grille de critères d'analyse des protocoles

• **Codage des protocoles**

Dans cette partie nous présentons comment les protocoles ont été codés afin de les analyser selon les critères précédemment cités.

L'analyse des protocoles prend en compte l'ensemble des protocoles élaborés par les élèves. Soit 19 protocoles N1, 21 protocoles N2 et 19 protocoles N3, pour un total de 59 protocoles.

Afin d'analyser les protocoles produits par les élèves quel que soit son type (N1, N2, N3), nous avons produit un protocole « expert » (du type N3) qui nous sert de référence (figure 35) et qui répond aux attentes institutionnelles développées dans le chapitre précédent.



Figure 35 : protocole de référence (du type N3) « expert » réalisé sur LabBook

Ce protocole est composé de 14 actions attendues réparties selon les 5 étapes imposées. Chaque action peut contenir une ou plusieurs valeurs de paramètre.

Afin de comparer les étapes et les actions (libres ou pré structurées) proposées par les élèves avec le protocole « expert », nous les avons traduites respectivement en types de tâches et techniques selon le modèle praxéologique utilisé lors de la conception de la pré structuration (chapitre 7). Nous avons également extrait les valeurs des paramètres d'action présents et nous les avons traduits en valeurs de variables de la tâche concernée.

Les justifications de certains choix de valeurs de paramètres d'actions dans les protocoles qui en proposent, pré structurées ou non, se modélisent en technologies.

Les actions qui ne sont pas pré structurées, et qui ne trouvent pas leur correspondance dans le protocole « expert » sont classées « autres ». Nous identifions leur « nature », c'est à dire la correspondance dans le modèle praxéologique (type de tâche, technologie).

Chapitre 9 : Résultats de la première expérimentation

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats concernant la première expérimentation menée dans des classes de lycée selon le plan expérimental et la méthodologie développés dans le chapitre 8.

Nous avons testé en classe de terminale scientifique de spécialité SVT les trois situations, N1, N2 et N3 modélisées dans la plateforme informatique LabBook et son logiciel Copex.

Nous avons axé notre analyse sur deux types de données : les questionnaires (tests), et les protocoles produits par les élèves. Concernant les tests, nous allons utiliser les données des pré tests et des post tests 1 recueillis, soit un échantillon de 56 élèves. Nous utiliserons les 14 post tests 2 recueillis pour approfondir notamment l'analyse de deux questions. Concernant les protocoles nous analyserons les 59 protocoles produits par les élèves.

L'analyse des questionnaires a été menée afin de répondre aux questions de recherche suivantes :

- * Quelles sont les représentations des élèves sur la fermentation alcoolique avant et après la mise en situation ?

Nous allons pour cela présenter dans une première partie, les résultats de l'analyse des questions 1 et 2 du test afin d'identifier les représentations et difficultés des élèves sur le concept de métabolisme et celui de la fermentation alcoolique. Nous comparons les résultats avant (pré test) et après (post test 1) l'activité de conception expérimentale avec LabBook, sans distinguer les types de protocole N1, N2 et N3.

- * Est-ce que les situations de conception expérimentale incluant différentes propositions d'étayages, favorisent les apprentissages ?

Nous allons pour cela présenter dans une seconde partie, les résultats des scores des tests avant et après l'activité de conception expérimentale avec LabBook. Nous présentons également les résultats concernant les gains d'apprentissage selon les types de pré structuration N1, N2 et N3 proposés dans Copex.

L'analyse des protocoles produits par les élèves a été menée afin de répondre à la question de recherche :

- * Est-ce que les situations proposées favorisent la production par les élèves d'un protocole communicable et pertinent ?

Nous allons pour cela présenter dans une troisième partie, les résultats de l'analyse des protocoles selon la grille de critères présentée dans la méthodologie. Nous allons pour certains critères comparer les résultats en distinguant les différents types de pré structuration (N1, N2 et N3), afin de montrer l'impact des différents supports d'étayage proposés.

1. Evolution des représentations des élèves sur le métabolisme et la fermentation alcoolique

L'analyse épistémologique précédemment réalisée a mis en avant des difficultés et des conceptions erronées chez les élèves sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique.

Les questions 1 (définir le métabolisme et donner un exemple) et 2 (définir la fermentation alcoolique en quatre mots ou groupes de mots) du test ont été élaborées afin de recueillir les représentations initiales des élèves sur ces thèmes afin de répondre aux questions suivantes :

- * Quelles sont les représentations initiales des élèves de Terminale S spécialité SVT sur le métabolisme cellulaire et notamment celui de la fermentation alcoolique ?
- * Comment évoluent-elles après la mise en situation proposée dans la plateforme LabBook ?

Pour l'analyse des représentations des élèves nous prendrons en compte les élèves présents à l'ensemble des phases de l'expérimentation, soit 56 élèves.

Pour chaque question, nous présentons les résultats des réponses proposées par les élèves selon les catégories de réponse proposées *a priori* dans la méthodologie (chapitre 8, paragraphe 2.4), qui répondent aux attentes institutionnelles.

Nous avons précisé quatre niveaux de réponses pour la question 1 définis comme suit :

- ✓ **Le niveau « débutant »** : correspond au niveau pour lequel les élèves ne donnent aucune réponse attendue par l'institution
- ✓ **Le niveau « apprenti »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent 1 ou 2 réponses attendue(s) par l'institution
- ✓ **Le niveau « confirmé »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent 3 ou 4 réponses attendues par l'institution
- ✓ **Le niveau « expert »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent les 5 réponses attendues par l'institution

Et quatre niveaux de réponses pour la question 2 :

- ✓ **Le niveau « débutant »** : correspond au niveau pour lequel les élèves ne donnent aucune réponse attendue par l'institution
- ✓ **Le niveau « apprenti »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent 1 réponse attendue par l'institution
- ✓ **Le niveau « confirmé »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent 2 ou 3 réponses attendues par l'institution
- ✓ **Le niveau « expert »** : correspond au niveau pour lequel les élèves donnent 4, 5 ou 6 réponses attendues par l'institution

Nous présentons également la répartition des réponses des élèves classées dans les catégories de réponses proposée *a priori* en incluant la catégorie « autre ».

Concernant les résultats d'analyse des réponses des élèves classées « autres », nous présentons une analyse quantitative et qualitative des mots ainsi proposés par les élèves en élaborant un regroupement par concept.

L'analyse des résultats des pré tests nous permet de relever les représentations des élèves en les reliant à l'analyse épistémologique (chapitre 3).

L'analyse comparative des résultats entre le pré test et le post test 1 permet de suivre leur évolution à la suite l'activité de conception expérimentale proposée, mais aussi de dégager de nouvelles représentations, erronées, et tenaces.

1.1. Evolution des représentations des élèves sur le métabolisme cellulaire (Question 1 du test)

1.1.1 Résultats : représentations initiales (pré test)

- **Répartition des élèves selon les « niveaux » de réponse**

Ci-dessous, nous présentons les résultats des réponses des élèves selon les catégories de réponses proposées *a priori* et attendues par l'institution, afin de les classer selon les groupes de niveau précédemment cités.

En effet, nous avons proposé pour la question 1, cinq catégories de réponse qui reprennent les concepts relatifs au métabolisme cellulaire attendus au lycée : réaction chimique ; vivant ; cellule ; production et dégradation de matière ; énergie.

Les résultats obtenus classent les 56 élèves en trois groupes :

- 18/56 élèves se placent dans le groupe « débutant », c'est à dire n'ayant donné aucune réponse attendue par l'institution.
- 36/56 élèves se placent dans le groupe « apprentis », c'est à dire qu'ils ont donné 1 à 2 réponses attendues par l'institution.
- 2/56 élèves se placent dans le groupe « confirmé », c'est à dire qu'ils ont donné 3 réponses attendues par l'institution.

La répartition des élèves dans ces groupes de niveaux est hétérogène. En effet, 18 d'entre eux n'ont donné aucune réponse attendue par l'institution, et 38 élèves ont donné deux à trois réponses. Nous remarquons l'absence d'élèves dans le groupe « expert » (5/5 réponses attendues). Le concept de métabolisme semble être à l'origine de difficultés chez les élèves qui proposent peu de réponses en lien avec les attentes institutionnelles.

- **Analyse détaillée des réponses des élèves**

Voyons à présent dans le détail la répartition des réponses des élèves classées dans les cinq catégories de réponses attendues par l'institution, auxquelles s'ajoutent les réponses des élèves classées dans la catégorie « autre ». Les pourcentages sont exprimés à partir du nombre total de réponses données dans l'ensemble des catégories.

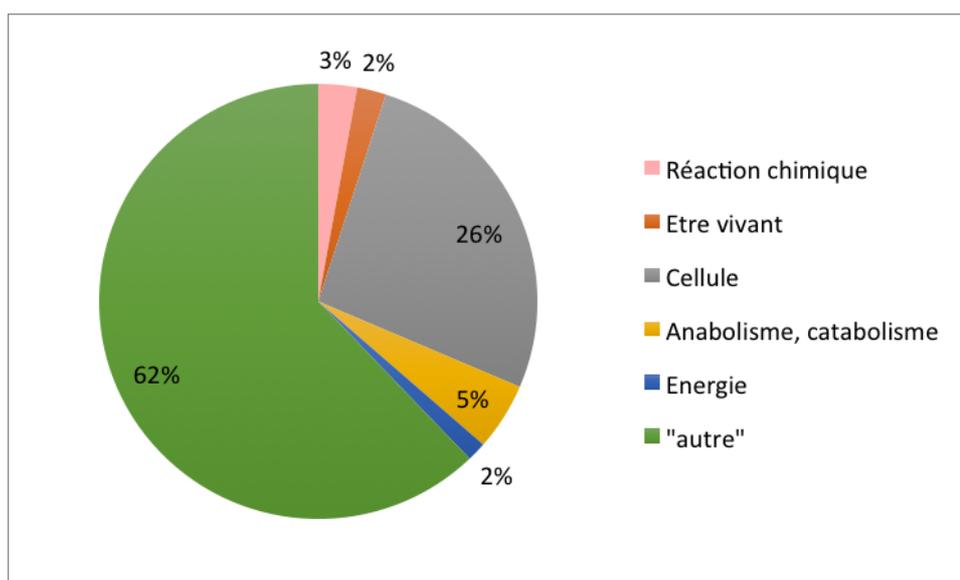


Figure 36 : répartition des réponses du pré test par catégorie (question 1)

Nous remarquons la dominance des réponses des élèves classées dans la catégorie « autres » (62%) que celles attendues par l'institution. Nous détaillerons les résultats dans le paragraphe suivant.

Parmi les catégories de réponses attendues par l'institution, on constate dans les réponses des élèves, l'importance du concept de cellule associé au métabolisme cellulaire (26% des réponses). Nous remarquerons également la faible part des concepts énergétiques du métabolisme (2% des réponses), de la représentation du vivant (2%), et des réactions chimiques impliquées (3%).

Ces résultats nous montrent que les élèves associent principalement le terme de métabolisme au concept de cellule. L'importance de ce terme « cellule » est à mettre en lien avec le fait que les métabolismes sont représentés dans les programmes sous le terme de métabolisme cellulaire. Nous avons nous même repris ce terme dans la question posée. De plus, la cellule reste un concept fort, comme l'ont montrées de nombreuses études, « la cellule occupe une place surdimensionnée dans les apprentissages » selon Pothet (2004) et Canguilhem (1985), ce qui explique la présence de ce concept chez les élèves.

Nous avons également mis en évidence la faible part du côté énergétique du métabolisme (2% des réponses) dans les réponses des élèves. Pourtant l'aspect énergétique du métabolisme est étudié dans les programmes avec le thème « énergie et cellule vivante », « *Tout système vivant échange de la matière et de l'énergie avec ce qui l'entoure. Il est le siège de couplages énergétiques.* » (Extrait du BO n°8 du 13 octobre 2011). L'aspect énergétique est développé lors de l'étude de la photosynthèse et de la respiration cellulaire. Les résultats du test mettent en évidence l'absence de lien réalisé par les élèves entre les différents métabolismes, ce qui peut être dû à l'organisation séquentielle appliquée en classe. Les séances sont des séances de TP cours, ponctuelles, il n'y a pas ou peu de réinvestissement des notions acquises, mis à part lors des évaluations. Les enseignants ne sont pas revenus sur les concepts précédents dont les liens énergétiques entre les différents métabolismes, même s'ils sont au cœur des programmes. En effet, un des objectifs du programme est de comparer les rendements énergétiques des métabolismes.

Le tableau 27 ci-dessous présente ainsi les résultats de l'analyse qualitative et quantitative des réponses « autres » proposées par les élèves dans le pré test.

Domaine		Sous catégories
Biologie (69)	20	Fonctionnement cellulaire
	9	Structure cellulaire
	11	Division cellulaire
	25	Nutrition cellulaire
	4	(Micro)Organismes
Chimie (7)	7	Cinétique
Autres	11	
Total « autres »	87	

Tableau 27 : répartition des concepts de la catégorie « autre » par domaine de la question 1

La répartition est hétérogène entre les domaines de la chimie (7/80) et de la biologie (69/80). 11 termes ne peuvent être classés dans aucun de ces domaines et ne font pas appel à des concepts relatifs au métabolisme cellulaire. Il s'agit de verbes principalement, comme par exemple « allonger, relever ».

Nous retrouvons principalement des termes liés au fonctionnement de la cellule, sans pour autant entrer dans les mécanismes cellulaires, la fonction de nutrition (25/69) étant dominante.

Ce tableau regroupe ainsi par concept les termes proposés par les élèves, que nous présentons dans la figure ci-dessous sous la forme d'une trame conceptuelle. Nous faisons apparaître exclusivement les termes « autres » proposés par les élèves, en établissant des liens entre eux. Nous optons pour une police et une couleur différente en fonction du nombre de fois que le terme est cité afin d'en extraire les mots et concepts à l'origine de certaines conceptions des élèves que nous expliquerons par la suite.

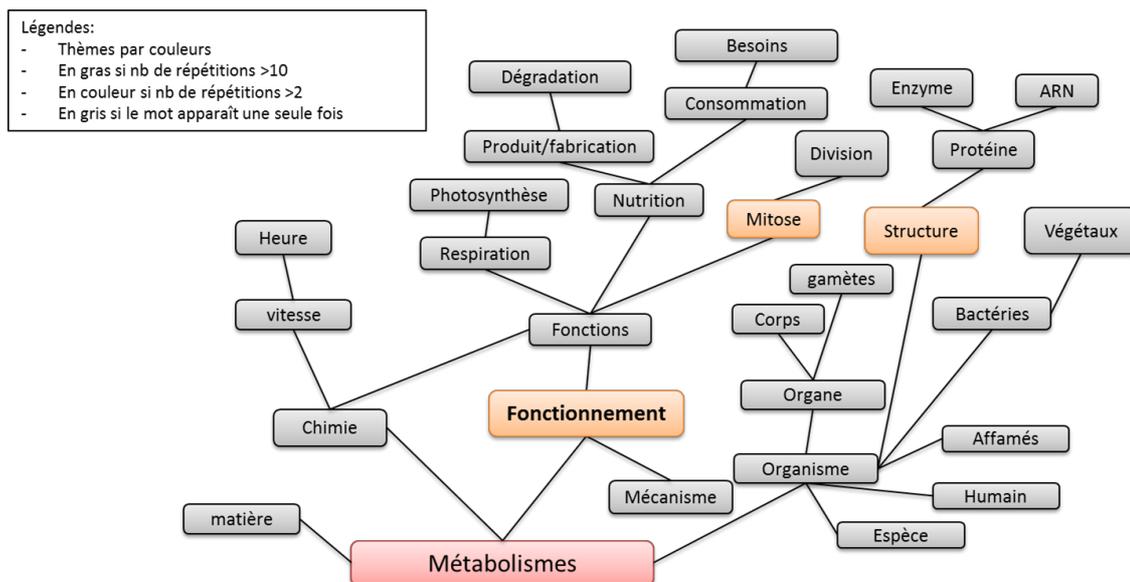


Figure 38 : représentation des termes « autres », classification par concept (pré test) (question 1)

Du côté des conceptions « autres » que celles proposées *a priori*, nous avons mis en évidence la dominance de l'idée de « fonctionnement » et de deux autres « mitose » et « structure ». En effet, le métabolisme cellulaire correspond à un fonctionnement de la cellule, ou plutôt une des fonctions cellulaires. En utilisant ce terme les élèves restent à un niveau peu précis de réponse qui englobe un phénomène général qu'ils semblent peu maîtriser. De plus, nous remarquons une confusion entre la structure et la fonction de la cellule, voir même entre les fonctions cellulaires comme celles de nutrition et de division. Cette difficulté a été mise en évidence dans les travaux de Flores & al. (2003). En effet, les étudiants associent la fonction cellulaire de métabolisme fermentaire à la fonction de division (ou multiplication) cellulaire. Cela pourrait peut-être s'expliquer par une conception relevée dans les études de Songer & Mintzes (1994) comme quoi le processus de fermentation alcoolique, (en prenant l'exemple de la levée de la pâte à pain), est dû à la multiplication des microorganismes, qu'ils qualifient par ailleurs de bactéries. Les étudiants semblent ne pas associer la production de gaz (dioxyde de carbone) à la levée de la pâte.

- **Analyse des exemples de métabolisme cités par les élèves**

La deuxième partie de la question 1 demande aux élèves de citer un exemple de métabolisme. Voici les résultats obtenus :

Types de réponse au pré test	Nombre de fois cité
Non répondu	36
Photosynthèse	5
Respiration cellulaire	18
Fermentation alcoolique	2

Tableau 28 : répartition des exemples de métabolismes cités par les élèves (pré test) dans la question 1

Nous remarquons l'importance de non réponses (36 élèves sur 56), et la dominance de la respiration cellulaire comme métabolisme cité (18 fois). La fermentation alcoolique est citée deux fois en association avec le métabolisme.

Notons cependant que les élèves qui ont répondu à la question, ont cité plusieurs métabolismes pour cette partie de question contrairement à la consigne initialement donnée. En effet, on obtient en moyenne 1,25 métabolismes cités par élève ayant répondu.

Le fait que la respiration cellulaire soit citée majoritairement (18 élèves sur 56) peut s'expliquer à la fois par l'analyse des programmes de lycée mais également par la programmation effectuée par les enseignants dans les classes testées.

En effet, le thème des métabolismes est abordé par l'étude successive des trois métabolismes : la photosynthèse, la respiration cellulaire puis la fermentation alcoolique, afin d'en dégager une analyse comparative des rendements énergétiques.

Ainsi, dans les classes testées, la respiration cellulaire a été étudiée lors de la précédente séance, et la photosynthèse quelques semaines avant. Cependant, ce dernier métabolisme est peu cité, tout comme celui de la fermentation alcoolique. Il faut préciser, pour ce dernier que, même si la consigne donnée dans le test était de ne pas revenir en arrière sur les questions, celles proposées dans la suite du test ont pu influencer les réponses des élèves pour donner l'exemple d'un métabolisme.

Néanmoins, la respiration reste un concept très présent chez les élèves. Les travaux de Guyon (1987) rappellent cette place importante de la respiration dans le concept de vie. Elle met en évidence que « *la respiration apparaît comme un phénomène inéluctable lié au concept de vie, l'oxygène sert à faire vivre les cellules* » (p.168).

- **Conclusion**

L'analyse de la question 1 du pré test sur les représentations des élèves montre des difficultés pour définir le concept de métabolisme. Les élèves l'associent principalement au fonctionnement cellulaire sans pour autant en détailler le principe général. Il s'agit d'un concept flou qui est pourtant abordé dans les programmes. Ces derniers l'introduisent par l'étude de trois métabolismes cellulaires spécifiques qui sont la photosynthèse, la respiration et les fermentations. On note dans les programmes une approche comparative en ce qui concerne les rendements énergétiques, ce qui ne transparait pas dans les réponses des élèves, qui semblent ne pas établir de liens entre ces métabolismes.

1.1.2 Résultats : représentations après la mise en situation (post test 1)

- **Répartition des élèves selon les « niveaux » de réponse**

Ci-dessous, nous présentons les résultats des réponses des élèves selon les catégories de réponses proposées *a priori* et attendues par l'institution, afin de les classer selon les groupes de niveau définis dans la méthodologie.

Les élèves se répartissent en trois groupes :

- 16/56 élèves se placent dans le groupe « débutant », c'est à dire qui n'a donné aucune réponse attendue par l'institution.

- 38/56 élèves se placent dans le groupe « apprenti », c'est à dire qu'ils ont donné 1 à 2 réponses attendues par l'institution.
- 2/56 élèves se placent dans le groupe « confirmé », c'est à dire qu'ils ont donné 3 à 4 réponses attendues par l'institution.

Plus d'un quart des élèves n'a donné aucune réponse attendue par l'institution. Nous remarquons l'absence d'élèves dans le groupe « expert » (5/5 réponses attendues).

- **Analyse détaillée des réponses des élèves**

Voyons à présent dans le détail la répartition des réponses des élèves classées dans les cinq catégories de réponses attendues par l'institution, auxquelles s'ajoutent celles classées dans la catégorie « autre ». Les pourcentages sont exprimés à partir du nombre total de réponses données dans l'ensemble des catégories.

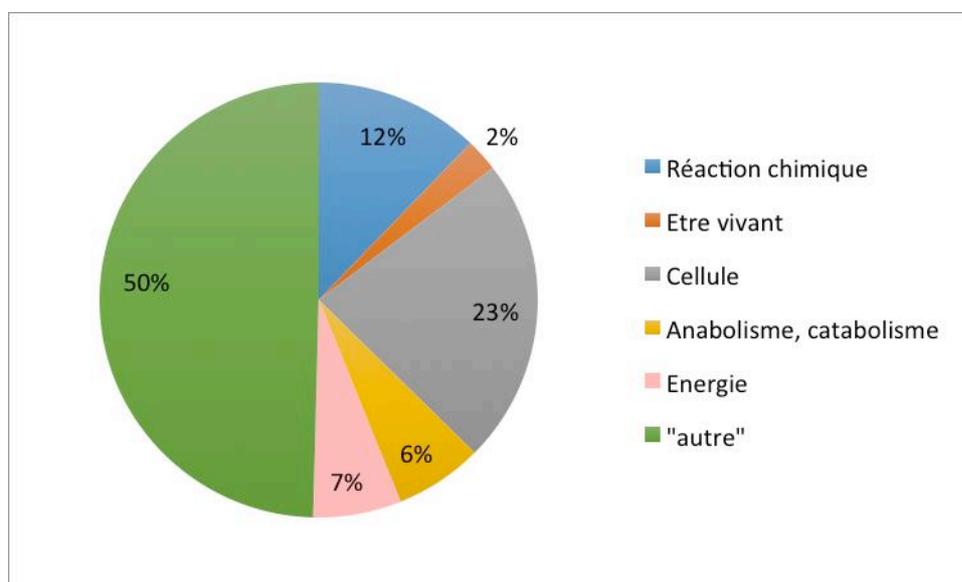


Figure 39 : répartition des réponses du post test 1 par catégorie (question 1)

Parmi les réponses des élèves classées dans les catégories attendues par l'institution, nous remarquons l'importance du concept de cellule (23% des réponses) que les élèves associent au métabolisme. Nous notons une représentation plus importante du concept de « réaction chimique » (12%), alors que les réponses des élèves classées dans les catégories « anabolisme, catabolisme » et « énergie » sont peu importantes (6 et 7%). La représentation du nombre de réponses codées dans la catégorie « être vivant » reste faible (2%).

A l'inverse, les réponses classées dans la catégorie « autre » représentent la moitié des réponses proposées par les élèves. Ainsi, nous les analysons dans le paragraphe suivant.

- **Analyse des réponses des élèves classées dans la catégorie « autre »**

Nous avons pour cela relevé les termes « autres ». Nous proposons une représentation quantitative sous la forme d'un nuage de mots présenté ci-dessous.



Figure 40 : représentation en nuage de mots des termes relevés dans la catégorie « autre » de la question 1 (MO pour matière organique)

Nous remarquons la prédominance de deux termes « fonctionnement » et « MO » (pour matière organique) (cités 8 fois).

Nous pouvons également noter la présence de termes appartenant aux concepts de microorganismes (levure, bactérie), de vie, et quelque soient les échelles d'étude concernées. En effet, on retrouve des termes associés à l'échelle du corps ou de l'organisme, mais on trouve également des concepts appartenant à l'échelle cellulaire (organites), et même à l'ultra structure cellulaire comme avec la présence des « mitochondries ». Cependant la fréquence d'apparition de ces termes par élève reste très faible (de 1 à 2/56) et donc négligeable.

Le tableau ci-dessous présente ainsi les résultats de l'analyse qualitative et quantitative des réponses « autres » proposées par les élèves. Nous utilisons les domaines et sous catégories proposées dans l'analyse des réponses « autres » des élèves du pré test. Nous proposons néanmoins une nouvelle catégorie en chimie « molécules », concept dans lequel nous pouvons regrouper d'autres termes ainsi proposés par les élèves.

Domaine		Sous catégories
Biologie (47)	9	Fonctionnement cellulaire
	6	Structure cellulaire
	0	Division cellulaire
	25	Nutrition (cellulaire)
	7	(Micro)Organismes
Chimie (9)	4	Cinétique
	5	Molécules
Autres	5	
Total « autres »	61	

Tableau 29 : répartition des concepts de la catégorie « autre » par domaine (question 1)

- **Analyse des exemples de métabolisme cités par les élèves**

Comme pour le pré test, la consigne de la question ne demande qu'un seul exemple de métabolisme, les élèves en ont parfois mis 2 ou 3, ce qui nous amène à 1,5 réponses par élève.

Types de réponse au pré test	Nombre de fois cité
Non répondu	28
Photosynthèse	3
Respiration cellulaire	18
Fermentation alcoolique	22

Tableau 30 : Répartition des exemples de métabolismes cités par les élèves

Nous remarquons l'importance de non réponses (28 élèves / 56), et l'importance de la fermentation alcoolique (22 élèves). La respiration cellulaire est citée par 18 élèves.

Notons la faible représentation de la photosynthèse (3 fois) qui est un métabolisme étudié en amont des séances sur la respiration et la fermentation cellulaire. La photosynthèse est un métabolisme spécifique des végétaux qui réalisent également le métabolisme de la respiration cellulaire. Il est généralement étudié avec un organisme unicellulaire, la chlorelle. Alors que la respiration et la fermentation cellulaire sont étudiées en classe avec un unique modèle qui est la levure (organisme unicellulaire). Ainsi, il n'est pas étonnant de retrouver l'association des métabolismes de respiration et de fermentation d'autant plus qu'une analyse comparative de leur rendement énergétique est proposée dans les programmes.

1.1.3 Analyse comparative des représentations entre pré test et post-test 1

Dans cette partie nous allons comparer les résultats obtenus entre le pré test et le post test 1 pour le concept de métabolisme cellulaire, afin de suivre l'évolution des représentations des élèves après la mise en situation (Activité de conception expérimentale avec la plateforme LabBook).

- **Evolution de la répartition des élèves selon les « niveaux » de réponse**

Dans un premier temps, nous représentons dans la figure 42 ci-dessous l'évolution de la répartition des élèves par « niveau de réponse ». Puis nous regardons la répartition des réponses par concept, et enfin nous suivons l'évolution des réponses classées « autres » que celles attendues par l'institution.

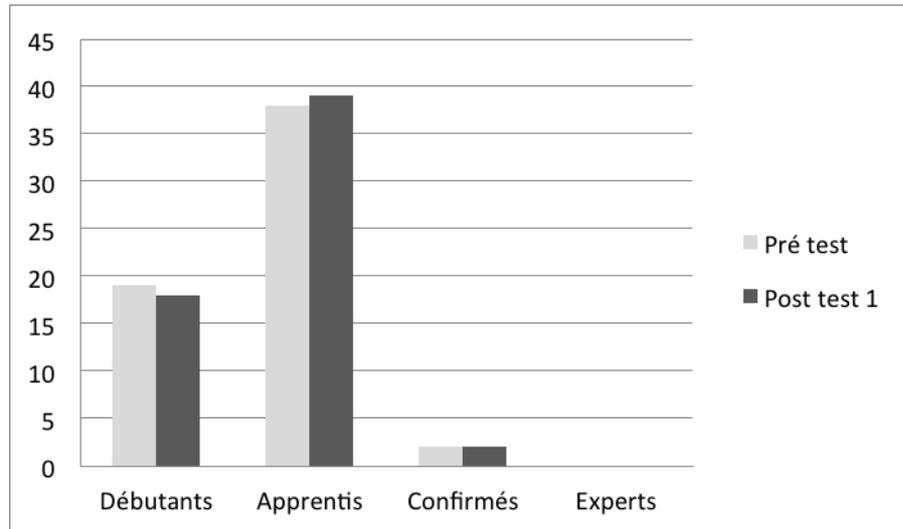


Figure 42 : évolution de la répartition des élèves par groupe de niveau entre le pré test et le post test 1 (question 1)

On remarque que les résultats ne diffèrent quasiment pas entre le pré test et le post test 1. En effet, pour chaque groupe de niveau nous avons à peu près la même répartition d'élèves, avec notamment tout autant d'élèves dont les réponses ne correspondent à aucune des catégories de réponse proposée *a priori* selon la définition du métabolisme attendue par une classe de terminale de spécialité SVT. Nous avons 2 élèves supplémentaires dans le groupe « apprentis » (36 à 38), et un nombre d'élèves du groupe « confirmé » identique (2). Aucun élève dans le groupe « expert ».

Nous pouvons ainsi nous demander s'il s'agit d'un concept à l'origine de difficultés que la programmation scolaire et la situation didactique que nous proposons ne fait pas évoluer. Ou bien est-ce que la catégorisation des réponses que nous proposons *a priori* construite à partir des attentes d'une classe de terminale scientifique de spécialité SVT ne répond pas ou n'est pas adaptée aux objectifs d'apprentissage.

- ***Evolution des réponses des élèves classées dans les catégories de réponses attendues par l'institution***

Voyons plus précisément s'il se dégage une évolution des réponses des élèves par concept. Ainsi, la figure 43 ci-dessous reprend l'évolution de la répartition des réponses des élèves par catégories.

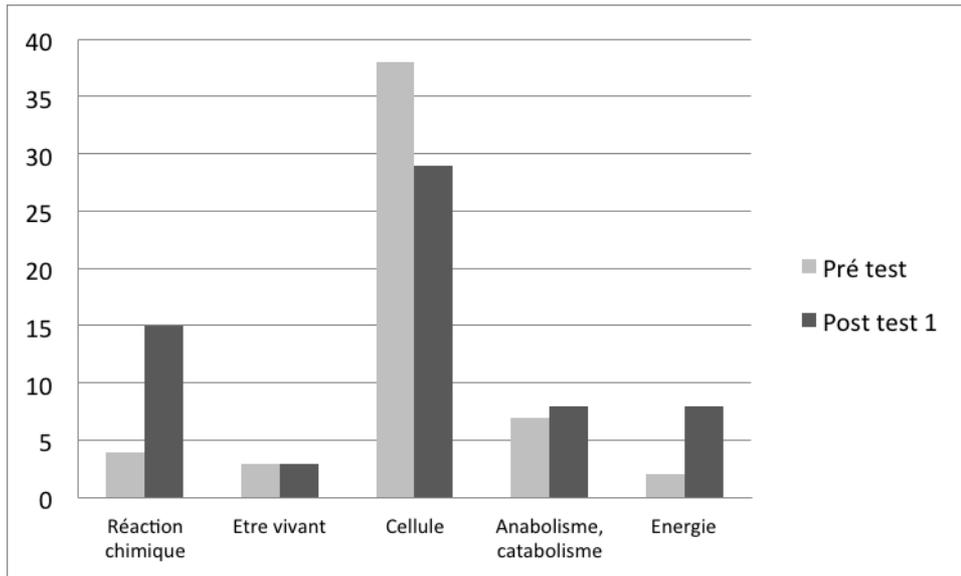


Figure 43 : évolution de la répartition des réponses des élèves pour chaque catégorie attendue par l'institution entre le pré test et le post test 1 (question 1)

Nous remarquons une diminution du nombre de réponses « cellule » (-9) au profit du concept d'énergie (+6) et de réaction chimique (+ 11).

En regardant précisément la répartition des élèves par catégories de réponses, nous avons remarqué une certaine évolution avec notamment la diminution de l'aspect cellulaire du métabolisme, même si elle reste dominante, au profit du concept d'énergie et de celui de réaction chimique. Il s'agit pour nous, d'une représentation stabilisée que la situation proposée n'a pas fait évoluer. Cependant, nous devons préciser que pour les classes c et d, l'enseignant a réalisé un cours sur le bilan énergétique de la respiration cellulaire entre le pré test et le post test 1, ce qui a pu influencer les réponses des élèves dans ce sens.

- **Evolution des exemples de métabolisme cités par les élèves**

Quant à la deuxième partie de question 1 qui demandait de donner un exemple de métabolisme, la figure 44 ci-dessous présente l'évolution des réponses des élèves entre les deux tests.

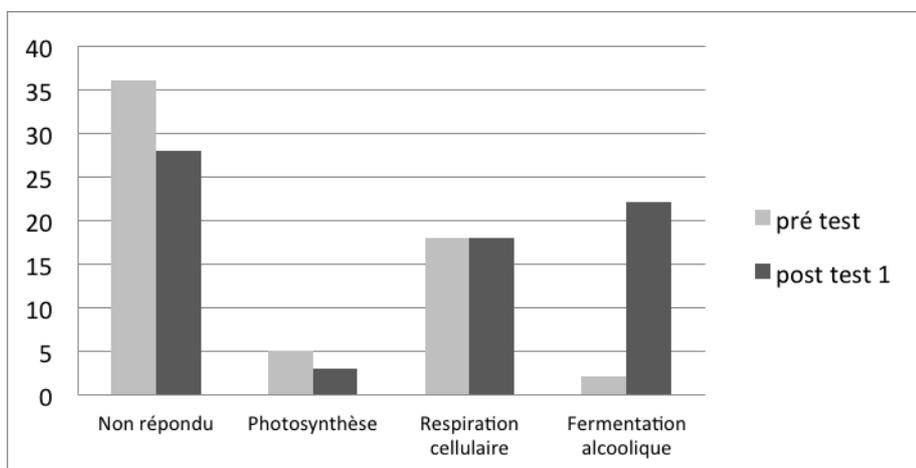


Figure 44 : évolution du nombre et de la répartition des exemples de métabolisme cités par les 56 élèves entre le pré test et le post test 1 (question 1)

Comme nous l'avons précédemment mentionné dans l'analyse du post test 1, nous remarquons une forte augmentation du nombre de fois où le métabolisme de la fermentation alcoolique est cité (+20), et une diminution non négligeable du nombre de « non réponses » (-8). Ceci nous laisse supposer que l'activité proposée modifie les réponses des élèves. Cependant la demande d'exemple de métabolisme et sa définition se trouvaient dans la même question ce qui a pu influencer les élèves. De plus, les élèves qui n'ont pas répondu à la première partie de la question ne répondaient pas non plus à la deuxième et passaient directement à la question suivante. Enfin, le post test 1 a été réalisé juste après l'activité de conception de protocole, ce qui favorise des réponses liées aux concepts de la fermentation alcoolique. Ceci est confirmé par la faible représentation de la photosynthèse qui est un métabolisme étudié en amont des séances sur la respiration et la fermentation cellulaire.

- ***Evolution des réponses des élèves classées dans la catégorie « autre »***

Enfin, l'analyse de la catégorie « autre » entre le pré test et le post test 1 nous amène aux constats suivants.

Tout d'abord le nombre de réponses classées « autres » diminue entre les deux tests (-26). Cependant il s'agit d'une catégorie de réponse qui reste majoritairement représentée dans les réponses des élèves (>50%).

On remarque la prédominance d'un terme assez général, le « fonctionnement ». Ce concept définit de façon très générale la notion de métabolisme mais laisse présager certaines confusions entre les différentes fonctions cellulaires. Par exemple les élèves établissent un lien entre la multiplication cellulaire et la fonction de reproduction. Cela rejoint les travaux de Songer & Mintzes (1994) qui montrent que les élèves expliquent la levée du pain par la multiplication des microorganismes.

Néanmoins nous relevons des termes à la fois dans le domaine de la biologie mais également dans celui de la chimie, plus marqués dans l'analyse du post test 1. Les élèves allient donc ces deux domaines au concept de métabolisme. La situation ainsi proposée semble aider les élèves à définir le métabolisme comme étant au cœur de deux disciplines, ce qui pose de réelles difficultés de décontextualisation comme l'ont montré les travaux de Fortin (2004).

- ***Conclusion***

Nous pouvons ainsi supposer que la situation proposée dans LabBook n'aide pas les élèves à définir le concept général de métabolisme cellulaire et ne fait pas évoluer leurs représentations vers celles attendues par l'institution. Nous pouvons faire l'hypothèse qu'il s'agit là d'un concept large, qui correspond à une tâche de haut niveau qui n'est pas enseignée en tant que telle dans les programmes. En effet, le métabolisme est abordé dans les programme à travers trois exemples précis (photosynthèse, respiration cellulaire, et fermentations), sans en dégager les caractéristiques communes qui aideraient à proposer une définition juste du métabolisme cellulaire. Les élèves définissent ainsi le métabolisme au travers d'un exemple sans réussir à généraliser ce concept.

La situation didactique et la pré structuration proposée, prennent en charge des difficultés liées précisément au concept de fermentation alcoolique, ainsi nous faisons l'hypothèse d'une évolution plus marquée des représentations des élèves sur ce concept.

1.2. Evolution des représentations des élèves sur la fermentation alcoolique (Question 2 du test)

1.2.1 Résultats : représentations initiales (pré test)

- **Répartition des élèves selon les « niveaux » de réponse**

Ci-dessous, nous présentons les résultats des réponses des élèves selon les catégories de réponses proposées *a priori* et attendues par l'institution, afin de les classer selon les groupes de niveau précédemment cités.

En effet, nous avons proposé dans la méthodologie, six catégories de réponse qui reprennent les concepts relatifs au métabolisme de la fermentation alcoolique attendus au lycée :

- ✓ réactif : glucides
- ✓ produit : CO₂
- ✓ produit : éthanol
- ✓ condition du milieu : anaérobie
- ✓ condition du milieu (concept du vivant) : température
- ✓ microorganismes impliqués : levures

Les résultats obtenus classent les 56 élèves en trois groupes :

- 22/56 élèves se placent dans le groupe « débutant », c'est à dire qu'ils n'ont donné aucune réponse attendue par l'institution
- 31/56 élèves se placent dans le groupe « apprenti », c'est à dire qu'ils ont proposé 1 réponse attendue par l'institution
- 3/56 élèves se placent dans le groupe « confirmé », c'est à dire qu'ils ont proposé 2 ou 3 réponses attendues par l'institution

Nous remarquons l'absence d'élèves dans le groupe « expert ».

La répartition des élèves dans ces groupes se concentre essentiellement (53/56 élèves) entre les deux premiers niveaux c'est à dire qu'ils n'ont donné aucune réponse attendue par l'institution ou une seule sur les six catégories proposées *a priori*.

- **Analyse détaillée des réponses des élèves**

Voyons à présent dans le détail la répartition des réponses des élèves classées dans les six catégories de réponses attendues par l'institution, auxquelles s'ajoutent les réponses des élèves classées dans la catégorie « autre ». Les pourcentages sont exprimés à partir du nombre total de réponses données dans l'ensemble des catégories.

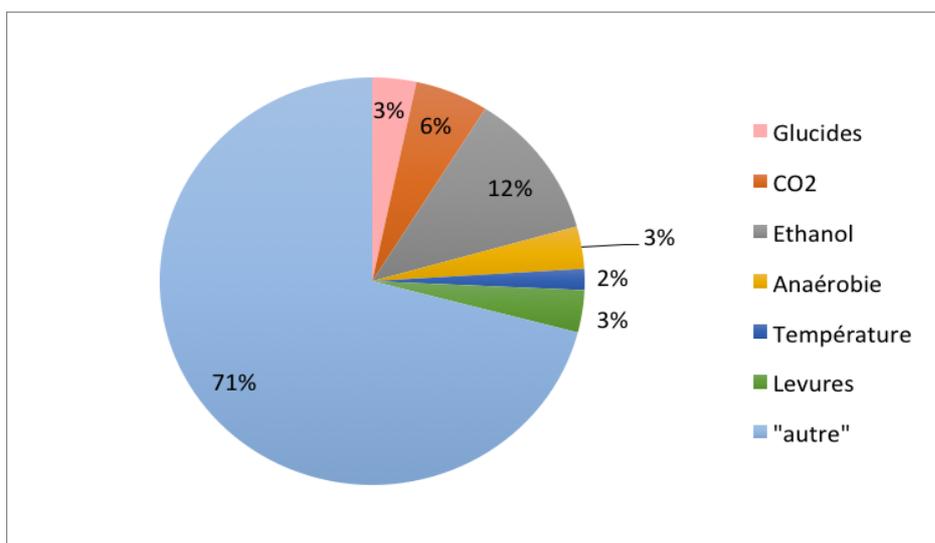


Figure 45 : répartition des réponses du pré test par catégorie (question 2)

On remarque tout d'abord la prédominance du nombre de réponses d'élèves classées dans la catégorie « autre ». Nous le développons dans le paragraphe suivant.

Parmi les réponses des élèves classées dans les catégories attendues par l'institution, le concept d'éthanol est majoritairement cité (12%) par les élèves par rapport aux autres catégories de réponse. En effet, le réactif et le second produit de la fermentation alcoolique (CO₂) sont peu représentés, respectivement 3% et 6%. Il en est de même pour les microorganismes à l'origine de ce métabolisme (3%) ainsi que la condition nécessaire à sa réalisation (3%). La condition optimale de la réalisation du métabolisme fermentaire (température) est également peu citée (2%).

Ainsi, les élèves associent la fermentation alcoolique principalement à la production d'éthanol qui est un des objectifs d'apprentissage dans cette situation. Néanmoins, les connaissances des élèves en chimie, ainsi que d'autres facteurs extérieurs à l'apprentissage scolaire, leur permettent d'associer la fermentation alcoolique à la molécule d'éthanol. En revanche, le réactif (glucide) ainsi que l'autre produit de la fermentation alcoolique (dioxyde de carbone), qui sont communs au métabolisme de la respiration cellulaire, sont peu cités. Nous pourrions penser, qu'il s'agit d'une méconnaissance de ce type de métabolisme nouveau, associée à la difficulté qu'ils éprouvent à définir un métabolisme de façon générale (cf. réponses Q1). Ainsi, les élèves favorisent des concepts spécifiques à la fermentation alcoolique, sans pour autant qu'on puisse l'interpréter comme étant le résultat d'une réelle distinction des types de métabolismes (respiration et fermentation notamment).

Ainsi, les représentations initiales des élèves sur le métabolisme de la fermentation alcoolique restent quelque peu éloignées de celles attendues en classe de terminale scientifique de spécialité SVT, et s'orientent davantage vers des représentations « autres » (71%).

- **Analyse des réponses des élèves classées dans la catégorie « autres »**

L'analyse des réponses « autres » nous permet d'identifier des concepts ou représentations erronées que les élèves associent à la fermentation alcoolique. Nous les mettrons en lien avec l'analyse épistémologique précédemment réalisée qui a mis en évidence certaines difficultés *a priori*.

Nous avons pour cela relevé les termes « autres » que ceux proposés *a priori* et attendus par l'institution. Nous proposons une représentation quantitative sous la forme d'un nuage de mots présenté ci-dessous.

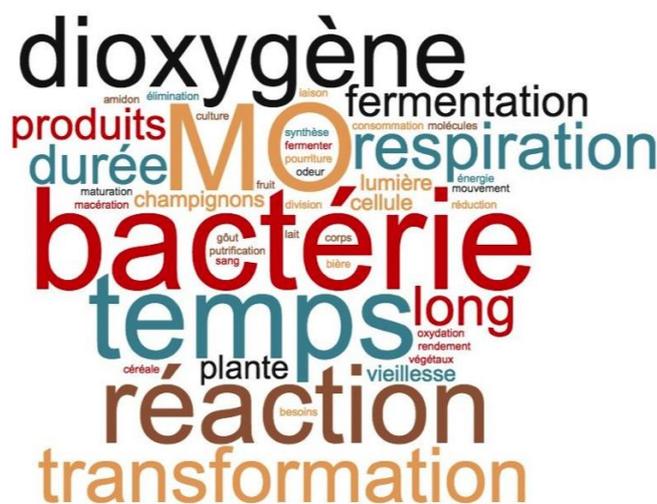


Figure 46 : représentation en nuage de mots des termes relevés dans la catégorie « autre » de la question 2 (MO pour microorganismes)

Nous remarquons l'importance du nombre de termes différents (42 termes différents relevés) appartenant à des catégories variées que ce soit dans les domaines de la chimie ou bien de la biologie.

Notons cependant la dominance des microorganismes comme la bactérie citée 13 fois. De plus, comme nous l'avons déjà mis en évidence dans l'analyse de la question Q1, nous remarquons une confusion entre le métabolisme de la fermentation alcoolique et celui de la respiration cellulaire, notamment avec des termes comme « dioxygène » (cité 9 fois) et « respiration » (cité 8 fois). Enfin, les concepts de « réaction » et de « transformation chimique » font également partie des conceptions initiales des élèves.

Afin de faciliter la lecture de ces représentations initiales relevées dans cette question, nous proposons ci-dessous (tableau 31) de les classer par sous catégories. Cette catégorisation permet de mettre en évidence certaines conceptions que nous avons mises en évidence dans l'analyse épistémologique du chapitre 3.

Nous proposons ainsi une première catégorisation par domaine d'étude, la chimie et la biologie et un domaine transversal relatif au temps.

Au sein de chaque catégorie, nous regroupons les termes par concept. Nous en avons défini trois pour le domaine de la biologie et deux pour celui de la chimie.

Tout d'abord la « cellule et son fonctionnement », concept qui reste selon les termes associés, très général, et orienté vers la structure de la cellule. Ces deux sous concepts révèlent peut-être une confusion entre la structure et la fonction de la cellule explicitée dans l'analyse de la question 1.

Nous proposons également une sous-catégorie relative au concept de « microorganismes ». Elle permet de mettre en évidence les difficultés des élèves à identifier les microorganismes impliqués dans la fermentation alcoolique comme l'ont montré les travaux de Songer & Mintzes (1994) et Schneeberger & Rodriguez (1999). Nous avons également relevé cette difficulté dans l'analyse de la question 1.

La dernière catégorie que nous proposons dans le domaine de la biologie regroupe les termes qui définissent la fermentation alcoolique comme étant un processus de vieillissement des cellules (Songer & Mintzes, 1994). Nous retrouvons ici l'idée de « temps », que nous proposons en concept transversal.

Pour le domaine de la chimie nous avons relevé des termes que nous regroupons sous les concepts de « réaction chimique » et de « molécules ». En effet, nous avons par exemple relevé des difficultés inhérentes à l'association du concept d'équation chimique statique à une réaction dynamique (Barlet & Plouin, 1994 ; Caretto & Viovy, 1994).

Domaine		Sous catégories
Biologie (68)	33	Les êtres vivants micro et macro organismes
	22	La cellule et son fonctionnement
	13	Transformation des aliments
Chimie (38)	27	Réactions chimiques
	11	Aspect moléculaire
Temps (21)	21	
Total « autres »	127	

Tableau 31 : répartition des concepts de la catégorie « autre » par domaine (question 2)

Ce tableau montre un total de 127 termes classés dans la catégorie « autre », soit en moyenne 2,26 mots par élève sur les 4 mots initialement demandés dans la question. Nous retrouvons majoritairement des termes classés selon des concepts de la biologie (68 termes cités), avec cependant 27 termes liés exclusivement au concept de réaction chimique.

La figure ci-dessous regroupe ainsi par concept les termes proposés par les élèves, que nous présentons sous la forme d'une trame conceptuelle. Nous utilisons les mêmes représentations que pour l'analyse des termes « autres » de la question 1.

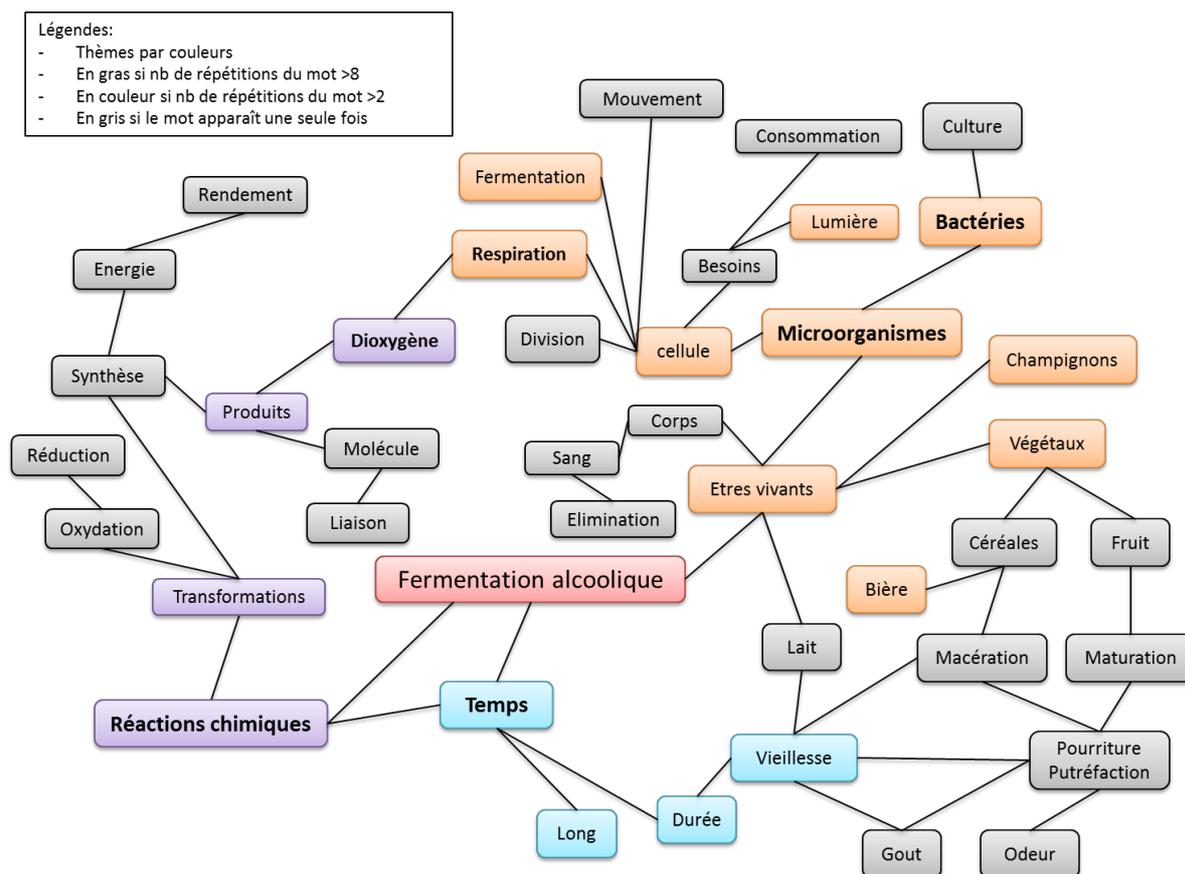


Figure 47 : représentation et classification des concepts de la catégorie « autre » (question 2)

Dans le domaine de la biologie (en orange), le terme dominant proposé par plus de 10 élèves, la bactérie, qu'on classe dans la sous-catégorie « microorganismes », laisse supposer une confusion entre plusieurs microorganismes, et notamment entre la levure et la bactérie. Songer & Mintzes (1994) mettait en évidence dans une étude, une conception selon laquelle les levures sont des bactéries à l'origine de la fermentation alcoolique.

Toujours dans le domaine de la biologie, nous mettons en avant dans ces résultats que les élèves définissent la fermentation alcoolique comme étant un processus long, qui prend du temps. On retrouve également cette idée de temps dans les termes de « vieillissement », « maturation », « pourriture ». Ces termes ainsi proposés reprennent les conceptions erronées relevées dans la même étude, montrant l'association entre la fermentation alcoolique et un processus de vieillissement voir de mort des levures.

De plus, comme nous l'avons déjà mis en évidence dans l'analyse de la question Q1, nous remarquons l'association entre la fermentation alcoolique et des termes spécifiques de la respiration cellulaire comme « dioxygène » et « respiration », ce qui confirme les études précédemment menées par Flores & al. (2003) qui mettaient en évidence que pour certains élèves, la fermentation est une respiration en anaérobie.

Cependant, rappelons que les élèves de terminale scientifique de ces classes ont étudié la respiration cellulaire en amont de cette situation sur la mise en évidence

de la fermentation alcoolique. Ainsi, la proposition de progression mise en avant dans les programmes de SVT (2012) pourrait être à l'origine de cette difficulté.

Nous pouvons également mettre en évidence une difficulté des élèves à situer le processus de fermentation alcoolique dans les différents niveaux d'échelle du vivant. En effet, nous retrouvons des termes relatifs à l'échelle de l'être vivant, l'organisme (le corps), l'organe, jusqu'à l'ultra structure cellulaire avec la mitochondrie. En effet, dans les programmes scolaires, les métabolismes s'étudient à différentes échelles d'étude selon les classes concernées, ce qui, d'une certaine façon, cloisonne les apprentissages.

A l'inverse, les idées de « réaction » et de « transformation » chimiques font parties des concepts initiaux des élèves mis en évidence, ce qui laisse entendre que l'association de concepts de chimie à cette situation de biologie n'est pas une difficulté pour certains élèves, qui ainsi « établissent des liens conceptuels entre les disciplines » (Fortin, 2004).

Remarquons également que les élèves donnent des termes attendus dans la définition du métabolisme demandée dans la question 1. Ceci laisse penser que le métabolisme chez des élèves de terminale scientifique de spécialité, malgré la récurrence de l'étude de ce concept dans les programmes de seconde et de terminale, est un type fonctionnement cellulaire dont le principe reste flou. C'est seulement lorsqu'on étudie un métabolisme en particulier qu'ils arrivent à rentrer dans le détail et à en dégager les caractéristiques communes.

- **Conclusion**

L'analyse des représentations des élèves lors du pré test confirme des difficultés identifiées *a priori* dans la littérature comme l'association de la fermentation alcoolique avec l'idée d'un processus de décomposition qui prend du temps. Ce processus implique des réactions chimiques qu'ils définissent comme étant des transformations de molécules. Nous avons également mis en évidence dans les termes proposés une confusion entre les métabolismes de respiration et fermentation cellulaires ce que nous avons précédemment relevé dans l'analyse de la question 1.

1.2.2 Résultats : représentations après la mise en situation (post test 1)

- **Répartition des élèves selon les « niveaux » de réponse**

Ci-dessous, nous présentons les résultats des réponses des élèves selon les catégories de réponses proposées *a priori* et attendues par l'institution, afin de les classer selon les groupes de niveau.

Les résultats obtenus répartissent les élèves dans les quatre groupes pré définis :

- 2/56 élèves se placent dans le groupe « débutant », c'est à dire qu'ils n'ont donné aucune réponse attendue par l'institution
- 16/56 élèves se placent dans le groupe « apprenti », c'est à dire qu'ils ont donné 1 réponse attendue par l'institution
- 11/56 élèves se placent dans le groupe « confirmé », c'est à dire qu'ils ont donné 2 ou 3 réponses attendues par l'institution

- 27/56 élèves se place dans le groupe « expert », c'est à dire qu'il a donné 4, 5 ou 6 réponses attendues par l'institution

La répartition des élèves dans ces groupes de niveaux est assez hétérogène. Néanmoins on retrouve la moitié des élèves (27/56) dans le groupe « expert » et seulement 2 élèves n'ont donnée aucune réponse classée dans les catégories proposées.

- **Analyse détaillée des réponses des élèves**

Voyons à présent dans le détail la répartition des réponses des élèves classées dans les six catégories de réponses attendues par l'institution, auxquelles s'ajoutent celles classées dans la catégorie « autre ».

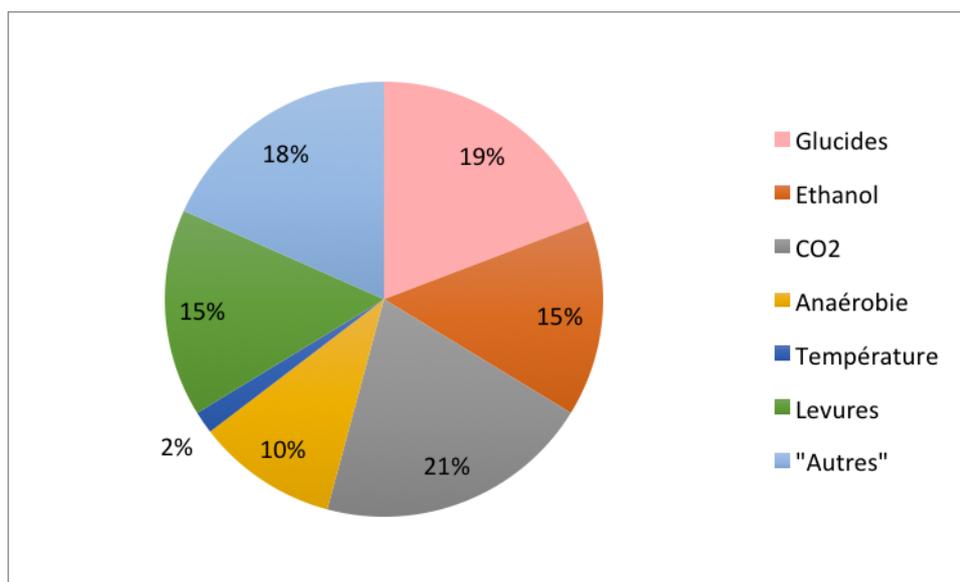


Figure 48 : répartition des réponses du post test par catégorie (question 2)

Nous remarquons une répartition assez homogène entre les catégories avec le réactif et le produit commun à la respiration cellulaire qui sont majoritairement cités (respectivement 19% et 21%). Le deuxième produit spécifique de la fermentation alcoolique est également cité (15% des réponses). Notons effectivement que la température est un concept très peu associé à la fermentation alcoolique alors qu'il s'agit d'une des conditions nécessaires à sa réalisation optimale (2%). A l'inverse le concept d'anaérobie qui est la condition nécessaire à la réalisation par les levures du métabolisme de la fermentation alcoolique est davantage cité (10%).

Enfin, les réponses classées dans la catégorie « autre » (18% des réponses) sont toujours bien présentes. Nous les développons dans le paragraphe suivant.

- **Analyse des réponses des élèves classées dans la catégorie « autres »**

L'analyse quantitative des termes classés « autres » est représentée par le nuage de mots ci-dessous.

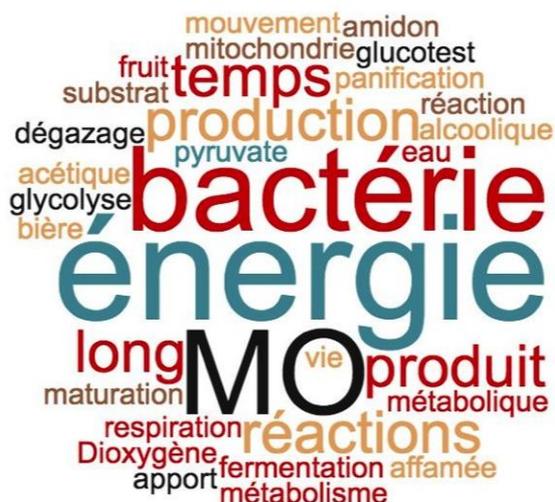


Figure 49 : représentation en nuage de mots des termes relevés dans la catégorie « autre » de la question 2 (MO pour microorganismes)

Nous remarquons que le terme « énergie » apparaît cinq fois dans cette catégorie. Nous avons fait le même constat lors de l'analyse du post test 1 de la question 1 sur la définition du métabolisme.

Cependant nous retrouvons toujours les microorganismes dont la bactérie (4).

Le tableau ci-dessous présente ainsi les résultats de l'analyse qualitative et quantitative des réponses « autres » proposées par les élèves. Nous utilisons les domaines et sous catégories proposées dans l'analyse des réponses « autres » des élèves du pré test.

Domaine		Catégories
Biologie (23)	9	Les êtres vivants micro et macro organismes
	10	La cellule et son fonctionnement
	4	Transformation des aliments
Chimie (17)	14	Réactions chimiques
	3	Aspect moléculaire
Temps (4)	4	
Total « autres »	44	

Tableau 32 : représentation des concepts de la catégorie « autre » par domaine (question 2)

Ce tableau nous montre un total de 44 termes classés dans la catégorie « autre », soit en moyenne 0,8 mots par élèves sur les 4 mots demandés dans la question. Nous retrouvons majoritairement des concepts du domaine de la biologie (23 termes cités) avec cependant 14 termes liés au concept de réaction chimique.

La figure 50 suivante, nous permet de visualiser l'apparition et la disparition des termes ainsi proposés par les élèves, et fera l'objet d'une analyse comparative (paragraphe 1.2.3).

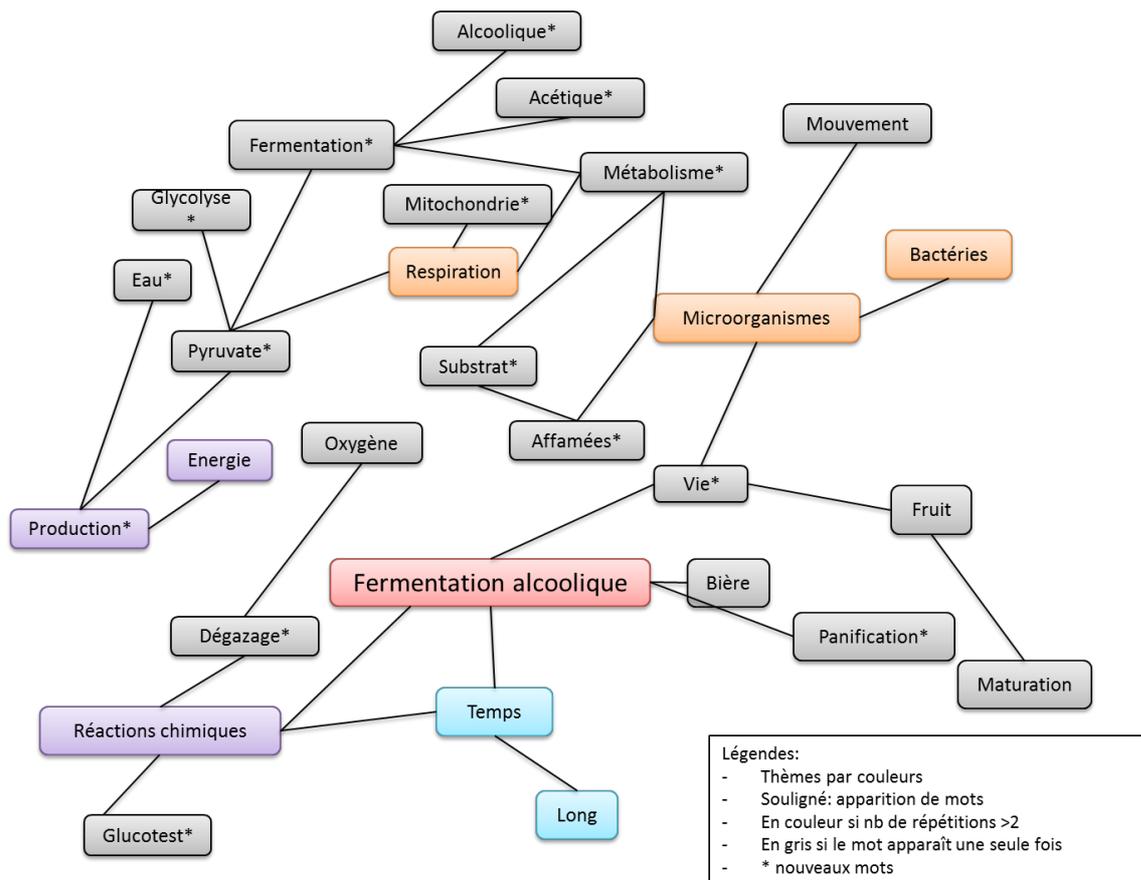


Figure 50 : représentation et classification des concepts de la catégorie « autre » (question 2)

Nous remarquons la présence de termes nouveaux repérés par une *, comme certaines molécules de la glycolyse, quelques types de fermentations, et le terme de dégazage. Cependant il s'agit de termes proposés par 1 ou 2 élèves ce qui reste peu représentatif.

L'apparition de termes spécifiques ou communs au métabolisme de la respiration cellulaire peut s'expliquer par la place de la situation proposée dans la progression des enseignants. En effet, le thème de la fermentation alcoolique fait suite à celui de la respiration cellulaire sur lequel certains élèves ont travaillé juste avant notre mise en situation.

Cela peut également s'expliquer en reprenant des travaux de recherche précédents sur le concept de respiration (Guyon, 1987), qui mettent en avant la place importante de ce concept chez les élèves. Un concept à l'origine de conceptions tenaces comme le fait que « l'oxygène est associé à la vie » et donc que la respiration « ...est un phénomène naturel, indispensable à la vie, l'oxygène sert à faire vivre les cellules ».

1.2.3 Analyse comparative des représentations des élèves entre le pré test et le post test 1

Dans cette partie nous allons comparer les résultats obtenus entre le pré test et le post test 1 pour le concept de fermentation alcoolique, afin de suivre l'évolution des représentations des élèves après la mise en situation.

- **Evolution de la répartition des élèves selon les « niveaux » de réponse**

Dans un premier temps, nous représentons par la figure 51 ci-dessous l'évolution de la répartition des élèves par « niveau de réponse ». Puis nous regardons l'évolution de la répartition de leur réponse par concept, et enfin nous suivons l'évolution des « autres » réponses proposées en dehors des catégories proposées *a priori*.

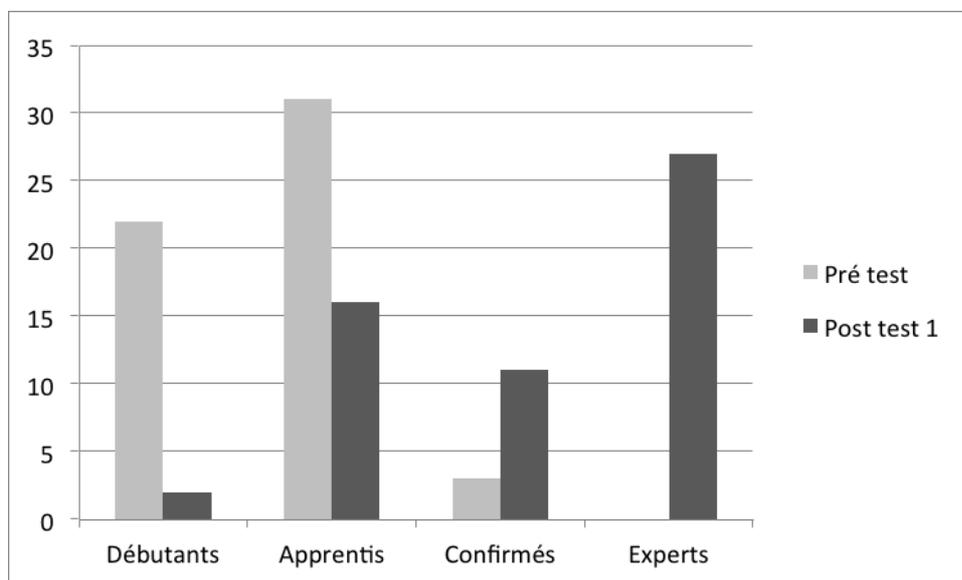


Figure 51 : évolution de la répartition des élèves par groupe de niveau entre le pré test et le post test 1 (question 2)

On remarque que les résultats diffèrent nettement entre le pré test et le post test 1. En effet, nous constatons que la répartition des élèves évolue vers les niveaux confirmé (+8), et expert (+27), de même qu'une diminution du nombre d'élèves des groupes débutant (-20) et apprenti (-15).

Ceci nous montre une progression dans les réponses données par les élèves vers les catégories proposées *a priori* qui reprennent les concepts attendus en classe de terminale S de spécialité sur la fermentation alcoolique.

Ainsi, on peut supposer que la situation proposée fait évoluer les concepts des élèves vers ceux attendus par l'institution.

L'analyse des concepts en jeu (conditions du milieu, réactifs et produits de la fermentation alcoolique, microorganismes impliqués) dans les réponses des élèves nous permet de suivre l'évolution des représentations entre les deux tests.

- **Evolution des réponses des élèves classées dans les catégories de réponses attendues par l'institution**

La figure 52 ci-dessous reprend l'évolution de la répartition des réponses des élèves par catégories *a priori* afin de voir quels sont les concepts qui évoluent après la mise en situation.

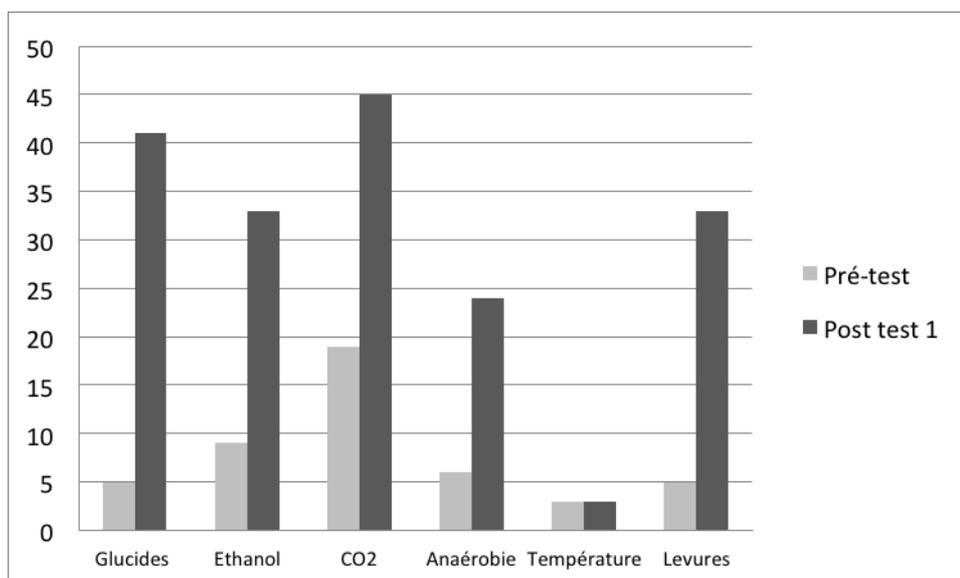


Figure 52 : évolution de la répartition des réponses des élèves pour chaque catégorie *a priori* entre le pré test et le post test 1 (question 2)

On remarque une augmentation pour chaque catégorie avec un maximal pour les « glucides » (+36 élèves) suivi des « levures » (+28 élèves) et une stabilité pour la « température » qui reste à 3 élèves.

Si on regarde dans le détail les réponses proposées par les élèves, on remarque de nouveaux concepts liés aux réactifs et aux produits de la fermentation alcoolique. De même le terme de levure est bien plus présent, ce qui laisserait supposer une diminution du terme « bactérie ou microorganisme » dans la catégorie « autre », ce qui correspondrait à une levée de la confusion entre les microorganismes qui amènerait les élèves à les spécifier.

Concernant l'analyse de la répartition des réponses dans les différentes catégories proposées *a priori*, nous notons que l'éthanol est majoritairement représenté à la fois dans le pré test, mais également dans le post test 1. Il s'agit là d'un concept stabilisé, à la fois par l'activité proposée, mais également par les connaissances personnelles de l'élève. Il s'agit d'un terme utilisé dans la vie courante, mais qui n'est pas, selon les résultats, à l'origine de conceptions erronées.

Par contre l'idée que la fermentation alcoolique se réalise dans des conditions spécifiques du milieu est peu présente. La nécessité d'une température du milieu adaptée, pour placer les organismes dans des conditions compatibles avec le vivant, est un concept très peu associé à la fermentation alcoolique alors qu'il s'agit d'une des conditions nécessaires à la réaction. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'il ne s'agit pas d'un objectif d'apprentissage, et que nous avons proposé un étayage fixe en donnant directement la valeur de la température du milieu. Ce constat rejoint les difficultés identifiées dans les travaux de Schneeberger & Rodriguez (1999), quant à la prise en compte par les élèves des contraintes liées à l'utilisation d'organismes vivants, ce dont, pour certains élèves, la levure ne fait pas partie. Peut-être aussi, est ce que l'association de concepts de biologie comme l'utilisation de la levure (vivant) et de concepts de chimie comme les facteurs qui influencent la vitesse de réaction, est aussi à l'origine de difficultés. La nouvelle contextualisation du concept de chimie semble être, selon Fortin (2004), à l'origine de difficultés.

Ainsi, la situation proposée dans la plateforme LabBook, semble favoriser l'acquisition de certains concepts attendus par l'institution, ce qui impliquerait une levée de certaines conceptions erronées.

- **Evolution des réponses des élèves classées dans la catégorie « autre »**

L'évolution des représentations des élèves vers les catégories proposées *a priori* implique ainsi une diminution des termes classés dans la catégorie « autre » (-83). En effet, on passe d'une fréquence de 2,26 mots en moyenne par élève à 0,8, avec néanmoins une répartition identique entre les domaines de la biologie et de la chimie.

La figure ci-dessous nous permet de visualiser la répartition des termes « autres » classés selon les 6 sous catégories définies, entre le pré test et le post test 1.

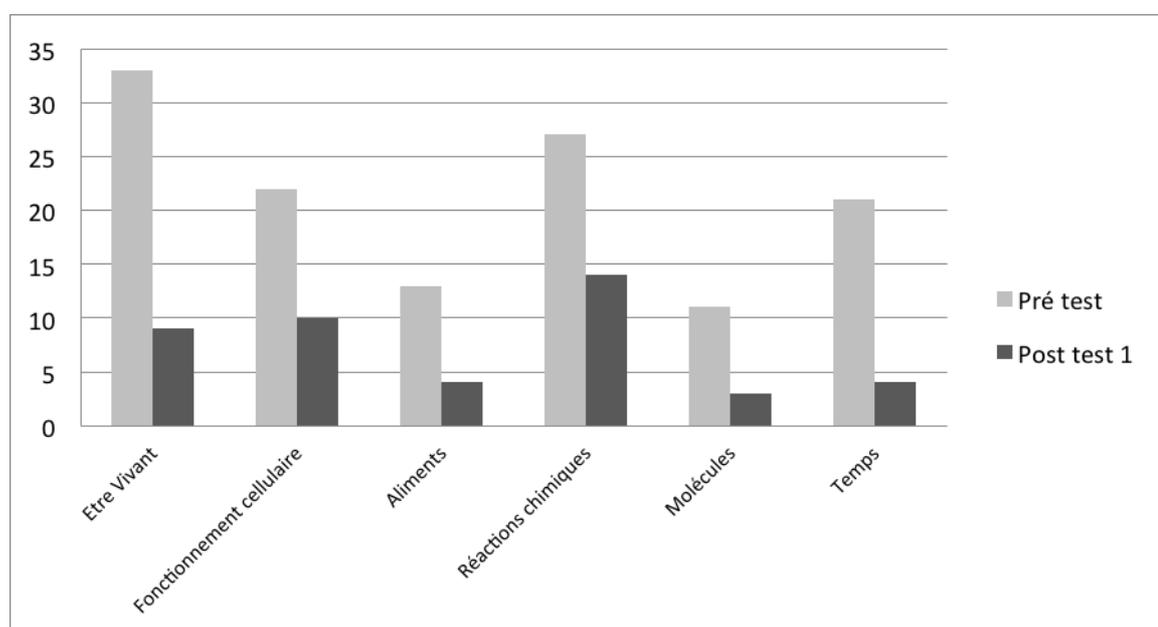


Figure 53 : répartition des termes « autre » par domaine et par catégorie

Même si la levure est davantage représentée, nous retrouvons toujours les termes de « microorganismes » dont la « bactérie ». La confusion entre les différents microorganismes semble être une difficulté tenace. Néanmoins, le document ressource 2, met en avant différents microorganismes associés à un type de fermentation. Il est donc difficile d'interpréter ces réponses car la situation proposée a pu, à travers ce document, induire ou conforter cette erreur.

De plus, nous avons mis en évidence l'apparition de nouveaux termes. Pour certains, ils font référence aux réactions de la respiration cellulaire. Cela peut s'expliquer à la fois par le cours mené en parallèle sur la respiration cellulaire pour trois des cinq classes.

Pour d'autres termes, comme celui de « dégazage », leur apparition peut s'expliquer par l'activité de conception de protocole qui présente notamment dans les documents ressources, les différents métabolismes fermentaires associés à des utilisations industrielles de la vie courante comme la panification. Cette idée est mise en évidence dans les travaux de Songer & Mintzes (1994), dans lesquels les

élèves expliquent la levée de la pâte à pain par le dégazage de dioxyde de carbone des microorganismes impliqués.

Concernant le domaine de la chimie, le temps de réaction, est toujours présent dans les termes « autre », ce qui s'explique peut-être par le fait que les activités de mise en évidence des métabolismes tels que la photosynthèse et la respiration cellulaire, sont des activités qui prennent du temps, pendant lequel les élèves sont souvent passifs dans l'attente de leurs résultats.

Enfin nous notons la disparition de certains termes appartenant à des sous catégories comme la transformation des aliments (putréfaction, odeur, goût...), ou bien certains aspects généraux de la réaction chimique (oxydation, réduction synthèse...).

- **Conclusion**

L'ensemble de ces résultats concernant le concept de fermentation alcoolique nous permet de conclure sur les points suivants. La situation que nous proposons de conception expérimentale sur la plateforme informatique fait évoluer les représentations des élèves sur la fermentation alcoolique vers celles attendues par l'institution.

Néanmoins certaines conceptions erronées identifiées dans la littérature sont présentes de façon globale et semblent être tenaces comme la confusion entre la fermentation et la respiration, la confusion entre les différents microorganismes et leur appartenance au vivant.

1.3. Conclusions

L'analyse des questions 1 et 2 nous a permis d'identifier les représentations initiales des élèves sur les concepts de métabolisme et de fermentation alcoolique.

Nous avons fait ainsi l'hypothèse que nous allions dégager certaines difficultés à l'origine de conceptions erronées dans l'analyse des questions 1 et 2 des tests, difficultés que nous avons identifiées *a priori* dans l'analyse épistémologique précédemment réalisée.

De plus, nous avons fait l'hypothèse que la situation proposée de conception expérimentale sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique ferait évoluer les représentations initiales des élèves vers celles attendues par l'institution.

Concernant la question 1, identifiant les représentations des élèves sur le concept de métabolisme, nous avons mis en évidence des représentations qui évoluent peu entre les deux tests. En effet, nous avons montré :

- ✓ des difficultés à dégager des caractéristiques communes aux différents métabolismes étudiés et à proposer ainsi une définition qui se rapproche de celle attendue par l'institution en classe de terminale scientifique de spécialité.
- ✓ une confusion entre les différents métabolismes cellulaires (Flores & al. 2003)
- ✓ des difficultés à distinguer la structure et les fonctions cellulaires, ce qui a été mis en évidence dans de précédents travaux (Songer & Mintzes, 1994)

La situation de conception expérimentale proposée dans LabBook semble ne pas aider les élèves à définir de façon générale le concept de métabolisme cellulaire, car leurs représentations n'évoluent pas vers celles attendues par l'institution.

Concernant la question 2, identifiant les représentations des élèves sur le concept de fermentation alcoolique, nous avons montré une évolution des réponses des élèves vers celles attendues par l'institution. Ainsi, l'activité de conception expérimentale sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique a permis de faire évoluer certaines représentations chez les élèves.

Cependant, certaines difficultés identifiées dans la littérature sont présentes et semblent pour certaines tenaces comme la confusion entre les métabolismes de la fermentation alcoolique et celui de la respiration cellulaire identifiées dans les travaux de Flores & al., (2003), Songer & Mintzes (1994), Guyon (1987), et Schneeberger & Rodriguez (1999). De même on a relevé une difficulté liée à la confusion entre les différents microorganismes et leur appartenance au vivant Songer & Mintzes (1994), Guyon (1987), et Schneeberger & Rodriguez (1999).

2. Evolution des apprentissages

Dans cette partie, nous présentons les résultats de l'analyse des scores des pré tests et des post tests 1 selon le plan expérimental présenté chapitre 8, afin de répondre à la question de recherche suivante :

- * Est-ce que les situations de conception expérimentale incluant différentes propositions d'étayages, favorisent les apprentissages des élèves ?

De précédentes études (Coquidé, 2000 ; Millar, 2004) ont montré l'impact de l'activité de conception de protocole sur les apprentissages. En effet, cette activité oblige les élèves à avoir une réflexion approfondie sur l'expérience et les connaissances qu'elle mobilise (Karelina & Etkina, 2007), ce qui favorise la compréhension des concepts en jeu (Arce & Betancourt, 1997), des procédures et méthodes expérimentales (Séré, 2002 ; Etkina & al., 2010).

Dans la situation que nous proposons, nous allons ainsi tester l'impact des trois niveaux de pré structuration de protocole proposés (N1, N2 et N3), sur les apprentissages. Nous faisons l'hypothèse que les situations favorisent les apprentissages, notamment celles qui proposent des pré structurations d'action (N2 et N3) car elles incitent les élèves à choisir des valeurs de paramètres et donc à réfléchir davantage pour mobiliser des connaissances ou chercher de l'information favorisant l'acquisition de connaissances.

Ainsi, nous recherchons une évolution des apprentissages entre le pré test et le post test 1 avec une augmentation du score suite à l'activité de conception expérimentale proposée par la plateforme.

Nous cherchons également une stabilité des apprentissages sur plusieurs semaines (entre le post test 1 et le post test 2), voire une amélioration. En effet, le post test 2 est à la fin du processus de conception expérimentale, qui inclut les rétroactions de l'expérience et du professeur (Girault & al., 2012).

2.1. Résultats : scores globaux

Ces résultats globalisent les types de protocoles N1, N2 et N3. Rappelons que les scores ont été calculés pour les 56 élèves présents à toutes les phases du plan expérimental. De plus, le score maximal du test est de 27, ce qui correspond à l'addition de l'ensemble des points pour chacune des questions selon la méthodologie élaborée.

2.1.1 Résultats : scores du pré test

La moyenne des scores pour l'ensemble des 56 élèves est de 9,16 sur 27 points (écart type de 3,25).

Nous présentons dans le tableau 33 ci-dessous, les résultats par question. Pour chaque question, nous avons ramené le barème sur 1 point afin de faciliter la lecture et la comparaison des résultats.

Questions	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Moyenne élève pré test (/1)	0,2	0,13	0,46	0,71	0,37	0,87	0,69	0,36	0,45	0,82	0,23	0,2

Tableau 33 : moyenne des scores du pré test par question

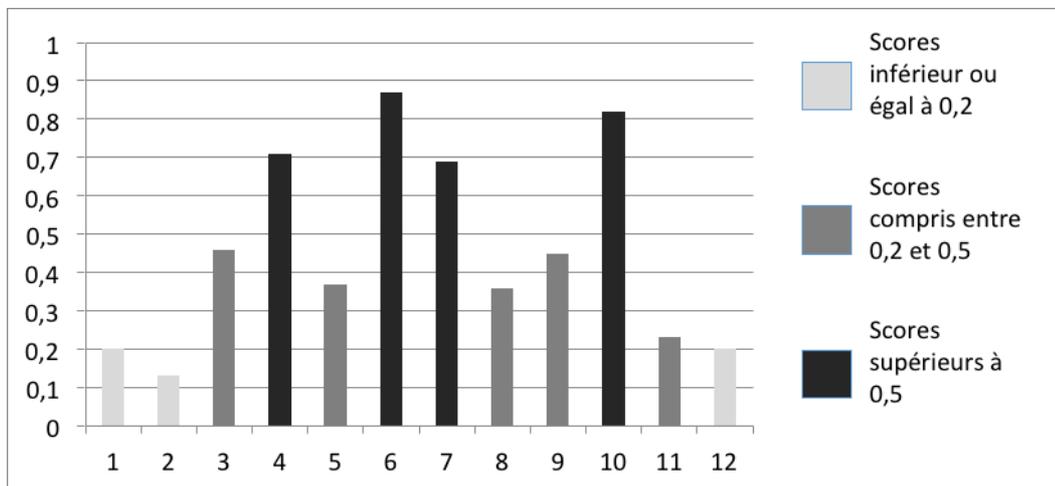


Figure 54 : moyenne des scores du pré test par question

Nous pouvons classer les scores en trois groupes :

- Nous remarquons que les élèves ont des scores inférieurs ou égaux à 0,2 pour les questions 1 (définir le métabolisme), 2 (définir la fermentation alcoolique) et 12 (anticiper le nombre de mesure à réaliser), avec des moyennes respectivement à 0,2, 0,13 et 0,2 (/1). Cependant, pour les questions 1 et 2, il s'agit de questions ouvertes qui ont été analysées dans le paragraphe 1 de ce chapitre. Pour avoir le nombre de points maximal, ces deux questions demandent six réponses, ce qui peut expliquer les scores faibles à ces questions. Les autres questions du test n'excèdent pas 3 réponses attendues.
- Puis on note des scores plus importants, supérieurs à 0,5, pour les questions 4 (fermentation alcoolique et organisme vivant), 6 et 7 (réaction chimique) et 10 (équation de réaction) avec des scores compris entre 0,69 et 0,87.
- Entre les deux, se trouvent des questions relatives au concept de métabolisme fermentaire (questions 5, 8 et 11), ou à des techniques de laboratoire (questions 3 et 9) pour lesquelles les scores sont compris entre 0,2 et 0,5.

Reprenons en détail les différentes questions concernées (annexe 4).

La question 4 porte sur la nécessité d'utiliser un organisme vivant pour réaliser la fermentation alcoolique. Ces résultats sont à mettre en lien avec ceux obtenus dans l'analyse des représentations des élèves sur la fermentation alcoolique (paragraphe 1). En effet, l'analyse des représentations met en évidence que les élèves associent la fermentation alcoolique à un processus de décomposition du vivant plutôt que d'activité du vivant. Nous avons effectivement relevé cette éventuelle difficulté dans l'analyse des conceptions des élèves (chapitre 3), dans

laquelle nous avons repris les travaux de Songer & Mintzes (1994). Ces derniers mettent en évidence l'association de concepts de décomposition, de putréfaction à la fermentation alcoolique.

Or, la réussite à la question 4 nous indique le contraire car les élèves choisissent la réponse correcte qui associe des organismes vivants à la réalisation de la fermentation alcoolique. Ceci nous laisse envisager des scores équivalents, voir encore meilleurs au post test 1, ce qui permettrait ainsi de confirmer la stabilité de ce concept pour ces élèves.

Les questions 6 et 7 reprennent des concepts de chimie et notamment celui de réaction chimique. Plus précisément elles reprennent l'idée de variation de vitesse de réaction sous l'influence de la température, mais également d'initiation de la réaction. Les scores des élèves à ces questions laissent supposer que ces concepts sont acquis, et donc qu'ils ne sont et seront pas à l'origine de difficultés dans l'élaboration du protocole. Nous avons en effet identifié des difficultés dans l'analyse épistémologique à travers les travaux de Carretto & Viovy (1994) et Barlet & Plouin (1994). Ces derniers mettent en évidence des difficultés liées à l'initiation de la réaction chimique qui peut ou pas être spontanée, ainsi que celles relatives aux concepts de réactions dynamiques et de vitesse de réaction.

Enfin, la question 10, qui est également un concept de chimie présente l'équation de réaction. Les scores nous permettent de conclure sur le fait que le concept d'équation est bien maîtrisé. Nous ne retrouvons pas les difficultés identifiées *a priori* dans l'analyse épistémologique concernant, le cloisonnement des savoirs et les difficultés de les contextualiser dans des disciplines différentes (Fortin, 1994), et les difficultés relatives au concept d'équation de réaction mis en évidence par Barlet & Plouin (1994). Ceci peut s'expliquer par l'apprentissage de ces notions en chimie qui sont réinvesties jusqu'en classe de terminale scientifique.

Les concepts liés aux conditions nécessaires à la fermentation alcoolique repris dans les questions 5, 8 et 11, sont à l'origine de difficultés. Il s'agit cependant de concepts nouveaux, qui font partie des objectifs d'apprentissage. Il sera donc intéressant de comparer ces résultats à ceux du post test 1.

Concernant l'analyse des réponses de la question 5, nous pouvons dès à présent supposer des confusions entre les milieux anaérobie et aérobie, difficultés qui ont été mises en évidence dans les travaux de Songer & Mintzes (1994) et de Flores & al. (2003). En effet, une conception erronée relevée consiste à associer la fermentation alcoolique à une respiration anaérobie réalisée par des organismes unicellulaires. Cette confusion respiration/fermentation est également mise en évidence dans l'analyse des représentations des questions 1 et 2 dans le paragraphe 1 de ce chapitre.

En ce qui concerne l'analyse des réponses de la question 8, nous pouvons émettre une hypothèse à partir de l'analyse des travaux de Jordan & al. (2011) sur l'influence du matériel et de la verrerie. En effet, nous expliquons le choix incorrect de la réponse d par les élèves, par une possible influence de la verrerie couramment utilisée (tube à essai) et proposée dans la réponse. La réponse b, qui est correcte, montre des levures en anaérobie stricte mais contenues dans un ballon, verrerie peu utilisée mais disponible dans les classes testées. En effet la nécessité de mettre les suspensions au bain marie, favorise l'utilisation de tube à

essai. Nous comparerons ces résultats avec ceux du post test 1 et 2 afin de confirmer ou non cette hypothèse. Cela met également en évidence une autre difficulté en lien avec la matérialité des gaz, car pour certains élèves les gaz se dissolvent qu'à partir du moment où ils sont en action (Séré, 1986 ; Stavy, 1988). En effet, dans la question 8 le tube à essai est fermé si bien que, l'air présent dans le tube n'est ni visible ni en mouvement, ainsi certains élèves n'envisagent pas le phénomène de dissolution des gaz présents dans la suspension de levures. Pour eux, la suspension est en anaérobiose à partir du moment où le tube est fermé, c'est à dire qu'il n'y a pas d'apport d'air nouveau.

La question 11 reprend exactement les mêmes conditions nécessaires à la fermentation sauf qu'elles sont présentées sous la forme d'un texte et fait appel également au concept de volume. Cette représentation non visuelle, utilisant une représentation d'une autre nature qui fait appel à des notions, certes maîtrisées à ce niveau, semble être un obstacle. Nous verrons si la pré structuration proposée fait évoluer le score des élèves sur cette question, puisque nous leur demandons de choisir le volume de suspension, pour lequel nous avons mis en place un étayage fixe (document ressource 1).

Les questions 3 et 9 demandent la maîtrise de techniques de laboratoires. La question 3 implique des techniques connues (mise en évidence du CO₂ avec une sonde à CO₂ ou l'eau de chaux), contrairement à la question 9 qui fait appel à une nouvelle technique de mise en évidence de l'éthanol avec l'utilisation de l'alcootest et/ou de la sonde à éthanol. Nous pensons que les élèves peuvent connaître cette nouvelle technique car il s'agit d'une utilisation détournée d'un objet (l'alcootest) habituellement utilisé dans un autre contexte. Cependant l'utilisation de ce test dans une solution peut être à l'origine de difficultés, car il faut pour cela maîtriser le concept de gaz dissous dans une solution. En effet, contrairement à l'usage habituel de ce test, dans la situation proposée, nous testons la présence d'alcool produit par les levures en suspension. Nous proposons dans le document ressource 4 (annexe 3) un étayage pour cette technique de laboratoire, ainsi nous nous attendons à voir une amélioration du score concernant cette question dans le post test 1.

2.1.2 Résultats : scores du post test 1

La moyenne des scores pour l'ensemble des 56 élèves est de 15,3 sur 27 points (écart type de 2,63).

Nous présentons dans le tableau 34 ci-dessous, les résultats par question. Pour chaque question, nous avons ramené le barème sur 1 point afin de faciliter la lecture et la comparaison des résultats.

Questions	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Moyenne par élève Post test (1)	0,31	0,52	0,53	0,86	0,79	0,89	0,98	0,23	0,85	0,95	0,49	0,27

Tableau 34 : moyenne des scores du post test 1 par question

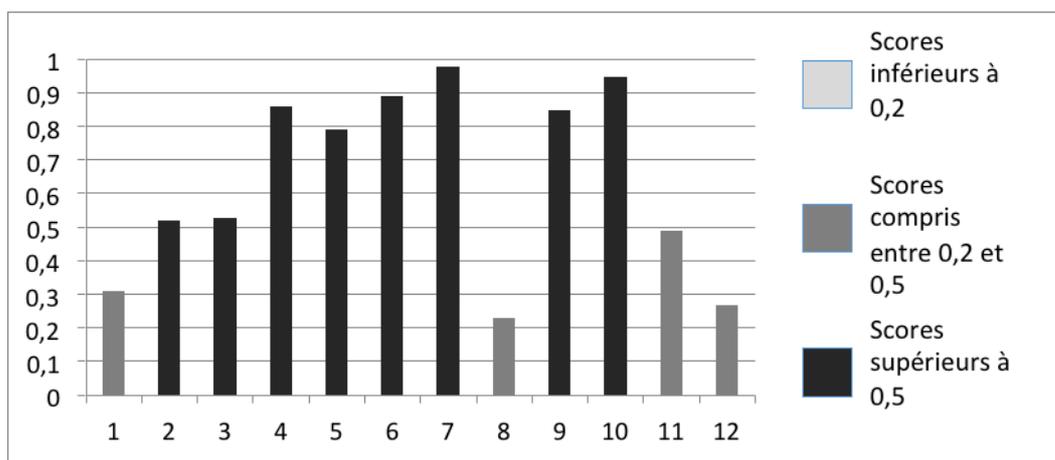


Figure 55 : moyenne des scores du post test 1 par question

Si nous reprenons les trois groupes de scores proposés dans le pré test, nous constatons que :

- aucune question n'a de score en dessous de 0,2.
- quatre questions ont des scores compris entre 0,2 et 0,5. Il s'agit des questions 1, 8, 11 et 12, respectivement sur les concepts de métabolisme, de la nécessité d'un milieu en anaérobie (pour les questions 8 et 11), et d'anticipation du nombre de mesure à réaliser.
- huit questions ont des scores supérieurs à 0,5 (questions 2 à 7 et 9, 10).

2.1.3 Evolution des scores entre le pré test et le post test 1

Dans ce paragraphe nous allons analyser l'évolution des scores du post test 1 par rapport au pré test. Nous regarderons ainsi l'impact de la situation sur les apprentissages de façon globale mais aussi par question.

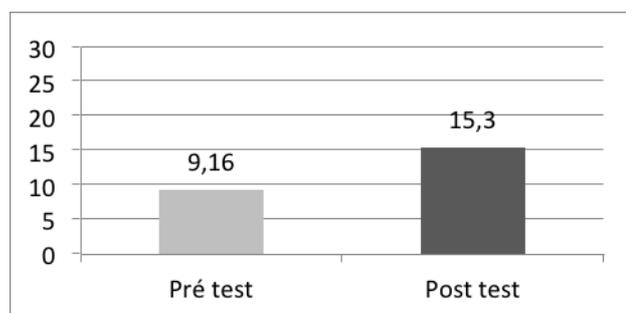


Figure 56 : moyenne globale des scores entre le pré test et le post test 1

Nous remarquons une augmentation des scores entre le pré test et le post test 1, avec une moyenne qui augmente de 6 points sur 27 au total. La moyenne générale reste cependant assez basse, même au post test 1 avec un score moyen de 15,3.

Les scores augmentent entre le pré test et le post test 1 de façon significative, néanmoins, le niveau initial des élèves relativement faible laisse une marge de progression très importante. En effet, de précédentes études ont montré que les apprentissages dépendent du niveau initial. Plus le niveau initial est bas plus il est « aisé » de gagner des points.

Ainsi, globalement l'activité de conception expérimentale sur la plateforme LabBook favorise les apprentissages.

La figure 57 ci-dessous présente les résultats de la moyenne des scores par questions. Le barème de chaque question a été ramené sur un point.

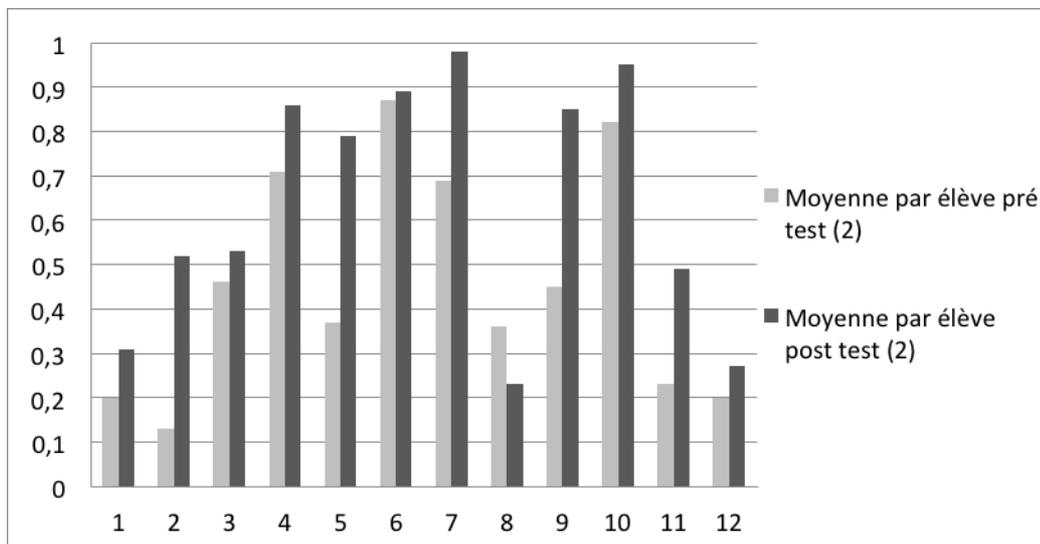


Figure 57 : moyenne des scores entre le pré test et le post test 1 par question

Les scores évoluent à la hausse pour l'ensemble des questions sauf la question 8 qui perd 0,13 points. Les plus fortes hausses reviennent aux questions 2 et 5 avec respectivement +0,39 et +0,42 point.

(Les questions 1 et 2 ont été analysées dans le paragraphe 1.)

Lorsqu'on regarde l'évolution des apprentissages par questions, on peut classer les scores des réponses aux tests en quatre groupes :

- Augmentation relativement importante entre pré et post test 1 (questions 2, 5, 7, 9 et 11)
- Faible augmentation entre pré et post test 1, pour des connaissances qui sont déjà assez bien maîtrisées au pré-test 1 (questions 4, 6 et 10)
- Faible augmentation entre pré et post test 1, pour des connaissances qui ne sont pas maîtrisées au pré-test (questions 1, 3 et 12).
- Diminution entre pré et post-test 1 (question 8).

En analysant les scores des questions dans le détail, nous avons mis en évidence des concepts stabilisés, en chimie notamment avec des scores initiaux élevés et qui se maintiennent (questions, 4, 6, 7 et 10). Les élèves maîtrisent l'association d'organismes vivants à la fermentation alcoolique (L'analyse de la question 2 nous permet de confirmer cette remarque), le concept de réaction chimique dynamique, et enfin d'équation chimique. Ainsi, nous faisons l'hypothèse que dans les protocoles des élèves, conçus sur la plateforme LabBook, les élèves réussiront les tâches en lien avec ces concepts.

D'autres concepts ont des scores moins élevés comme les questions relatives à la mise en anaérobiose, la mise en évidence de molécules, ou bien celles liées à la méthode expérimentale. Nous avons même des scores qui évoluent à l'inverse pour des questions qui portent sur un même concept. En effet, celui de mise en anaérobiose est abordé de deux manières. Les questions 8 et 11 détaillent la technique de mise en anaérobiose alors que la 5 demande de formuler le concept

d'anaérobie. Nous détaillerons les résultats de ces questions dans le paragraphe 3, et nous identifierons les erreurs relatives dans l'analyse de l'étape 1 des protocoles des élèves qui reprend ce concept d'anaérobie.

Ainsi, nous observons une augmentation des scores (sauf pour une question) entre le pré test et le post test 1, ce qui laisse supposer que la situation de conception expérimentale incluant la conception de protocole sur la plateforme LabBook favorise les apprentissages.

Les concepts de chimie semblent maîtrisés, à l'inverse, ceux relatifs aux conditions nécessaires à la réalisation par les levures de fermentation alcoolique semblent à l'origine de difficultés.

2.1.4 Résultats : Evolution des scores entre le pré test et les deux post tests

Malgré un nombre restreint de post tests 2 recueilli (14), nous allons présenter les résultats de l'évolution des scores entre les trois tests qui ont été réalisés par une même classe. Nous avons fait l'hypothèse d'une stabilité des apprentissages entre les deux post tests.

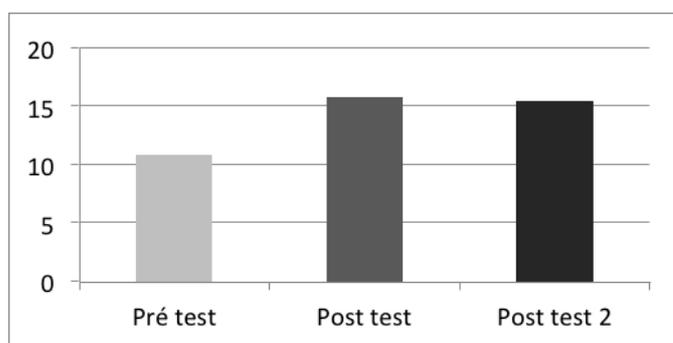


Figure 58 : moyenne globale des scores entre le pré test, le post test 1 et le post test 2 pour les 14 élèves concernés

Nous avons montré une évolution des apprentissages entre pré test et le post test 1 avec une augmentation du score suite à l'activité de conception expérimentale proposée par la plateforme. Les résultats sont similaires avec la sélection de 14 élèves : la moyenne du pré test est à 10,8, le post test 1 à 15,78.

Nous voulons savoir s'il y a une stabilité des apprentissages sur plusieurs semaines (entre le post test 1 et le post test 2), et surtout une amélioration des apprentissages du fait des rétroactions de l'expérience et du professeur (Girault & al., 2012).

Nous remarquons une très légère diminution entre le post test 1 et le post test 2 (-0,35 points) : la moyenne du post test 1 est à 15,78 et le post test 2 à 15,42. Nous pouvons l'interpréter par une stabilisation des apprentissages.

Regardons à présent en détail (par question) l'évolution des apprentissages entre ces trois tests (les barèmes sont ramenés à 1).

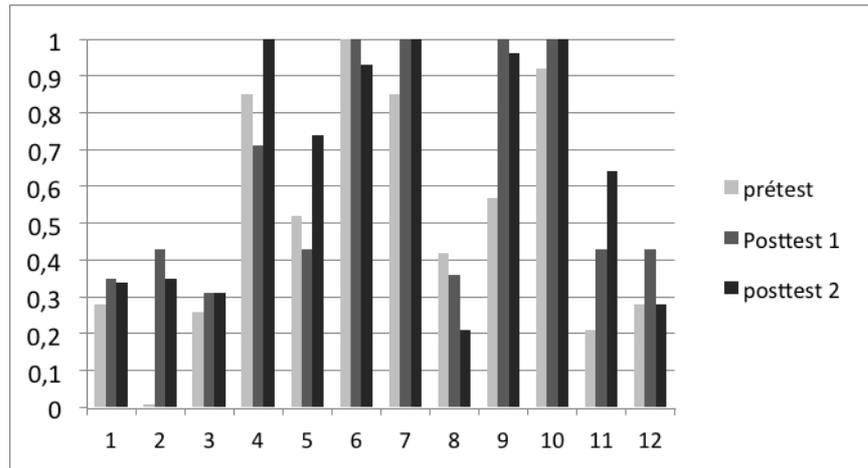


Figure 59 : moyenne des scores par question, entre le pré test, le post test 1 et le post test 2 (14 élèves concernés)

Les évolutions qui se dégagent sont les suivantes :

On remarque une augmentation des scores entre le pré test et le post test 1 pour la plupart des questions, avec un profil similaire à l'ensemble des classes. Cependant nous observons une diminution entre le pré test et le post test 1 pour les questions 4 et 5, en plus de la question 8 qui était déjà concernée pour l'ensemble des élèves.

Les scores entre le post test 1 et 2 ont tendance à diminuer légèrement ou être stables pour la plupart des questions sauf pour les questions 4, 5 et 11 qui ont un score supérieur au post test 2. Nous pouvons supposer que le temps de réflexion, et la manipulation ont eu un effet positif. Alors que pour les questions 8 et 12 qui ont des scores qui diminuent entre les post tests 1 et 2, on pourrait supposer que les concepts associés reposent sur la mémoire à court terme. L'analyse détaillée de la question 8 dans le paragraphe 2.2 nous permettra d'affiner ces remarques.

Enfin, notons que le score de la question 11 (technique de mise en anaérobie) se remarque par une augmentation à la fois entre le pré test et le post test 1 (+ 0,22) et le post test 1 et le post test 2 (+ 0,21). Nous analyserons en détail cette question dans le paragraphe 2.2, car pour la question 8 qui aborde le même concept, nous avons un score qui diminue de -0,06 entre le pré test et le post test 1 et - 0,15 entre les deux post tests.

Les scores du post test 2 différé ont tendance à se stabiliser voir même à augmenter pour certaines questions, ce qui laisse supposer un effet bénéfique des rétroactions apportées par la manipulation sur certains concepts que la situation dans LabBook ne semble pas avoir suffisamment pris en charge.

2.2. Résultats : scores pour le concept de mise en anaérobie

Dans cette partie, nous souhaitons détailler les réponses aux questions 8 et 11 et en faire une analyse conjointe suite à l'évolution inattendue et particulière de leurs scores dans le paragraphe 2.1. Nous utilisons les données des 56 tests recueillis.

Ces deux questions mettent en avant le concept de mise en anaérobie qui nécessite deux actions : « fermer le contenant », et « prélever un volume de suspension de levure » adéquat afin de limiter les apports en dioxygène.

Les graphiques ci-dessous représentent le nombre de réponses pour chaque type de réponse identifié pour les questions 8 et 11, entre le pré test et le post test 1 (annexe 4) pour tous les élèves. En effet, la mise en anaérobiose se traduit par la pose d'un bouchon sur le contenant et le choix d'un volume maximal de solution à déposer dans le contenant. Le type de réponse « expert » correspond à l'ensemble de ces deux actions. Les « erreurs » représentent les autres choix non valides (réponses b et d).

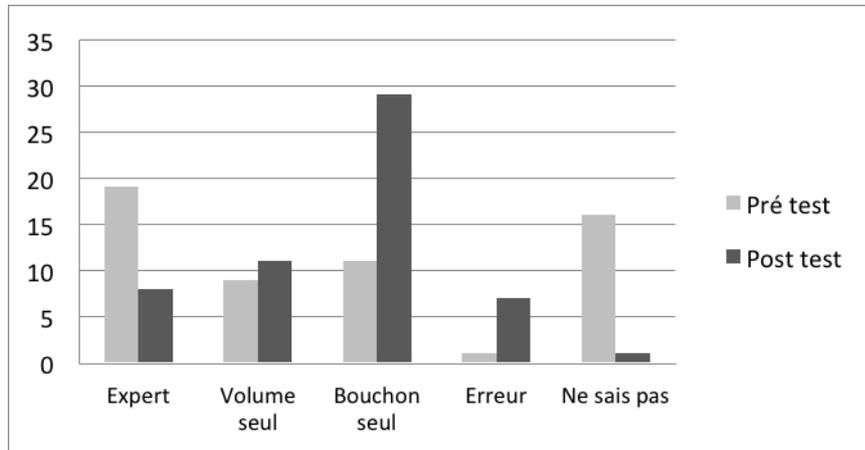


Figure 60 : répartition des réponses des 56 élèves selon les choix possibles pour le pré test et le post test 1 (question 8)

On constate, pour la question 8, qui présente différents contenants, une diminution du nombre de réponses expertes (réponse b) entre le pré test et le post test 1 (-11), et une diminution du nombre de réponses « je ne sais pas » (-15), qui se reportent sur les autres réponses possibles. En effet, on remarque une nette augmentation du nombre de réponses « bouchon seul » (+18), c'est à dire que la mise en anaérobiose dans ce cas se réalise exclusivement par la pose d'un bouchon, les élèves ne prennent ainsi pas en compte le volume d'air présent dans le contenant qui est, rappelons-le, un tube à essai.

Le nombre de réponses « volume seul », c'est à dire qui correspond à un volume de suspension de levure maximal dans le contenant qui n'est pas fermé, augmente légèrement (+2).

Nous pouvons ainsi supposer que la situation proposée dans la plateforme informatique aide les élèves à choisir un des éléments de la technique de mise en anaérobiose en plaçant un bouchon sur le contenant. Mais elle ne semble pas les aider à considérer un autre élément de la technique nécessaire à une mise en anaérobiose stricte qui est de choisir un volume de suspension adéquat pour limiter les apports en dioxygène. Ainsi, nous nous demandons si notre choix du contenant (tube à essai) de la réponse d également utilisé dans la situation, induit les élèves en erreur sur le choix de la réponse correcte. Pour cela nous devons comparer ces réponses avec celles de la question 11, qui présente la technique de mise en anaérobiose sous la forme d'un texte et de propositions d'actions à accomplir.

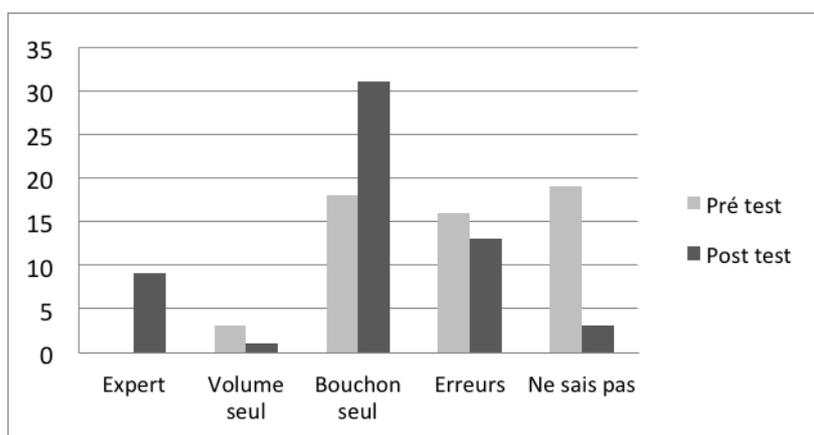


Figure 61 : répartition des réponses des 56 élèves selon les choix possibles pour le pré test et le post test 1 (question 11)

On remarque pour la question 11, une évolution similaire à la question 8 en ce qui concerne l'évolution du nombre de réponses en faveur de la pose du bouchon uniquement (+12). On constate également une diminution des réponses « je ne sais pas » et des « erreurs » ce qui laisse supposer un report de ces réponses vers la catégorie précédemment citée et les réponses « expertes » (+9). Notons enfin, la diminution (-2) du nombre de réponses impliquant uniquement l'ajout de suspension de volume nécessaire à la mise en route de la fermentation alcoolique dans ce cas.

Cependant nous avons constaté dans les résultats du post test 2, une évolution disjointe des scores entre les questions 8 et 11.

Ainsi, dans les graphiques ci-dessous nous proposons de regarder en détail la répartition des réponses aux questions 8 et 11 pour les 14 élèves qui ont aussi fait le post test 2.

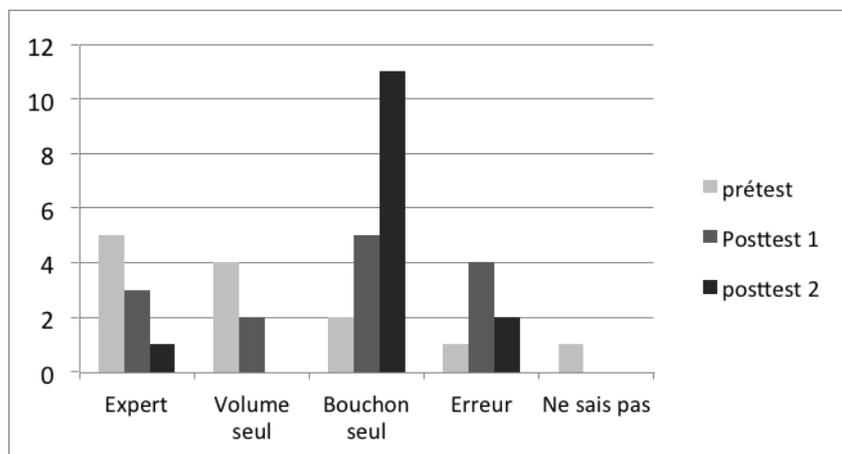


Figure 62 : répartition des réponses des élèves selon les choix possibles pour le pré test, le post test 1 et le post test 2 (effectif réduit de 14 élèves) (Question 8)

Nous remarquons pour cette question, la même tendance que pour les scores communs aux cinq classes, à savoir une diminution des scores pour la question 8 entre les pré test et post test 1. On constate une quasi absence du nombre de réponses « expert » (1 réponse) en post test 2. Cependant, le nombre de réponse « bouchon seul » augmente entre le pré test et le post test 1 mais également, et de

façon plus prononcée, entre les deux post tests, pour arriver à un nombre de 11 élèves sur les 14 ayant validés cette réponse.

Cela laisse donc supposer qu'effectivement le choix des contenants dans la question 8 influence les élèves vers un matériel habituellement utilisé au détriment de la réflexion sur le volume et le bouchon. Egalement, le choix du matériel dans la liste à disposition des élèves dans la situation proposée dans LabBook, conforte cette erreur. Nous mettons ici en évidence l'effet de contrat avec les enseignants quant à la gestion du matériel. En effet, les élèves ne la considèrent pas à leur charge, et ne sont pas formés à choisir le matériel, en sciences de la vie et de la terre. Cela ne fait pas partie des objectifs d'apprentissage. Les rétroactions de l'enseignant et la manipulation, qui dans notre situation mettait à disposition des élèves des tubes à essai afin de les positionner dans le bain marie, n'ont pas corrigé les erreurs pour la question 8.

L'analyse comparative des actions choisies dans l'étape 1 ainsi que la valeur de certains paramètres d'action en fonction des niveaux de pré structuration, permettra éventuellement d'affiner cette remarque.

Voyons à présent comment se répartissent les réponses des élèves pour la question 11 lors du post test 2.

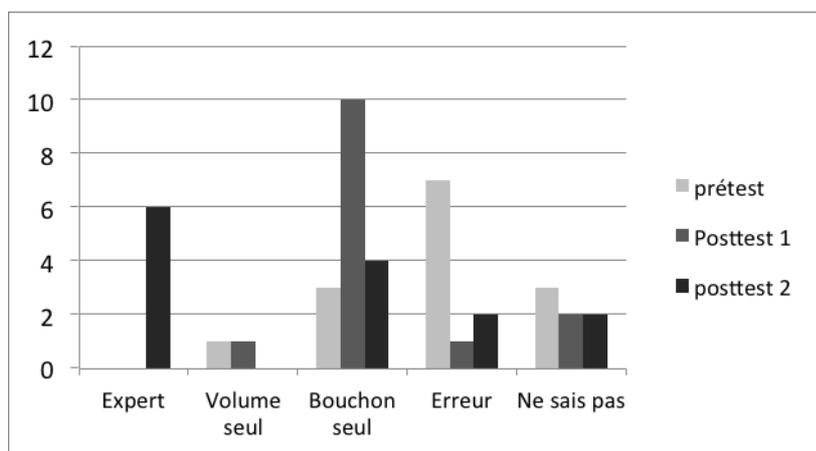


Figure 63 : question 11 : répartition des réponses des élèves selon les choix possibles pour le pré test, le post test 1 et le post test 2 (14 élèves) (question 11)

Les résultats diffèrent de ceux de la question 8, avec notamment, une absence de réponse « expert » pour les pré test et post test 1, mais une augmentation significative au post test 2 (+6). Ceci, nous permet de faire l'hypothèse que la situation proposée dans LabBook ne permet pas de faire évoluer les scores de cette question, alors que l'exécution de l'expérience en classe favorise la bonne réponse au test. En effet, si on regarde en détail les types de réponses donnés par les élèves, on constate que la technique utilisée pour mettre un bouchon sur le contenant est très largement choisie au post test 1 (+7/14), mais diminue au post test 2 (-6), au profit de la réponse « expert » qui inclut à la fois la fermeture du contenant, mais aussi de mettre un volume suffisant de suspension de levures.

Cela s'explique par le fait qu'entre le post test 1 et 2, il y a eu un étayage supplémentaire qui a permis de prendre en compte cette difficulté liée au choix d'un volume de suspension adéquat pour une mise en anaérobiose stricte.

Nous faisons l'hypothèse que la manipulation et les rétroactions de l'enseignant sont à l'origine de cette évolution. Nous pouvons conforter cette hypothèse avec l'observation de la séance pour cette classe (classe b, mai 2016). En effet, les élèves qui ont réalisés le montage présenté ci-dessous (figure 64), n'ont pas mis suffisamment de suspension de levures dans le tube à essai. Seules les rétroactions de l'enseignant, ont permis de corriger cette erreur.

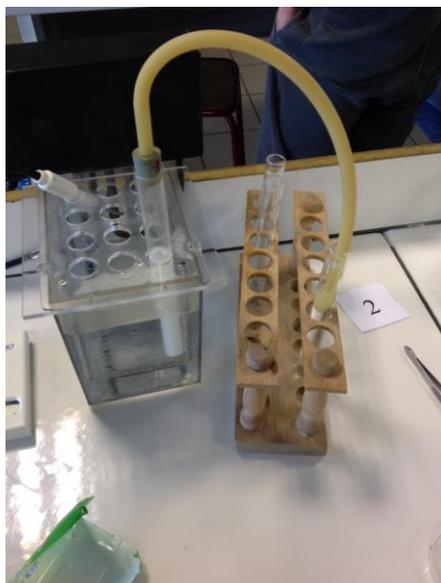


Figure 64 : photo d'un montage d'un groupe d'élèves de la classe b, lors de la phase de manipulation

Cette difficulté a été relevée dans les deux classes de l'expérimentation de 2016 qui ont effectuées la manipulation (les trois classes de Chambéry n'ayant pu réaliser à temps la manipulation), mais également lors de l'observation d'une classe en mars 2015.

Il s'agit effectivement d'une difficulté récurrente dont il faudrait améliorer les étayages mis en place dans la plateforme informatique qui s'avèrent actuellement peu efficaces.

Notons cependant, que la réaction de fermentation alcoolique se réalise malgré un volume de suspension inférieur au volume du contenant fermé par un bouchon hermétique. En effet, les levures sont capables de réaliser les deux types de métabolismes selon les conditions environnementales. Le temps imparti à la manipulation en classe (contrainte institutionnelle) ne permet pas aux levures

disposant d'un volume important de dioxygène de démarrer à temps la fermentation alcoolique après avoir consommé le dioxygène initialement présent. Ainsi, la manipulation permet de retour sur le choix du volume initial de suspension de levure dans le contenant. Il ne s'agit pas pour autant d'une erreur conceptuelle sur le métabolisme de la levure, mais un obstacle dû à la contrainte institutionnelle de temps d'une séance de terminale scientifique de spécialité. Il sera donc intéressant de regarder la réussite à la tâche dans les protocoles selon le niveau de pré structuration proposé.

Nous pouvons ainsi supposer que les étayages proposés dans la situation avec labBook ne sont pas efficaces pour aider les élèves à prendre en compte la dissolution des gaz présents dans un contenant alors que la réalisation du métabolisme de la fermentation alcoolique nécessite un milieu strictement anaérobique, qui se traduit par le prélèvement de volumes de suspension adéquats par rapport au volume du contenant receveur fermé.

Voyons à présent comment évoluent les scores selon le type de pré structuration du protocole (N1, N2, N3) afin de voir si l'étayage mis en place à travers la pré structuration des actions favorise davantage les apprentissages.

2.3. Résultats : scores selon les types de pré structuration

Nous nous attendons à ce que les gains d'apprentissage, soient plus importants pour les élèves ayant des protocoles dont les actions sont pré structurées (N2 et N3) du fait que certains étayages comme la liste des actions pré structurées, les choix de valeurs de paramètres d'action incitent les élèves à chercher des informations relatives aux concepts en jeu.

Le tableau 35 ci-dessous présentent les moyennes globales des scores (/27) selon les types de pré structuration proposés, N1, N2 et N3.

Moyenne des scores	N1 « protocole libre »	N2 « actions pré structurées »	N3 « actions et justifications pré structurées »
Pré test (écart type)	8,15 (3,18)	10 (2,69)	9,29 (3,75)
Post test 1 (écart type)	15,37 (2,56)	15,65 (2,13)	14,82 (3,24)
Gain d'apprentissage	+0,345	+0,297	+0,28

Tableau 35 : moyenne des scores du pré test et du post test 1 et gain selon les niveaux de pré structuration de protocole

Nous remarquons que la moyenne des scores du pré test est supérieure pour le groupe N2 avec 10 points (/27 au total), celle du groupe N1 étant la plus basse avec 8,15 points. Cela montre une hétérogénéité dans la répartition des élèves entre les trois groupes, qui a été prise en compte dans le calcul des gains selon la méthodologie employée (Chapitre 8).

La moyenne du post test 1 est presque équivalente pour les trois niveaux de pré structuration. On ne remarque pas de différence significative malgré une légère baisse pour le groupe d'élèves ayant un protocole de type N3.

Nous remarquons qu'il y a un gain d'apprentissage quel que soit le type de protocole.

La pré structuration du protocole proposée n'entrave donc pas les apprentissages.

Nous pouvons néanmoins constater une légère variation du gain d'apprentissage entre les trois niveaux de pré structuration. En effet, il est maximal pour les élèves ayant la pré structuration N1 avec +0,345, et minimal pour les protocoles de type N3 (+0,28). Cependant, la population N3, de façon hasardeuse a concentré des élèves qui ne se sont pas investis dans l'activité et comme nous l'avons déjà mentionné, le nombre d'élèves par groupe de niveau de protocole est assez faible, ce qui ne permet pas de gommer ces aléas expérimentaux. Enfin, l'écart type est important ce qui nous donne des résultats non significatifs selon les tests statistiques réalisés.

La pré structuration des actions ne semble pas favoriser l'apprentissage de concepts fondamentaux par rapport à un protocole « libre ».

Nous avons également réalisé une analyse des gains par questions dont les concepts sont étayés par la pré structuration des actions et selon le type de protocole. Nous développons les résultats obtenus qui confirment la précédente conclusion. En effet, les gains par question les plus importants se retrouvent principalement dans le groupe ayant le protocole « libre » N1. Ainsi, cela confirme le gain global précédemment calculé qui mettait le groupe N1 en tête par rapport aux deux autres groupes. De même, le groupe N2 à des gains supérieurs au groupe N3 pour les questions 5, 6, 7, et 12.

Pour la question 5 (spécificité de la fermentation alcoolique), nous attendions un gain plus important pour le groupe N3 du fait de l'étayage supplémentaire mis en place à travers les justifications pré structurées. En effet, les justifications portent sur les concepts en jeu en demandant aux élèves de justifier le choix de certaines valeurs de paramètre, cependant les gains d'apprentissage du groupe N1 sont supérieurs à ceux du groupe N3, ce qui ne nous permet pas de conclure en ce sens. Il en est de même pour les questions 6 et 7.

Nous présentons dans la figure 65 ci-dessous les gains d'apprentissage des questions 8 et 11 qui portent sur la technique de mise en anaérobie d'une solution, selon les niveaux de pré structuration de protocole.

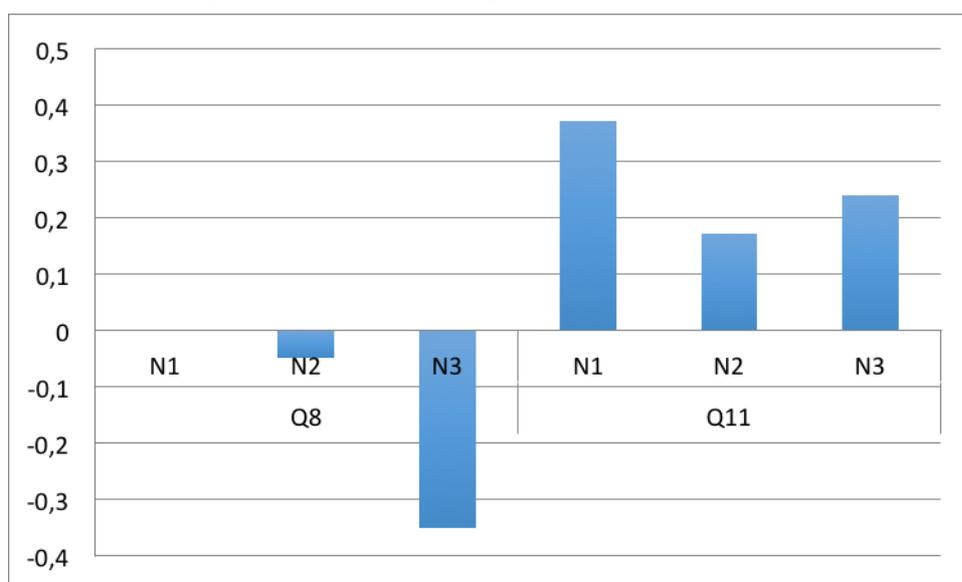


Figure 65 : gain d'apprentissage entre le pré test et le post test 1 pour les questions 8 et 11 selon les types de protocoles (N1, N2, et N3)

Les évolutions selon le type de protocole confortent les résultats précédemment explicités. Pour la question 8, on constate une absence de gain d'apprentissage pour le groupe N1 et surtout un gain négatif pour les protocoles de types N2 et N3. Ainsi, conformément aux hypothèses précédemment émises, le matériel proposé dans la question du test, dans la liste de matériel et dans l'action pré structurée induit les élèves en erreur de par l'utilisation d'un matériel couramment utilisé. Concernant la question 11 qui portent sur le même concept, on constate que les élèves du groupe N1 ont un gain d'apprentissage plus important que les élèves des groupes N2 et N3. Ainsi, l'étayage relatif à ce concept proposé sous la forme d'actions pré structurées semble ne pas aider les élèves dans l'apprentissage de ce concept. L'analyse des protocoles produits par les élèves complétera ces résultats.

2.4. Conclusions

Ainsi, l'analyse des résultats des scores, de façon globale, par concept et selon les différents niveaux de pré structuration proposés, nous permet de proposer les remarques générales suivantes :

- ✓ La situation de conception de protocole expérimental proposée sur la plateforme LabBook favorise les apprentissages.
- ✓ Cependant, il n'y a pas de différence significative entre les apprentissages des 3 groupes. Néanmoins, les faibles effectifs dans chaque groupe ne permettent pas de conclure de façon certaine.
- ✓ La pré structuration des actions (N2) ne favorise pas les apprentissages comme nous l'espérons, mais au moins il est intéressant de noter que les actions pré structurées de Copex n'entravent pas pour autant les apprentissages, ce qui est un résultat important.
- ✓ Les justifications dans N3 ne favorisent pas les apprentissages, mais il faut en savoir plus sur la façon dont les élèves se sont appropriés ces justifications. L'analyse des protocoles produits permettra de compléter ces résultats.

A noter également que le choix de certaines valeurs de paramètres d'action proposé dans la pré structuration, peut induire ou conforter une erreur identifiée *a priori* dans l'analyse épistémologique. Il s'agit notamment de l'influence de la verrerie mise à disposition et usuellement utilisée en séance pour ce type d'activité.

L'analyse des protocoles et plus précisément celle des actions en lien avec les questions du test permettra d'affiner ces résultats.

La pré structuration du protocole semble ne pas avoir d'effet sur les apprentissages conceptuels. Cependant nous faisons l'hypothèse qu'elle pourrait avoir davantage d'impact sur les apprentissages concernant l'objet protocole. Pour cela, il faudrait envisager un questionnaire porté sur cet objet, et une expérimentation à long terme dans une même classe dans laquelle les élèves sont novices pour ce type d'activité.

De plus, nous faisons l'hypothèse que la mise en place de rétroactions personnalisées, à partir d'un diagnostic des erreurs des élèves sur les choix des actions et des valeurs de paramètres d'actions, permettra de les faire évoluer.

Enfin, nous avons fait l'hypothèse que la pré structuration du protocole est un étayage qui aide les élèves à produire un protocole communicable et pertinent, ce que nous allons analyser dans la partie suivante.

3. Analyse des protocoles

Dans cette partie, nous présentons les résultats de l'analyse des protocoles afin de répondre aux questions de recherche suivantes :

- * Est-ce que les situations proposées incluant différentes propositions d'étayage favorisent la production par les élèves d'un protocole communicable et pertinent ?

Nous faisons l'hypothèse que la pré structuration du protocole en étapes et en actions (protocoles de types N2 et N3) favorise la rédaction d'un protocole en étapes et actions paramétrées, et que la pré structuration des actions sous la forme d'une liste guide les élèves vers une résolution de problème pertinente. De plus, nous faisons également l'hypothèse que la pré structuration des justifications favorise le choix d'une valeur de paramètre pertinente.

- * Est-ce que les situations proposées permettent de confirmer certaines difficultés identifiées *a priori* ?

Nous avons identifié dans les résultats des tests du paragraphe 2, des difficultés principalement liées au concept nouveau de fermentation alcoolique et à la mise en anaérobiose stricte. Les résultats mettent en avant une confusion de ce métabolisme avec la respiration cellulaire et des difficultés également avec la notion de dissolution des gaz présents dans un milieu. Nous faisons ainsi l'hypothèse que nous allons trouver des erreurs en lien avec ces difficultés dans les protocoles des élèves à la fois dans le choix des stratégies de résolutions mais aussi dans les choix de valeurs de paramètres. Nous pensons retrouver moins d'erreurs concernant les choix des valeurs pour lesquelles nous proposons des étayages fixes (documents ressources).

Pour cela nous allons répondre aux sous questions de recherche suivantes en lien avec les hypothèses développées dans la méthodologie du chapitre 8 :

- * Est-ce que la pré structuration proposée des étapes et des actions facilite la production par les élèves d'un protocole communicable ?
- * Est-ce que la pré structuration proposée des étapes et des actions est utilisée dans la production de protocole par les élèves ?
- * Est-ce que la pré structuration des actions favorise le choix d'une technique de résolution pertinente ?
- * Est-ce que la pré structuration des justifications proposée favorise le choix de paramètres d'action corrects ?

Nous allons présenter les résultats de l'analyse des protocoles selon les critères de communicabilité et de pertinence également développés dans le chapitre 8.

Rappelons que l'analyse des protocoles prend en compte l'ensemble des protocoles élaborés par les élèves : soit 19 protocoles N1, 21 protocoles N2 et 19 protocoles N3, pour un total de 59 protocoles.

3.1. Résultats : Communicabilité des protocoles

Dans cette partie nous présenterons les résultats concernant l'analyse du critère de communicabilité des protocoles des élèves (Chapitre 8, tableau 25).

Nous présentons cinq sous critères pour lesquels nous formulons des hypothèses :

- **Présence d'action dans les étapes fournies** : la pré structuration des actions favorise l'écriture d'un protocole, ainsi les protocoles N2 comprennent davantage d'actions, que les protocoles N1
- **Nature des actions non pré structurées** (protocoles de type N1) : une action non pré structurée formalisée par un élève est un regroupement d'actions, et se traduit, selon le modèle praxéologique, par un ensemble de types de tâche ou tâches que nous appelons « multi-tâches »
- **Présence de paramètre dans les actions** : les actions des protocoles non pré structurés N1 sont peu paramétrées, alors que la pré structuration des actions (N2) incite fortement les élèves à paramétrer les actions
- **Autres types d'informations données dans les actions** : certaines étapes et actions non pré structurées rédigées par les élèves contiennent des éléments qui se modélisent par des technologies.
- **Utilisation des propositions de pré structuration** : les protocoles N1, N2 et N3 sont écrits avec les étapes proposées ; les protocoles N2 sont écrits avec les actions proposées ; les protocoles N3 sont écrits avec les justifications proposées

3.1.1 Communicabilité : présence d'action dans les étapes fournies (complétude)

De précédentes études ont montré que la pré structuration d'un protocole favorise son écriture par les élèves (Marzin & de Vries, 2013) en une succession d'actions distinctes. Ainsi, nous faisons l'hypothèse que les protocoles des élèves qui ont une pré structuration des étapes et des actions (N2), auront davantage d'actions par étapes, que ceux qui ont des protocoles aux actions 'libres' (N1).

La figure 66 ci-dessous présente par étapes, le nombre d'actions distinctes proposées par les élèves selon le type de protocole (N1 et N2).

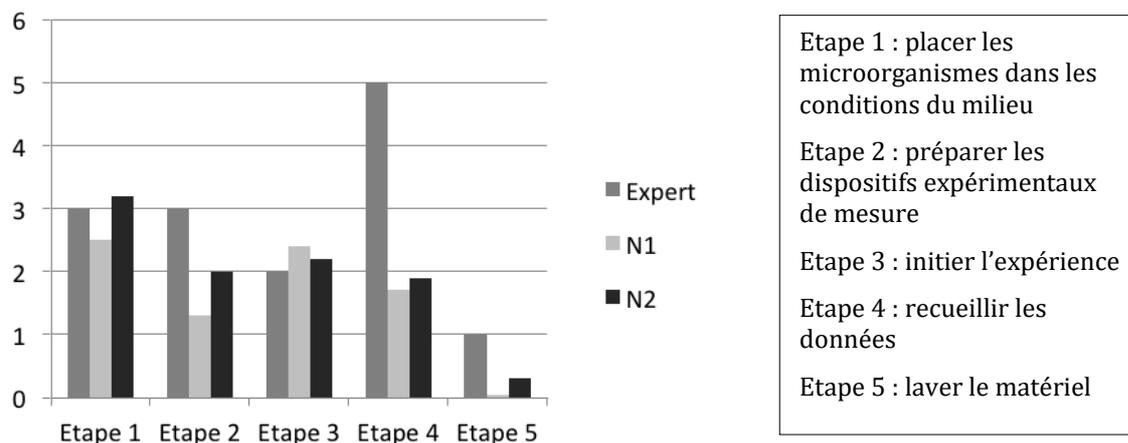


Figure 66 : nombre d'actions par étape selon N

Nous remarquons que les étapes 1 et 3, qui intègrent les objectifs d'apprentissage ont un nombre d'actions à peu près équivalent par rapport au protocole « expert », quel que soit le type de protocole (N1 ou N2). A l'inverse les étapes 2, 4 et 5 ont un nombre inférieur d'actions dans N1 et N2 par rapport au protocole « expert ».

L'analyse de la pertinence de ces actions nous permettra d'en faire une analyse qualitative (paragraphe 3.2).

Par ailleurs, nous n'analyserons pas davantage l'étape 5 qui ne demande qu'une seule action, dont l'intitulé est similaire à l'étape « laver le matériel ».

Nous remarquons également que le nombre d'actions proposé par étape est légèrement supérieur dans les protocoles de type N2 par rapport à N1.

La figure ci-dessous présente le nombre d'élèves n'ayant pas mis d'action dans les étapes imposées pour les protocoles N1 et N2.

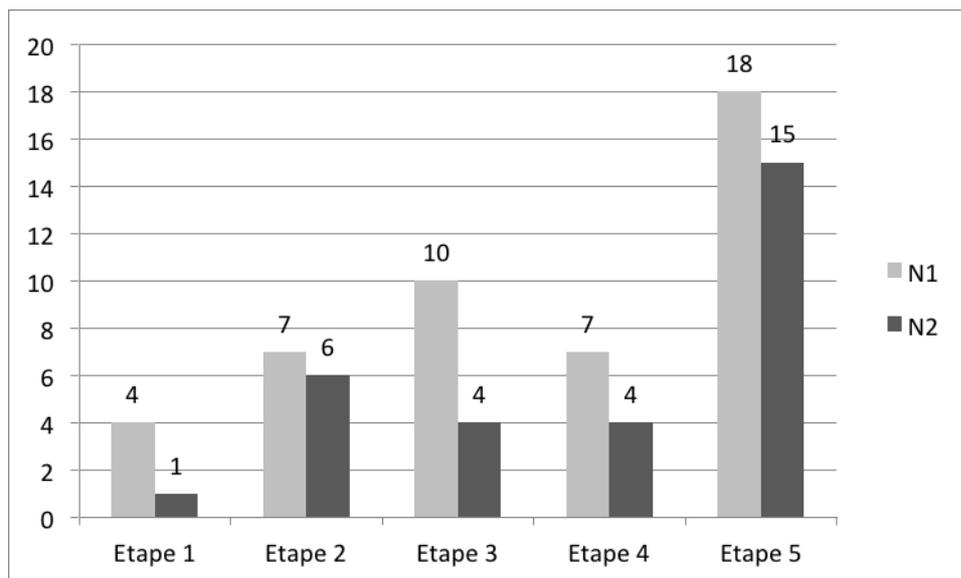


Figure 67 : nombre d'élèves n'ayant pas mis d'action par étape selon N (N1 = 19 élèves ; N2 = 21 élèves)

Nous pouvons distinguer les protocoles de type N2 des protocoles N1. En effet, davantage d'élèves du groupe N1 n'ont pas mis d'actions quelles que soient les étapes, majoritairement pour les étapes 3 et 4 avec respectivement 10 et 7 élèves (sur les 19 du groupe N1) (annexe 5a).

En effet, lors de la conception des protocoles de type N2, la visualisation instantanée des actions pré structurées sélectionnées et complétées par les élèves sans avoir à concevoir et rédiger des phrases, impliquent une construction claire et rapide du protocole qui limite l'effet « page blanche ». Cependant, la facilité de « cliquer » pourrait avoir un effet quantitatif et non qualitatif des actions choisies, néanmoins atténué par la pré structuration des actions/justifications qui demande de choisir et pour certains de justifier des valeurs de paramètres. L'analyse du critère de pertinence des protocoles proposés par les élèves nous permettra de comparer les stratégies de résolution de la tâche effectuées selon les niveaux de protocoles.

La liste des actions pré structurées semble aider les élèves à adopter une démarche de résolution. En effet, davantage d'élèves ayant un protocole avec des actions libres (N1) n'ont pas mis d'action quelles que soit les étapes.

Cependant, pour quelques élèves, certaines étapes des protocoles N2 ne contiennent pas d'actions. En effet, ces protocoles sont rédigés sous la forme d'une

liste d'actions déconnectées des étapes imposées. Nous pouvons penser que le temps d'adaptation et de prise en main du logiciel Copex pourrait également être un frein pour certains élèves, de même que la pré structuration proposée trop contraignante. Un entretien avec ces élèves aurait pu étoffer ces remarques.

Ainsi, ces résultats nous permettent de confirmer que la pré structuration des actions facilite l'écriture d'actions par les élèves quelles que soient les étapes imposées proposées. Néanmoins, la pertinence du protocole sera analysée ultérieurement (paragraphe 3.2).

3.1.2 Communicabilité : « nature » des actions non pré structurées

Dans ce paragraphe nous analysons les actions non pré structurées proposées dans les protocoles de type N1. Nous faisons l'hypothèse qu'une action non pré structurée proposée par un élève est « multi-tâches » c'est à dire qu'une même action est modélisée par un ensemble de tâches. Ainsi, nous comparons le nombre d'actions proposées dans les protocoles N1 par rapport au nombre d'actions du protocole expert. Puis, nous regardons dans les protocoles de type N1, le nombre d'action non pré structurées « multi tâches » par rapport au nombre total d'actions non pré structurées proposées.

Le tableau 36 ci-dessous présente la moyenne du nombre d'actions proposées dans les protocoles N1 des élèves, mais également la moyenne du nombre de tâches proposées dans ces mêmes protocoles. Nous comparons ces résultats avec les données du protocole expert.

Types de protocoles	Moyenne du nombre d'actions par protocole	Modélisation des actions : moyenne du nombre de tâches par protocole	Moyenne du nombre de tâches par action
Expert	14	17	1,2
N1	5,7	9	1,6

Tableau 36 : moyenne du nombre d'étapes et d'actions présentes selon le type de protocole

On remarque que la moyenne du nombre d'actions présentes dans les protocoles des élèves selon N1 est bien inférieure au nombre d'actions attendues dans le protocole « expert » (5,7/14 pour N1).

On remarque également que le nombre de tâches modélisées dans le protocole « expert » (17) est supérieur au nombre d'actions proposées (14). En effet, nous l'avons déjà pointé lors de la conception de la situation (Chapitre 7) car nous avons proposé dans le protocole « expert » deux actions qui regroupent selon le modèle praxéologique, plusieurs tâches :

- ✓ l'action pré structurée « prélever une solution » comprend trois tâches qui consistent à prélever la solution, la verser dans un contenant et la nommer.
- ✓ l'action pré structurée « Porter et maintenir une solution à température » comprend deux tâches qui consistent à chauffer la solution et vérifier sa température.

Ainsi, le nombre de tâches modélisées par action est supérieur à 1 pour le protocole « expert » (1,2).

Si on compare les données du protocole « expert » à celles des protocoles N1, on remarque que pour les protocoles de type N1, le nombre d'actions « multi-tâches » est supérieur à celui du protocole « expert » (1,6>1,2).

Si on analyse en détail le nombre de 5,7 actions en moyenne par protocole N1, cela provient d'un total de 109 actions proposées dans les 19 protocoles N1. Parmi ces 109 actions, 27 d'entre elles (soit un quart) sont des actions « multi tâches ».

Par exemple, nous avons relevé des actions non pré structurées « multi tâches » comme « *on introduit 1ml de glucose dans une eau préalablement chauffée au bain marie, dans un bécher* » qui correspondent à l'association de deux tâches bien différentes qui sont « ajouter une solution » et « porter et maintenir une solution à température ». Un autre exemple relevé dans un protocole d'élève est : « *je ferme avec un bouchon et je prends un éthylotest pour tester l'éthanol* » qui correspond à l'association de deux autres types de tâches qui sont « fermer un contenant avec un matériel adapté » et « préparer un dispositif expérimental de mesure ».

Ces résultats confirment ainsi l'hypothèse précédemment citée : les protocoles non pré structurés (actions 'libres') du type N1 favorisent des protocoles « multi-tâches ». Ces résultats nous interpellent sur le fait que nous avons proposé un modèle de protocole « expert » qui comprend des actions correspondantes à des tâches « uniques » et d'autres « multi-tâches ». Ce choix n'est pas orienté par une référence institutionnelle (lycée) puisqu'actuellement il n'y a pas de préconisation en terme de structuration de protocole dans les programmes ou bien dans les attentes du baccalauréat (ECE) (chapitre 1). Nous pouvons ainsi nous demander quelle structure du protocole avec des actions « simples » ou « multi-tâches », aiderait davantage les élèves à concevoir leur protocole.

3.1.3 Communicabilité : paramétrage des actions

Dans ce paragraphe nous présentons un des sous critère de la communicabilité du protocole concernant le paramétrage des actions. Nous avons fait l'hypothèse, à partir de travaux précédemment menés (Girault & al., 2014), que les actions des protocoles « libres » (N1) sont peu paramétrées, alors que la pré structuration des actions (N2) incitent fortement les élèves à proposer des valeurs de paramètres dans les actions qui en nécessitent.

Nous proposons dans la figure 68 ci-dessous, le rapport entre les paramètres d'actions attendus (selon le protocole expert) et ceux présents dans les protocoles N1 et N2, toutes actions confondues.

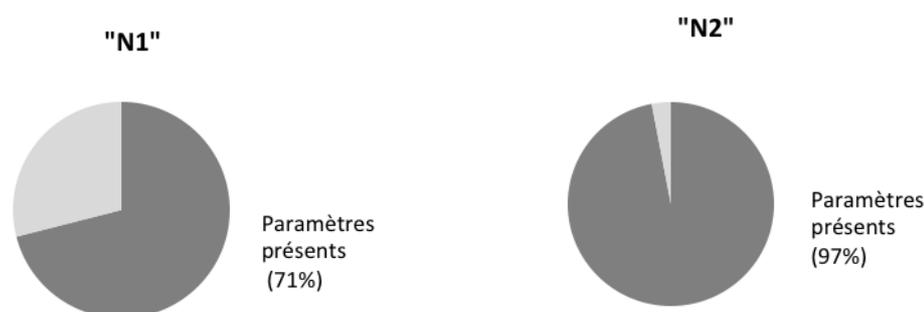


Figure 68 : pourcentage de paramètres présents par rapport au nombre de paramètres attendus, dans l'ensemble des actions du protocole selon N

Nous remarquons que les actions des protocoles N2 sont, en moyenne, davantage paramétrées que celles des protocoles N1. En effet, 97% des paramètres attendus dans les actions sont présents dans les protocoles qui proposent des actions pré structurées contre 71% pour le protocole libre.

Les actions des protocoles non pré structurés (N1) ne sont pas suffisamment paramétrées, alors que les élèves instancient les paramètres proposés dans les actions pré structurées (N2). Pour autant ces résultats ne statuent pas sur la pertinence des paramètres choisis (paragraphe 3.2.2).

Regardons en détail la répartition de ces paramètres manquants dans les actions proposées dans les protocoles non pré structurés N1. (Figure 69)

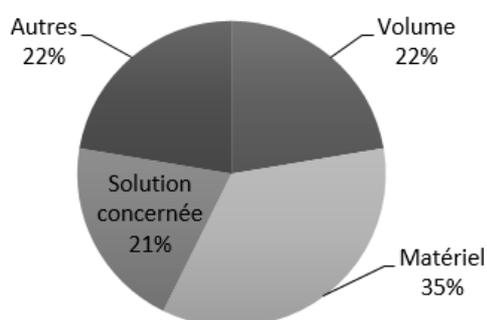


Figure 69 : répartition des paramètres manquants dans les protocoles non pré structurés N1

Le paramètre d'action qui est majoritairement absent dans les protocoles N1, est « le matériel » (35%) suivi par deux autres paramètres, « le volume », et « la solution concernée » respectivement absents à 22% et 21%.

Il est possible que les paramètres manquants correspondent aux paramètres pour lesquels les élèves ne savaient pas quelle valeur choisir (Par exemple le volume de solution à prélever). En analysant la pertinence des valeurs de paramètres d'actions dans le paragraphe 3.2.2 nous pourrions vérifier si les paramètres manquants de N1 sont les mêmes que ceux pour lesquels les élèves de N2 ont eu des difficultés à choisir la bonne valeur de paramètre.

3.1.4 Communicabilité : autres types d'informations données dans les actions « libres »

La pré structuration proposée favorise la production de protocole en étapes et en actions. La modélisation des connaissances a permis d'identifier des types de tâches à l'origine des étapes du protocole, mais aussi des tâches à l'origine des actions du protocole (cf chapitre 7). Les technologies quant à elles, sont implicitement mobilisées dans le choix des actions qui spécifient la technique du type de tâche, mais aussi dans le choix des valeurs de paramètres d'action. Elles sont par ailleurs explicitement formulées dans la pré structuration des justifications du protocole N3, et laissées libres dans la partie commentaire des protocoles N1 et N2.

La pré structuration des actions proposée en N2, favorise la distinction entre les étapes, les actions et les justifications (libres). En reprenant des résultats des travaux de Girault & al. (2012), nous pensons ainsi retrouver sous une bannière « action », la présence d'informations non techniques comme des justifications de la procédure ou des apports de cours. Il s'agit d'une difficulté identifiée *a priori* concernant l'objet protocole et plus précisément la distinction des éléments attendus dans cette procédure.

Sur les 109 actions « libres » écrites par les élèves dans l'ensemble des protocoles de type N1, huit d'entre elles (7%) correspondent à des apports de technologie qui vont justifier une technique ou des choix de valeurs de paramètres d'actions proposés. Ces huit justifications se répartissent dans 5 des 19 protocoles N1.

Par exemple nous relevons dans les protocoles non pré structurés (N1) des propositions d'actions qui ne font pas référence à des actions du protocole « expert », comme par exemple « *la fermentation alcoolique se réalise en anaérobie à 25°C.* », « *l'éthanol est mis en évidence par l'alcooltest qui devient vert* ». Il s'agit là de la transposition d'autres éléments de la modélisation praxéologique et plus précisément des technologies. Ces éléments justifient respectivement des valeurs de paramètres (température du milieu à 25°C), et un choix de technique de laboratoire (alcooltest).

Nous ne retrouvons pas d'éléments de ce type dans les protocoles de type N2, dans des actions libres qui ont été ajoutées.

Ainsi la pré structuration des actions (N2) est un étayage qui aide les élèves à formaliser un protocole communicable et réduit les difficultés identifiées liées à l'appropriation de l'objet protocole par les élèves.

3.1.5 Communicabilité : utilisation des propositions de pré structuration (étapes, actions, et justifications)

Dans ce paragraphe nous présentons les résultats concernant l'utilisation par les élèves des étapes imposées (pour les protocoles N1, N2, N3), des actions (pour les protocoles N2) et des justifications (pour les protocoles N3) pré structurées.

- **Utilisation des étapes pré structurées.**

On retrouve dans l'ensemble des protocoles 22 étapes en dehors de la pré structuration proposée. Elles se répartissent selon les types de protocole de la façon suivante : 11 étapes en dehors de la pré structuration ont été relevées dans les protocoles du type N1, 8 dans les N2 et 3 dans les N3.

Ces résultats, méritent d'être détaillés.

- 2 élèves n'ont pas touché les étapes imposées et ont mis leurs actions les unes à la suite des autres, sans les insérer dans une étape en particulier. On peut se demander dans ce cas, si les étapes sont gênantes pour l'élève, s'il s'agit d'une difficulté de manipulation du logiciel, ou bien si cela met en évidence la confusion des étapes et des actions constitutives d'un protocole. Il s'agit d'une activité nouvelle pour les élèves, dont l'objet protocole peut être à l'origine de difficultés (Berthet & al., 2014).
- 1 élève a dupliqué une étape (laver le matériel) pour initier son protocole.

- 5 élèves ont supprimé des étapes pour en ajouter des non pré structurées. Il faut rappeler néanmoins que la plateforme ne permet pas de retour en arrière. Les suppressions peuvent ainsi être non intentionnelles mais définitives. Il ne nous est actuellement pas possible de savoir s'il s'agit d'une erreur de manipulation ou pas.
- 7 élèves ont mis les actions sous la forme d'étapes. Là aussi il est également difficile de statuer sur le type de difficulté que cela met en évidence. S'agit-il d'une erreur de structure de protocole ou bien d'une difficulté liée à l'utilisation du logiciel ?
- 3 élèves ont utilisé les sous étapes pour y mettre des justifications notamment sur la nécessité de mettre les levures en anaérobie.

Ainsi, dans l'ensemble, la pré structuration des étapes est utilisée par les élèves. Néanmoins ces résultats ne permettent pas de statuer sur la compréhension de chacune d'elles. Nous l'analyserons dans le paragraphe 3.2.

- **Utilisation des actions pré structurées.**

Nous nous intéressons dans ce paragraphe aux protocoles de type N2 (actions pré structurées).

Dans l'ensemble des 21 protocoles du type N2, sur les 172 actions proposées par les élèves, 9 d'entre elles ne sont pas des actions pré structurées (soit 5%).

Ainsi, la pré structuration des actions est globalement utilisée par les élèves.

Même si cela concerne très peu d'actions, nous souhaitons nous attarder sur les actions ainsi proposées en dehors de la pré structuration, afin d'analyser leur nature, et ainsi identifier les possibles difficultés à l'origine de ces propositions « libres ».

Le tableau 37 ci-dessous regroupe l'ensemble des neuf actions hors pré structuration proposées dans les protocoles N2 et leur correspondance selon le modèle praxéologique de référence.

N°	Tâche ou type de tâche correspondant à l'action non pré structurées	Nombre de fois cité
1	Verser une solution dans un contenant	5
2	Préparer un témoin	3
3	Interpréter les données	1

Tableau 37 : liste des tâches et types de tâche non pré structurées

Nous pouvons classer ces propositions de la façon suivante :

- Un type de tâches (n°1) modélisé dans une des actions pré structurées proposées. L'action concernée qui est de « prélever une solution » est « multi-tâches » car elle consiste à prélever et verser une solution dans un contenant. Cela laisse supposer la nécessité de décomposer cette action afin que les élèves puissent attraper uniquement l'action de verser une solution. La pré structuration de l'action semble être gênante à ce niveau.
- Un type de tâche non paramétré (n°2), considéré comme supplémentaire selon le modèle des praxéologies personnelles (chapitre 4). Cependant il s'agit d'une tâche inhérente à la conception expérimentale. Il faut noter que

la répétition de certaines actions dans les protocoles pré structurés qui consiste notamment à prélever une deuxième fois la suspension de levures, est souvent due à la préparation d'un témoin même si cela n'est pas cité en tant que tel dans les protocoles des élèves. Il s'agit d'un effet de contrat avec l'enseignant sur les habitudes prises lors de la résolution de ce type d'activité.

- Une tâche (n°3), qui ne fait pas partie de la praxéologie de référence de la conception d'un protocole, mais qui est une des étapes du rapport expérimental. La distinction entre les étapes d'un rapport expérimental semble confuse de même que la définition de l'objet protocole.

L'action hors pré structuration majoritairement citée (n°1), qui reprend des actions présentes dans le protocole « expert », laisse supposer que pour certains élèves, notre pré structuration avec des tâches « multiples » peut être gênante, ou pas pertinente, ce qui crée une difficulté pour la conception de leur protocole. On peut supposer que les élèves ne trouvent pas la correspondance dans la liste d'actions proposées, ce qui implique la nécessité de la reformuler.

- **Utilisation des justifications pré structurées.**

Nous nous intéressons dans ce paragraphe aux protocoles N3.

Sur l'ensemble des protocoles N3, 88 justifications pré-structurées devaient être complétées.

Parmi elles, 66 ont été complétées par les élèves (75 %). Néanmoins, 22 sur 88 (25%) ne sont pas complétées (annexe 5b).

La pré structuration des justifications est donc globalement utilisée par les élèves.

Nous proposons de voir s'il existe une récurrence des justifications non complétées. La figure 70 ci-dessous présente la répartition des justifications non complétées selon l'objet sur lequel elles portent.

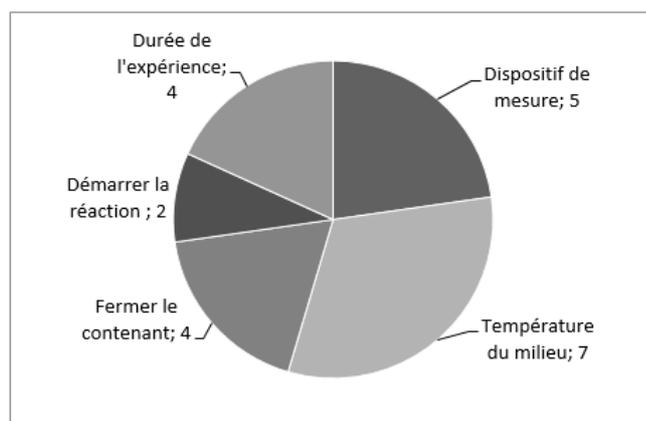


Figure 70 : répartition des 22 justifications non complétées dans les protocoles N3

Nous remarquons qu'un tiers des justifications non complétées portent sur la justification du choix de la température « *car il s'agit de la température (létale/optimale)* ». Peut-être est-ce que les termes (létale, optimale) proposés dans la justification pré structurées ne sont pas compris par les élèves.

Cependant, la répartition des justifications non complétées et la faible quantité de données ne nous permettent pas de statuer sur une autre difficulté particulière inhérente à une proposition de justification.

De plus, plusieurs explications peuvent également être à l'origine de justifications non complétées.

Nous pouvons supposer que les justifications proposées ne sont pas adaptées et/ou ne sont pas comprises, mais également nous pouvons penser qu'elles ne sont pas suffisamment mises en avant dans la pré structuration. C'est à dire que la mise en page n'est pas adaptée et confère une certaine lourdeur de l'action (figure 71).

**Figure 71 : configuration des justifications pré structurées
(Exemple de l'action pré structurée « fermer un contenant »)**

Trop de champs à compléter, et de façon différente : menu déroulant, champ libre, mots à barrer... Le fait qu'elles se trouvent dans la partie commentaire, laisse la possibilité d'oublier de remplir ce champ, ou bien de penser qu'elles sont facultatives. Il faudrait ainsi peut être alléger le nombre de justifications, et se centrer sur celles qui pourraient aider les élèves dans les choix de valeurs de paramètres à l'origine de difficultés récurrentes.

Afin de compléter cette analyse nous allons à présent regarder si les élèves ont proposé des justifications hors pré structuration (« libres ») dans les protocoles N3, et identifier les éléments de savoirs (technologie) sur lesquels elles portent.

Nous retrouvons cinq propositions de justification hors pré structuration proposées dans l'ensemble des 19 protocoles de type N3, et réparties dans cinq protocoles différents. Les justifications portent sur les trois paramètres suivants :

- ✓ la température du milieu (2)
- ✓ la fermeture du contenant (1)
- ✓ le dispositif de mesure (2)

Le nombre de propositions étant faible, nous proposons d'élargir l'étude à l'ensemble des protocoles.

Les protocoles N1 et N2 proposent 45 justifications libres (respectivement 22 et 23) soit 1,12 par protocole, ce qui reste bien inférieur aux 7 initialement attendues dans le protocole expert.

La figure 72 ci-dessous présente la répartition des valeurs de paramètres ou techniques de résolution sur lesquelles portent les justifications libres proposées par les élèves.

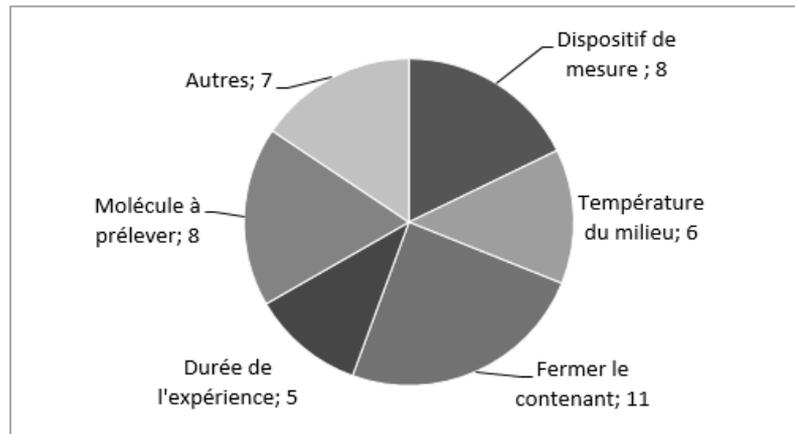


Figure 72 : répartition (%) des justifications « libres » proposées dans les protocoles N1 et N2

Ces justifications sont variées et portent sur des choix de valeurs de paramètres d'action différents avec majoritairement la justification de la fermeture du contenant (11) nécessaire à la mise en anaérobie des levures.

Même si cela ne représente en moyenne que 1,12 justification par protocole, ces résultats impliquent la nécessité pour certains élèves de justifier des actions. Ou bien, comme nous l'avons déjà évoqué, il est possible également que les élèves confondent actions et justifications du fait des difficultés à définir l'objet protocole, et ressentent le besoin d'apporter des éléments de cours. Il en découle ainsi une structuration de protocole confuse, notamment pour les protocoles libres de type N1.

Les justifications non pré structurées proposées par les élèves reprennent des données disponibles dans les documents ressources. Par exemple, le choix de l'action « *porter et de maintenir la suspension de levure à une certaine température* », sera justifié par le fait que « *dans le document 1* » il est mentionné que la température optimale est de 25°C. Il s'agit là d'une justification de valeur de paramètre et non du concept en jeu (condition de réalisation optimale de la fermentation alcoolique), c'est à dire qu'il s'agit d'une température pour laquelle la vitesse de réaction est maximale. Il y a donc là un écart entre nos propositions de justifications et celles rédigées par des élèves.

Nous pointons ainsi un écart entre le rôle initial des justifications pré structurées que nous avons envisagées et leur implémentation. En effet, nous avons effectivement élaboré la pré structuration des justifications en nous basant sur les technologies de la praxéologie de référence. Dans la situation, selon le modèle de transposition présenté dans le chapitre 7, nous avons envisagé de proposer des justifications de choix de valeurs de paramètre. Or en analysant les propositions de justifications des élèves, nous pointons une contradiction entre notre modélisation et sa mise en place. Ainsi, certaines pré structurations des justifications (N3) que nous avons proposées inciterait les élèves à donner du sens au choix de l'action et non aux choix de valeurs de paramètres de l'action. Le savoir en jeu est de nature différente ce qui semble poser des difficultés aux élèves. Nous mettons ainsi en avant un biais méthodologique lors de la conception de la situation et nous nous posons la question du type de justification pertinent pour un étayage efficace.

Enfin, nous avons identifié cinq justifications en dehors de celles proposées par la pré structuration dans les protocoles du type N3. En effet, il s'agit souvent de reformulation complète de la justification « *je cherche à limiter l'apport en O₂ car la fermentation se fait en anaérobie* ». Nous pouvons supposer que les justifications proposées ne sont pas comprises, mais également que la configuration proposée n'est pas adaptée, incitant les élèves à réécrire la justification au lieu de choisir les termes entre parenthèses (figure 71).

3.2. Résultats : pertinence des protocoles

Dans cette partie nous présenterons les résultats concernant l'analyse du critère de pertinence des protocoles des élèves.

Nous avons émis des sous critères en lien avec les hypothèses suivantes :

- **Pertinence des actions proposées (par étapes)** : la liste des actions proposées dans la pré structuration N2 favorise le choix d'une technique de résolution pertinente. Les valeurs de paramètres d'actions proposées aux élèves dans la pré structuration sont à l'origine de difficultés identifiées *a priori*.
- **Pertinence de la valeur des paramètres** : la pré structuration des actions incite les élèves à réfléchir sur des choix de valeurs de paramètres. La pré structuration des justifications favorise le choix de la valeur de paramètre d'action correcte.
- **Pertinence des justifications** : les erreurs des justifications sont liées aux erreurs de valeurs de paramètres.

3.2.1 Pertinence des actions proposées

Nous pensons que la liste des actions proposée dans la pré structuration N2 favorise le choix d'une technique de résolution pertinente. Il s'agit d'un étayage fixe qui guide et influence les choix des élèves en décomplexifiant la tâche (Quintana & al., 2004 ; Reiser, 2004).

Nous allons pour cela, identifier les techniques de résolution de la tâche « expertes » pour chacune des étapes imposées dans les protocoles N1 et N2. Notons que l'étape 1 qui consiste à placer les microorganismes en anaérobie et à température optimale, est celle qui contient l'objectif principal d'apprentissage attendu en TS de spécialité SVT. Ainsi, nous nous attarderons davantage sur son analyse.

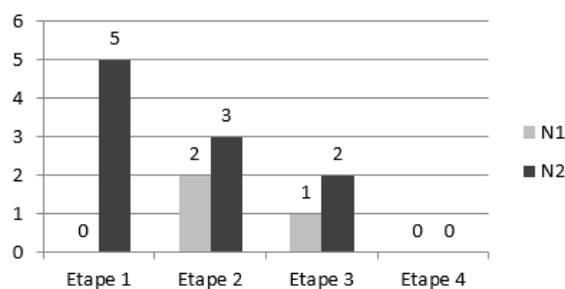


Figure 73 : nombre de protocoles possédant une technique de résolution experte, par étape, selon N1 (sur 19) et N2 (sur 21)

Nous remarquons l'absence de technique de résolution « experte » pour l'étape 4 (Recueillir les données) quel que soit le type de protocole. En revanche il y a davantage de techniques de résolution « expertes » pour le groupe N2, pour toutes les autres actions. Cependant, le nombre de techniques de résolution « expertes » par étape reste faible par rapport au nombre total d'élèves par groupe (19 pour N1 et 21 pour N2).

Afin d'analyser les techniques de résolution proposées par les élèves pour chacune des étapes imposées, nous avons identifié les actions attendues et présentes dans les protocoles des élèves selon les types de protocoles et quelles sont celles, en dehors du protocole « expert », qu'ils proposent.

Nous allons ainsi regarder les actions non expertes proposées dans les protocoles des élèves pour les étapes 1 et 2 du protocole afin d'identifier les difficultés qui peuvent être de nature conceptuelle ou bien en lien avec les pré structurations des actions que nous proposons dans les protocoles N2.

Cette analyse ne prend pas en compte la pertinence du paramètre de l'action choisi.

Concernant l'étape 1 (« placer les microorganismes dans les conditions du milieu ») : on note que la condition principalement citée dans cette étape est la température du milieu qui correspond à l'action « chauffer » (10/19 pour N1 et 14/21 pour N2). La deuxième condition nécessaire et attendue dans les protocoles qui est formalisée par l'action « fermer le contenant » est moins présente (7/19 pour N1 et 12/21 pour N2). L'association des deux conditions semble être difficile pour les élèves.

De plus, dans cette étape, les élèves ajoutent des actions qui ne sont pas attendues dans le protocole expert. On constate un nombre important d'actions « ajouter une solution » (11 élèves sur 40) (annexe 5b) « choisir la durée de l'expérience » (8/40) ou des actions « autres » (12/40) que celles proposées dans le protocole expert, et essentiellement présentes dans les protocoles N1. La présence non négligeable de l'action « ajouter une solution » dans les deux types de protocoles, combinée à la proposition d'une action non pré structurée « verser un volume dans un contenant », nous amène à revoir l'action pré structurée « prélever une solution » (figure 74).

L. ● **Prélever une solution.**
 Je prélève mL de à l'aide d'une éprouvette graduée et je la place dans un tube à essai de 40mL.
 J'appelle ainsi cette solution : .
 Commentaire :
 Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 Valider Annuler

Figure 74 : action pré structurée « prélever une solution »

Pour les protocoles N2, les valeurs de paramètres de cette action sont fixées, « contenant », « matériel pour prélever », ce qui semble entraver son utilisation par les élèves. Nous pourrions ainsi faire évoluer la situation en décomposant l'action « prélever une solution » en deux actions distinctes « prélever une solution » et « verser une solution dans un contenant » sans fixer les valeurs de paramètres.

Concernant l'étape 2 (préparer les dispositifs expérimentaux de mesure): dans cette étape les élèves préparent peu de dispositifs expérimentaux, légèrement plus pour les produits que les réactifs. Il y a peu de différence entre les groupes N1 et N2. Les élèves ne semblent pas s'approprier les actions de préparation des dispositifs.

Concernant les étapes 2 (préparer les dispositifs expérimentaux de mesure) **et 4** (recueillir les données): on remarque dans l'étape 4 peu d'actions expertes relatives à la mise en évidence de la disparition des réactifs et à l'apparition des produits (« Observer une réaction / réaliser une mesure). Ce constat est d'autant plus marquant dans les protocoles du type N1. Il semblerait que la correspondance entre la préparation des dispositifs et la mesure/observation des réactifs et produits ne se fait pas. Cela pourrait s'expliquer par une confusion entre les termes de « préparation de dispositifs », de « mesure d'une quantité » ou « d'observation d'une réaction ». De plus, les actions concernant les observations et les mesures attendues dans l'étape 4 sont proposées par les élèves dans l'étape 3 « initier l'expérimentation ». La distinction entre l'initiation de l'expérimentation (étape 3), du fait du démarrage de la réaction chimique par l'ajout de substrat, et le recueil de données (étape 4) avec la réalisation des mesures et des observations, n'est pas clair pour les élèves. Ceci laisse supposer que les termes proposés dans la pré structuration des actions (titre de l'action) ne sont pas significatifs pour les élèves. En effet, on « prépare le matériel » de façon général, tout comme « on réalise une mesure » qu'elle soit qualitative ou quantitative.

La pré structuration devient ainsi gênante et non conforme au vocabulaire couramment utilisé par les élèves, auquel cas il faudrait revoir les termes employés.

L'absence de protocoles « experts » dans les protocoles du type N1 met en avant la nécessité d'étayer le choix de la technique de résolution via la liste d'actions proposée dans la pré structuration. Il s'agit d'un étayage qui aide les élèves à proposer un protocole pertinent, sans être suffisant pour autant.

On note l'ajout d'actions supplémentaires ou bien l'absence de certaines actions selon les étapes, ce qui nous amène à reconsidérer la formulation des actions pré-structurées. En effet, les résultats révèlent une confusion dans la compréhension et l'utilisation de certaines actions : les élèves semblent ne pas faire la distinction entre les verbes d'action « prélever et verser » ou bien « observer et mesurer » ce qui nécessiterait peut-être une reformulation des actions ou bien d'étayer cette difficulté par exemple avec l'apport d'un document ressource.

3.2.2 Pertinence de la valeur du paramètre

Dans cette partie nous présentons les résultats concernant la pertinence des valeurs de paramètres d'action choisies par les élèves.

Nous avons fait l'hypothèse que la pré structuration des actions incite les élèves à réfléchir sur des choix de valeur de paramètres, que les protocoles de type N1 proposent peu de paramètres, et que pour ceux qui sont proposés les valeurs choisies sont maîtrisées. De plus, nous avons mis en place une pré structuration de justifications de choix de valeurs de paramètres (N3) car nous pensons qu'elle favorise le paramétrage correct des actions. Rappelons que le paramétrage des

actions, et les propositions de valeurs de paramètres dans les menus déroulants peuvent être à l'origine de difficultés identifiées *a priori* (chapitre 7).

La figure 75 ci-dessous présente, pour les protocoles « libres » N1, le rapport entre le nombre de valeurs de paramètres correctes proposés par les élèves et celles attendues dans le protocole expert.

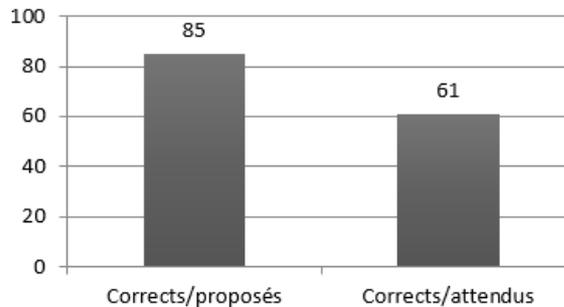


Figure 75 : % de valeurs de paramètres correctes dans les protocoles N1

Nous remarquons que le rapport valeurs de paramètres correctes/proposées par les élèves est supérieur (85%) au rapport valeurs de paramètres correctes/attendues dans l'ensemble des protocoles N1 (61%). Ces résultats confirment que les élèves proposent des paramètres d'actions s'ils les pensent nécessaires et maîtrisés. Par exemple la température, le matériel pour fermer le contenant sont des paramètres souvent présents et valides, alors que le matériel pour prélever une solution ou bien le volume à prélever, sont des paramètres peu renseignés. On peut ainsi supposer que les paramètres peu renseignés sont à l'origine de difficultés.

Les résultats présentés dans la figure 76 montrent le pourcentage de valeurs de paramètres correctes par rapport à l'ensemble des paramètres attendus dans les protocoles pré structurés N2 et N3. En effet, nous faisons l'hypothèse que la pré structuration des justifications favorise le paramétrage correct des actions.

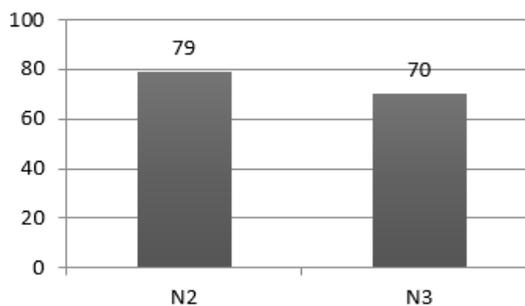


Figure 76 : % de valeurs de paramètre d'action correctes, en fonction du nombre total de valeurs de paramètres attendues dans les protocoles N2 et N3

Nous remarquons ainsi que le nombre de valeurs de paramètres corrects par rapport au nombre total de paramètres attendu est supérieur pour les protocoles du type N2 (79%), alors que les protocoles N3 ont un pourcentage de réussite moindre (70%).

La pré structuration des justifications ne semble pas favoriser le choix d'une valeur de paramètre pertinente, contrairement à nos attentes. Nous regarderons par la

suite les paramètres à l'origine des erreurs, et s'il existe un lien entre les erreurs de justification et celles des valeurs de paramètres concernés.

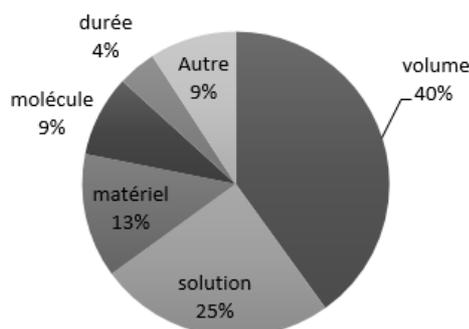


Figure 77 : répartition des erreurs selon les paramètres d'action dans l'ensemble des protocoles

L'erreur sur la valeur de paramètre « volume à prélever » ou « ajouter un volume » est majoritaire à 40% des erreurs repérées sur les valeurs de paramètres. De plus, deux autres erreurs de valeurs de paramètres sont également significatives, à savoir sur le paramètre « solution à prélever ou ajouter » (25%) et sur le « type de matériel » (13%). Les paramètres pour lesquels on trouve le plus d'erreur dans les protocoles N2 sont ceux qui sont absents des protocoles du type N1 (paragraphe 1.1.3).

Nous avons mis en évidence que les valeurs de paramètres à l'origine d'erreurs récurrentes dans les protocoles pré structurés (N2 et N3) sont les mêmes que celles qui sont absentes dans les protocoles libres (N1). La pré structuration pousse ainsi les élèves en dehors de leur « zone de confort », dans le sens où le choix de valeur de paramètre imposé oriente les élèves vers des concepts ciblés, qui peuvent être à l'origine de difficultés.

Afin d'affiner les résultats, nous avons choisi de détailler les erreurs de valeurs de paramètres concernant l'étape 1 modélisée par un type de tâche principal, qui est objectif d'apprentissage, et sur lequel portent des erreurs identifiées *a priori*.

Etape 1 : « placer les microorganismes dans les conditions du milieu ». La technique de résolution se décline selon trois actions pré structurées « prélever une solution », « fermer un contenant » et « porter et maintenir la solution à température ».

Les valeurs de paramètres attendus dans le protocole expert sont présentées dans la figure ci-dessous.

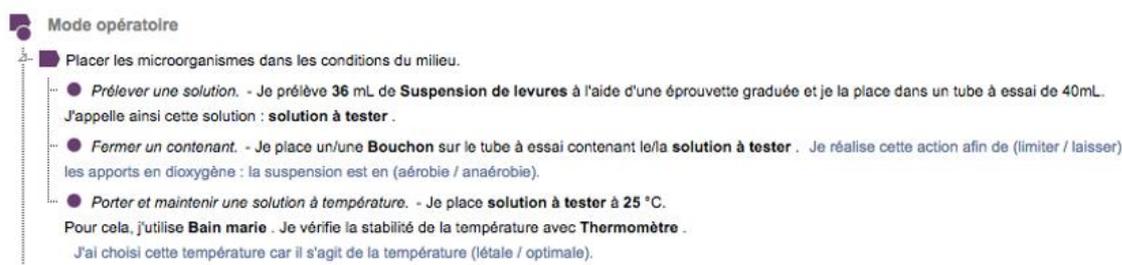


Figure 78 : protocole expert de l'étape 1 (valeurs de paramètres attendues) du protocole N3

Les tableaux qui suivent recensent les erreurs de paramétrage d'actions selon N2 et N3 et les propositions de paramètres erronés.

- **Concernant l'action « prélever une solution »** : elle comprend deux paramètres (volume et type de solution) à compléter pour lesquels il n'y a pas de justification pré structurée proposée (nous regroupons ainsi les données des protocoles N2 et N3).

Choisir le volume (paramètre libre)	Volume correct (36ml)	Erreur volume	Propositions (majoritaires) erronées
N2 et N3	0/40	40/40	10ml, 1ml (+ 7 autres propositions minoritaires)

Tableau 38 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3

Nous remarquons qu'il y a 100% d'erreurs sur le choix de cette valeur de paramètre d'action. De plus, les élèves proposent majoritairement la combinaison 10ml de levures et 1 ml de glucose, ce qui, en terme de proportion est correcte pour démarrer la réaction, mais incorrect pour respecter la condition de mise en anaérobie des levures présentes dans un tube à essai de 40ml. C'est une réaction de respiration cellulaire et non de fermentation alcoolique qui va se mettre en place dans ce cas.

Nous pouvons néanmoins expliquer cette proposition de choix de valeur de paramètre erronée en regardant les données des documents ressources. En effet, dans le document 1, il est noté qu'« *il faut compter 1ml de glucides pour 10mL de suspension de levures à 10g/L* ». Ainsi, les réponses des élèves ont pu être influencées par ces données. De plus il ne s'agit pas d'une tâche usuellement à leur charge, la décision de faire le calcul nécessaire à la réalisation de la tâche peut ainsi être à l'origine de difficultés. Nous avons également mis en évidence cette même difficulté liée au volume dans l'analyse des tests.

Nous pouvons aussi nous demander si le fait que la valeur de paramètre concernant le « contenant » (le tube à essai de 40 ml) soit fixée dans l'action, incite les élèves à ne pas réfléchir sur le choix du volume à prélever.

Enfin, nous remarquons que le nombre de propositions dans les protocoles des élèves est très varié (9 propositions de volume pour N2). Néanmoins aucun protocole ne propose le volume attendu de 4ml de glucose et de 36 ml de suspension de levures selon l'information apportée par l'étayage fixe (document ressource n°1 « *il faut compter 1ml de glucides pour 10ml de suspension de levures* »).

Cette variété de propositions (volume) erronées nous incite à repenser les étayages fixes mis à disposition dans les documents ressources pour ce choix de valeur du paramètre.

- L'étayage proposé par le document ressource n'est pas adapté car il peut induire en erreur. Il est nécessaire de réaliser un calcul simple. Les concepts de mathématiques utilisés peuvent être à l'origine de ces erreurs. Cependant, les notions auxquelles ce calcul se réfère sont acquises depuis le collège. Sachant qu'il ne s'agit pas d'une tâche couramment réalisée en SVT, nous pouvons émettre l'hypothèse d'une difficulté liée au cloisonnement des disciplines, (Fortin, 2004), qui obligerait les élèves à décontextualiser la situation pour la réussite de cette tâche. Néanmoins la difficulté peut également venir du fait qu'il faut croiser deux informations pour effectuer le calcul approprié (proportion de glucide dans la ressource 1 et volume du matériel disponible dans copex).
- La valeur du paramètre attendue est trop stricte. En effet, plusieurs autres combinaisons de volumes peuvent scientifiquement fonctionner, c'est à dire que la fermentation peut tout à fait avoir lieu dans ces cas. Les proportions importent peu dans cette manipulation. On pourrait finalement accepter un intervalle de volume qu'il faudrait définir, et proposer un étayage en fonction dans les documents ressources.
- Enfin, les deux actions pré structurées qui contiennent ces choix de volume, sontelles mêmes à l'origine de difficultés, du fait que certaines de leurs valeurs de paramètres nécessaires au choix du volume sont fixées (tube à essai de 40 ml) et orientent l'élève vers un seul choix correct.

Nous présentons ci-dessous les valeurs du paramètre « solution choisie » dans les protocoles N2 et N3 pour cette même action « prélever une solution ».

Choisir la solution (menu déroulant)	Solution correcte (levures)	Erreur solution	Propositions erronées
N2 et N3	25/40	15/40	Oses Bactéries Eau de chaux

Tableau 39 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3

Nous remarquons que la solution choisie est correcte dans 25 protocoles pré structurés. Néanmoins 15/40 valeurs restent erronées.

L'analyse des valeurs erronées proposées par les élèves révèle des difficultés identifiées *a priori*. En effet, le choix des bactéries au lieu des levures peut être corrélé aux travaux de recherche menés par Songer & Mintzes (1994) et Schneeberger & Rodriguez (1999) qui mettent en évidence une confusion entre les microorganismes.

Enfin, pour certains élèves, « la réaction est initiée avec l'ajout de levures dans la solution de glucose ». Cela révèle une confusion quant à l'initiation de la réaction mise en évidence par Carretto & Viovy (1994) mais aussi une méconnaissance du fonctionnement du vivant et notamment l'association des levures avec le vivant (Schneeberger & Rodriguez, 1999).

Ces erreurs concernant les solutions choisies valident la nécessité de proposer aux élèves dans la pré structuration, ce choix de valeur de paramètre, sous la forme d'un menu déroulant dont les propositions ciblent certaines difficultés identifiées *a priori*.

- **Concernant l'action « fermer un contenant »** : elle comprend deux valeurs de paramètres à compléter (le matériel et la solution). Il s'agit d'une action pour laquelle il y a une justification pré structurée proposée (nous distinguons ainsi les données des protocoles N2 et N3).

Choisir le matériel (menu déroulant)	Matériel correct (bouchon)	Erreur matériel	Propositions erronées
N2	20/21	1/21	Boite hermétique
N3	19/19	0/19	

Tableau 40 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3

Nous remarquons que le matériel choisi est correct quel que soit le type de protocole. La pré structuration de l'action, et notamment des valeurs de ce paramètre par la proposition d'un menu déroulant, semblent aider les élèves à choisir la valeur de ce paramètre.

La liste de propositions de matériel mise à disposition dans le menu déroulant permet de restreindre les propositions qui ne sont pas dans la liste et qui, selon l'exemple ci-dessus (boite hermétique) ne sont pas à disposition des élèves dans les établissements.

Nous présentons ci-dessous les valeurs du paramètre « solution choisie » dans les protocoles N2 et N3.

Choisir la solution (menu déroulant)	Solution correcte (levures)	Erreur solution	Propositions erronées
N2	17/21	4/21	Bactérie Eau de chaux
N3	16/19	3/19	Solution de glucose

Tableau 41 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3

La solution choisie pour fermer le contenant est globalement correcte quel que soit le type de protocole. Néanmoins, nous retrouvons des propositions de paramètres erronés qui révèlent des difficultés identifiées *a priori*. En effet, une confusion des microorganismes avec la proposition de bactérie, mais aussi, une difficulté liée à l'association du vivant à la fermentation alcoolique. En effet, les propositions qui consistent à fermer les tubes à essai contenant l'eau de chaux et la solution de glucose sans levure, laissent supposer que ce ne sont pas des organismes vivants tels que la levure, qui sont à l'origine de la fermentation alcoolique. Les propositions de valeurs pour ce paramètre mises à disposition dans le menu déroulant permettent ainsi de révéler cette difficulté.

Il n'y a néanmoins pas de différence notable entre les deux types de pré structuration de protocole (N2 et N3). Nous ne pouvons pas conclure sur l'impact de la pré structuration de la justification du choix de la solution à fermer.

- **L'action « porter et maintenir une solution à température »** : elle comprend trois paramètres d'actions (la température, la solution et le matériel) et une justification pré structurée. Nous distinguons ainsi les données des protocoles N2 et N3.

Nous présentons ci-dessous les valeurs du paramètre « solution choisie » dans les protocoles N2 et N3.

Choisir la solution (menu déroulant)	Solution correcte (levures)	Erreur solution	Propositions erronées
N2	19/21	2/21	Eau de chaux Solution de glucose
N3	18/19	1/19	

Tableau 42 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3

La solution choisie pour fermer le contenant est globalement correcte quel que soit le type de protocole. Les propositions de valeurs de paramètres erronées sont négligeables et reprennent les remarques précédentes. En effet, on retrouve dans les protocoles « de l'eau de chaux mise au bain marie ».

Choisir la température (menu déroulant)	Température correcte (25°C)	Erreur température
N2	21/21	0/21
N3	19/19	0/19

Tableau 43 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3

Les valeurs du paramètre de la température, complétées par les élèves, sont correctes dans l'ensemble des protocoles.

L'étayage fixe qui précise la température optimale de réaction des levures, mis à disposition dans les documents ressources est efficace.

Choisir le matériel (menu déroulant)	Matériel correct (bain marie)	Erreur matériel	Proposition erronée
N2	19/21	2/21	Bouilloire
N3	16/19	3/19	

Tableau 44 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3

Le matériel choisi pour chauffer la suspension est globalement correct quel que soit le type de protocole. Les propositions de valeurs de paramètres erronés sont négligeables mais reprennent des erreurs identifiées en classe (chapitre 7).

Les propositions de valeurs pour ce paramètre mises à disposition dans le menu déroulant permettent ainsi de révéler cette difficulté.

3.2.3 Pertinence des justifications

Les difficultés à l'origine de ces valeurs de paramètres erronées, doivent, selon nos hypothèses, se retrouver dans les choix de justifications pré structurés (pour les protocoles de type N3), car nous pensons que les justifications influencent les choix de valeurs de paramètre d'action.

La figure 79, présente les résultats concernant l'analyse des justifications pré structurées des protocoles N3.

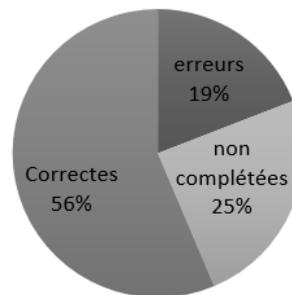


Figure 79 : paramétrage des justifications pré structurées (protocoles N3)

Nous remarquons que 16 justifications sont incorrectes sur les 88 attendues.

Or, seules 5 des 16 erreurs de justifications pré structurées (dans les protocoles N3) sont en lien avec une erreur de choix de valeurs de paramètre de l'action concernée.

La pré structuration des justifications semble ne pas influencer le choix de la valeur du paramètre.

3.3. Conclusions

Les résultats nous permettent de répondre aux questions de recherche précédemment citées :

- * Est-ce que la pré structuration proposée des étapes et des actions facilite la production par les élèves d'un protocole communicable ?
- * Est-ce que la pré structuration proposée des étapes et des actions est utilisée dans la production de protocole par les élèves ?
- * Est-ce que la pré structuration proposée des actions facilite la production par les élèves d'un protocole pertinent ?
- * Est-ce que la pré structuration des justifications proposée favorise le choix de paramètres d'action corrects ?

Nous avons ainsi mis en évidence que la pré structuration des actions :

- ✓ est utilisée dans la production de protocole
- ✓ facilite la production du protocole en étapes et en actions
- ✓ facilite le paramétrage des actions
- ✓ facilite la production de protocoles pertinents en terme de technique de résolution

- ✓ révèle certaines difficultés identifiées *a priori* dans les choix de valeurs de paramètres d'actions par les élèves

Et la pré structuration des justifications :

- ✓ est utilisée dans la production de protocole
- ✓ ne favorise pas le choix de valeurs de paramètres d'actions correctes

De plus, l'analyse des erreurs, des reformulations et des propositions d'actions ou de justifications hors pré structuration nous amène à proposer des modifications de la pré structuration proposée :

- Décomposer l'action « multi-tâches » « prélever une solution » en actions « simples »
- Limiter les valeurs de paramètres d'action fixées
- Proposer une justification pré structurée portée essentiellement sur la valeur du paramètre
- Modifier les documents ressources afin d'étayer des difficultés récurrentes

4. Conclusions de l'expérimentation

L'analyse épistémologique précédemment menée, a permis de dégager les principales difficultés relatives aux concepts qui définissent la fermentation alcoolique mais aussi celles liées à l'activité de conception de protocole expérimental que la situation propose. Ainsi nous avons relevé :

- Des difficultés à distinguer les différents métabolismes et notamment la confusion entre les métabolismes de la respiration cellulaire et de la fermentation alcoolique. (Flores & al., 2003 ; Songer & Mintzes, 1994 ; Guyon, 1987 ; Schneeberger & Rodriguez, 1999)
- Des difficultés à associer le métabolisme de la fermentation alcoolique à un processus impliquant des organismes vivants. (Songer & Mintzes, 1994 ; Guyon, 1987 ; Schneeberger & Rodriguez, 1999)
- Des difficultés liées à la matérialité du gaz et à leur dissolution (Séré, 1986 ; Stavy, 1988)
- Des difficultés à associer l'équation de réaction statique à un phénomène dynamique et complexe (Barlet & Plouin, 1994 ; Carretto & Viovy, 1994)
- Des difficultés à décroisonner les disciplines et à conceptualiser hors du champ disciplinaire (Fortin, 2004)
- Des difficultés liées à l'objet protocole (Girault & d'Ham, 2014), qui met en œuvre des activités cognitives de haut niveau (Berthet & al., 2015).

Ces difficultés sont, pour certaines, prises en charge par la situation proposée dans la plateforme informatique LabBook. En effet, différents étayages comme la pré structuration des étapes et des actions du protocole, la mise à disposition de documents ressources, aident les élèves à produire un protocole sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique.

L'expérimentation menée dans des classes de terminale scientifique de spécialité a été construite et réalisée afin de répondre aux questions de recherche suivantes :

- * La pré structuration du protocole et des justifications fait elle évoluer les représentations des élèves sur le métabolisme de la fermentation alcoolique ?
- * La situation de conception expérimentale incluant la conception d'un protocole favorise-t-elle les apprentissages ?
- * Est-ce que la pré structuration proposée des étapes et des actions favorise la production d'un protocole communicable et pertinent ?

L'analyse des tests et des protocoles nous a montré que la situation proposée de conception de protocole expérimentale favorise les apprentissages à la fois en ce qui concerne les concepts fondamentaux liés à la fermentation alcoolique, mais aussi concernant la production d'un protocole communicable et pertinent. Nous discuterons ainsi de ces deux axes.

L'analyse conjointe des pré tests, des protocoles produits selon le niveau de pré structuration proposé (N1 « libre », N2 « actions pré structurées », N3 « justifications pré structurées »), et des post tests, nous permet d'identifier les réussites à la tâche, et des difficultés tenaces des élèves après l'utilisation de la situation.

Les différentes analyses ont montré que les représentations des élèves, après l'utilisation de la situation proposée, évoluent vers celles attendues par l'institution. Néanmoins, elles révèlent également des difficultés identifiées dans la littérature dont certaines ont été prises en charge par la situation proposée dans LabBook.

Nous avons mis en évidence des difficultés inhérentes à la confusion entre les deux types de métabolismes que sont la respiration cellulaire et la fermentation alcoolique (Flores & al., 2003).

Malgré la réussite des élèves à identifier les réactifs et les produits de la fermentation alcoolique dans le test (questions 5c et d et 10 du test), l'identification des conditions (température et anaérobie) nécessaires à la réalisation de ce métabolisme semble à l'origine de difficultés (questions 5a, 8 et 11).

En effet, la température optimale de la réaction n'est pas intégrée par les élèves. Autant ils arrivent à faire le lien entre température et vitesse de réaction (questions 6 et 7) et donc à expliquer les conséquences d'une variation de température du milieu sur la vitesse de réaction (concept de chimie maîtrisé), autant ils n'arrivent pas à relier la nécessité d'une température optimale du milieu avec l'utilisation de microorganismes vivants.

Cela se traduit dans les protocoles par l'absence de microorganismes dans la réaction. Ou bien par la mise au bain marie d'une solution ne contenant pas les microorganismes.

Le concept de microorganisme est ainsi à l'origine de plusieurs difficultés tenaces.

En effet, l'analyse des pré tests (représentations initiales de la question 2) et des protocoles (paramètres des actions) montre une confusion récurrente entre les bactéries et les levures comme l'ont montrés les travaux de Songer & Mintzes (1994). La situation proposée dans LabBook, permet ainsi d'identifier cette

difficulté avec les choix de paramètres mis à disposition des élèves dans les actions pré structurées.

De plus, la difficulté à classer les levures dans le monde du vivant (Schneeberger & Rodriguez, 1999) ne permet pas aux élèves de prendre en compte la contrainte biologique que cela implique. La réaction met un certain temps à démarrer du fait du fonctionnement des levures et de leur aptitude à réaliser deux métabolismes. Cela nécessite des conditions du milieu strictes pour l'initiation de la réaction qui est dynamique et irréversible. Cela demande notamment d'anticiper et de planifier les mesures à réaliser. Ce dernier point est également à l'origine de difficultés, car il n'y a pas ou peu d'évolution entre les résultats de la question 12 du pré test et du post test 1.

Une autre condition indispensable à la réalisation par les levures de la fermentation alcoolique est la mise en anaérobie. La technique proposée afin de répondre aux contraintes matérielles d'un établissement, consiste à fermer le contenant de la suspension qui doit être rempli au maximum afin de limiter la diffusion des gaz présents dans l'air qui favoriserait l'utilisation du métabolisme de la respiration cellulaire.

L'analyse des pré tests a mis en évidence une difficulté liée principalement au volume de suspension de levure présent dans le contenant (questions 8 et 11).

L'analyse des paramètres d'actions présents dans les protocoles des élèves confirme cette difficulté. La pré structuration proposée met ainsi en évidence cette difficulté. Pour autant, les documents ressources et les paramètres fixés de l'action concernée qui, à l'origine devaient proposer un étayage pour aider les élèves à choisir le volume, semblent ne pas aider les élèves, voir même les conforter dans leurs erreurs. De plus, l'analyse des post tests 1 et 2, révèle que la pré structuration des actions n'a pas d'impact sur la technique de mise en anaérobie (fermer le contenant), car les élèves réussissent quel que soit le type de protocole (N1, N2, N3). La liste commune de matériel imposée semble influencer le choix de cette technique. Cependant, l'analyse révèle également que la difficulté liée au volume de suspension à verser dans le contenant est tenace. La pré structuration des actions et les documents ressources mis à disposition n'aident pas les élèves à choisir un volume pertinent. La fixation des paramètres de l'action, comme le volume du contenant, et les données du document ressource semblent influencer les élèves vers le choix d'une valeur de paramètre erronée.

Seules la manipulation et les rétroactions de l'enseignant corrigent cette erreur, ce qui est visible dans l'analyse des post tests 2. En effet, le logiciel ne permet actuellement pas de proposer des rétroactions automatiques.

Ainsi, nous proposons de modifier les documents ressources et les actions pré structurées concernées (chapitre 10).

Concernant l'objet protocole, les analyses des protocoles ont mis en évidence que la pré structuration du protocole en étapes et en actions (N2) favorise la production d'un protocole communicable et pertinent. La pré structuration est donc un étayage qui aide les élèves à concevoir un protocole. Cependant, comme nous l'avons précisé dans le chapitre 1, il n'existe actuellement aucune référence concernant les attentes institutionnelles sur la structure d'un protocole. Ainsi, nous pouvons conclure que les protocoles pré structurés élaborés par les élèves se

rapprochent d'un protocole expert conçu à partir de critères développés dans des travaux de recherche (Girault & al., 2012).

Cependant, l'analyse des erreurs récurrentes concernant les paramètres d'actions discutée précédemment, et l'utilisation des actions nous amène également à proposer des modifications de pré structuration des actions.

En effet, les résultats ne permettent pas de statuer sur le type de pré structuration des actions à préconiser. Nous avons proposé des actions simples tâches et des actions multi tâches. Or les élèves ont proposé une décomposition de certaines actions multi tâches, mais n'ont pas pour autant utilisé à bon escient certaines actions simples. Ainsi, nous nous posons la question du type de pré structuration qui favoriserait davantage la production d'un protocole communicable et pertinent, à savoir une pré structuration d'actions simples qui correspondraient à des tâches ou types de tâches génériques, ou bien une pré structuration d'actions multi tâches qui correspondraient davantage à des regroupements de tâches ou types de tâches.

Ces conclusions nous amènent à proposer une nouvelle expérimentation afin de proposer et de tester une situation modifiée qui prend en compte ces remarques et nouveaux questionnements.

Chapitre 10 : 2^{ème} expérimentation sur la pré structuration des actions

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de la deuxième expérimentation menée afin de tester deux nouveaux types de pré structuration d'actions, qui propose d'agréger plusieurs actions du protocole en une seule. Ces nouvelles propositions font suite aux remarques et aux conclusions de l'analyse de la première expérimentation menée dans 5 classes de terminale scientifique de spécialité SVT.

1. Questions de recherche

A la suite de l'analyse des résultats de la première expérimentation nous proposons des modifications de la situation.

Nous avons remarqué des difficultés pour les élèves concernant la formulation de certaines actions. En effet, nous proposons dans la première expérimentation à la fois des actions modélisées par une seule tâche, ou bien des actions modélisées par une association de tâches. Les élèves, par eux-mêmes dans les protocoles libres, ont rédigé des actions qui se réfèrent à une « tâche unique » ou à des « multi-tâches » du modèle praxéologique.

Ainsi, nous proposons dans cette expérimentation d'étudier de façon rigoureuse et systématique la formulation des actions du protocole.

Pour cela, nous proposons deux types de pré structuration : la première propose des actions pré structurées relatives à une seule tâche ou type de tâche du modèle praxéologique, et une seconde qui propose de regrouper plusieurs tâches ou type de tâches selon les possibilités en une action.

Ces nouvelles propositions visent à résoudre les questions de recherche suivantes :

- * Existe-t-il un type de pré structuration des actions (à tâche unique ou multi tâches) qui favorise davantage la conception d'un protocole communicable par les élèves ?

Nous étudierons si les élèves s'approprient davantage un type de pré structuration des actions, plutôt qu'un autre, dans le but de préconiser une méthode de pré structuration des actions. Nous faisons l'hypothèse que les deux pré structurations proposées favorisent la production d'un protocole communicable.

- * Quel type de pré structuration des actions proposé favorise le choix d'une technique de résolution pertinente ?

Nous pensons que la liste des actions multi-tâches proposée favorise le choix d'une technique de résolution plus pertinente. Les actions sont davantage porteuses de sens et de ce fait les élèves auront plus de facilité à se les approprier.

Par ailleurs, l'analyse des résultats de la première expérimentation a également montré que certains choix de valeurs de paramètres, comme le volume de suspension de levures ou de glucose à prélever, ne sont pas suffisamment étayés par les documents ressources mis à dispositions des élèves. Nous proposons

également de modifier en partie cet étayage fixe. Ces modifications nous amènent aux questions suivantes :

- * Est-ce que les étayages fixes (documents ressources et actions pré structurées) proposés par la plateforme favorisent une technique de résolution et un choix de valeurs de paramètres pertinents pour la mise en anaérobie des levures ?

Nous faisons l'hypothèse que les modifications apportées aux étayages favorisent le choix d'une valeur de paramètre pertinente pour les actions concernées.

2. Pré structurations proposées

Dans ce paragraphe nous présentons les modifications apportées à la situation précédemment proposée, ainsi que les deux nouvelles pré structurations mises à l'épreuve dans une deuxième expérimentation.

2.1. Modifications de la situation

2.1.1 Modification du rapport expérimental avec l'outil Copex

Nous ne mettons plus à la charge de l'élève la partie intitulée « principe de manipulation » dans Copex. (Figure 80 ci-dessous)



Figure 80 : modification du principe de manipulation

En effet, certains élèves ne comprennent pas les attentes de cette consigne et rédigent le protocole dans cette rubrique (annexe 5c). Il s'agit pourtant d'une étape proposée dans l'évaluation des capacités expérimentales au bac. Afin de faciliter l'analyse des données, et de limiter les erreurs des élèves concernant cette rubrique, nous choisissons de ne plus la formaliser dans le rapport expérimental.

2.1.2 Modifications du document ressource n°1 : « la fabrication de la bière »

Concernant ce document ressource, comme nous l'avons mis en évidence dans les résultats, certains choix de valeurs de paramètres comme le volume de suspension ou de glucose, sont à l'origine de difficultés récurrentes. En effet, nous souhaitons mettre à la charge de l'élève la nécessité d'une mise en anaérobie stricte, c'est à dire que le volume de solution (suspension de levures + solution de glucose) doit être maximal par rapport au volume du contenant. Nous comparons dans le tableau ci-dessous les modifications apportées.

Type d'information contenu dans le document 1	Formulation lors de la 1 ^{ère} expérimentation	Formulation lors de la 2 ^{ème} expérimentation
Condition du milieu	Anaérobie	Anaérobie (sans dioxygène)
Volume de suspension à prélever et volume de glucides à ajouter	Il faut compter 1mL de glucose pour 10mL de suspension de levures	Il faut compter ¼ de glucides pour ¾ de suspension de levures

Tableau 45 : modification du document ressource n°1

Nous avons proposé un étayage fixe dans le document ressource de la première expérimentation qui nécessitait un calcul simple pour lequel les élèves devaient prendre en compte le volume du tube à essai que nous avons fixé à 40ml. Les élèves, lors de l'expérimentation 1, n'ont pas réussi cette tâche, et les données du document 1 semblaient influencer le choix de valeurs de paramètre erroné.

Ainsi, comme les volumes attendus correspondent à une proportion entre la suspension de levure et la solution de glucide, et que le calcul semble être à l'origine de difficultés, nous proposons de laisser davantage de liberté aux élèves sur le choix des contenants et de leur volume.

Dans ce même document, nous avons également apporté une autre modification concernant la définition de l'anaérobie, en précisant qu'il s'agit d'un milieu dépourvu de dioxygène. En effet, l'objectif de l'activité proposée étant de mettre à la charge de l'élève la technique de mise en anaérobie des levures sans pour autant que la signification du terme ne soit à l'origine de difficulté.

2.2. Modifications de la pré structuration des actions

Comme nous l'avons déjà mentionné, suite aux conclusions de la première expérimentation, et au regard de nos questions de recherche, nous proposons de mettre à l'épreuve deux nouveaux types de pré structuration des actions dans des classes.

Nous faisons les choix de :

- ✓ modifier les paramètres de l'action : pour cela, nous ne fixons plus certains paramètres d'action (verrerie, et volume de la verrerie) afin de les laisser à la charge de l'élève. L'action est ainsi une tâche plus générique.
- ✓ modifier le type d'action pré structuré : pour cela, nous proposons deux types de pré structurations. La N2a qui contient des actions pré structurées relatives à des tâches « uniques ». La N2b qui contient des actions pré structurées « multi-tâches ».
- ✓ modifier les étapes pré structurées imposées : en effet nous supprimons l'étape « laver le matériel », nous laissons ce type de tâche en action uniquement car elle peut être utilisée dans plusieurs étapes.

Le tableau 46 ci-dessous présente la pré structuration initiale « N2 » des étapes et des actions, proposée pour la première expérimentation, puis pour chaque étape et action nous proposons les évolutions.

Nous obtenons ainsi une pré structuration des actions en tâches uniques que nous appelons N2a et une pré structuration des actions en tâches multiples que nous appelons N2b.

Les étapes et actions à l'origine de difficultés sont modifiées ; à l'inverse, celles qui ne le sont pas restent identiques à celles proposées dans le protocole de type N2.

Le tableau 46, présente ainsi l'ensemble des étapes et des actions pré structurées, proposées dans les protocoles N2 de la 1^{ère} expérimentation, et N2a et N2b de la 2^{ème} expérimentation.

Nous faisons apparaître en *italique* les étapes et actions à l'origine de difficultés et en souligné les propositions de modification.

Etapas pré structurées	Actions pré structurées		
	1 ^{ère} expérimentation : protocole N2	2 ^{ème} expérimentation : protocole N2a pré structuration des actions en tâches uniques	2 ^{ème} expérimentation : protocole N2b pré structuration des actions en multi tâches
A) Placer les microorganismes dans les conditions du milieu	(1) <i>Prélever une solution : Je prélève (a) ml de (b) à l'aide d'une éprouvette graduée et je les place dans un tube à essai de 40ml : J'appelle ainsi cette solution: (c)</i> <i>* difficulté d'utilisation et d'appropriation de cette action multi tâches dont certains paramètres sont fixés.</i>	- (1) Prélever une solution Je prélève (a) ml de (b) à l'aide d'un(e) (c) - (2) Verser une solution dans un contenant Je verse (a) ml de solution de (b) dans (c) - (3) Nommer la solution Je nomme cette solution : (a) <u>* Nous proposons de décomposer l'action en actions simples, et génériques (paramètres non fixés)</u>	- (1) Ajouter une solution Je prélève (a) mL de (b) à l'aide d'un/une (c) et je les verse dans (d). <u>* Nous reformulons l'action multi tâche (1) en laissant les paramètres à la charge de l'élève.</u> - (2) Nommer la solution Je nomme cette solution : (a) <u>*Nous proposons cette action simple afin que l'élève puisse réutiliser, dans la suite du protocole, la solution ainsi produite.</u>
	(2) Fermer un contenant. Je place (a) sur le tube à essai de la (b)	- (4) Fermer un contenant Je ferme le contenant de la solution de (a) avec un (b).	- (3) Fermer un contenant Je ferme le contenant de la solution de (a) avec un (b)
	(3) Porter et maintenir une solution à température : Placer (a) à (b)°C. Pour cela j'utilise (c). Je vérifie la stabilité de la température avec (d)	- (5) Chauffer une solution Je chauffe la solution de (a) à (b) °C. - (6) Utiliser un appareil/dispositif expérimental J'utilise un(e)/de (a) pour (b) <u>* Nous proposons de décomposer l'action en actions simples, et génériques</u>	- (4) Porter et maintenir une solution à température Je place (a) à (b)°C. Pour cela j'utilise (c) Je vérifie la stabilité de la température avec (d).
B) Préparer les dispositifs expérimentaux de mesure	(4) Molécule à mettre en évidence : (a) J'utilise come dispositif expérimental : (b) <i>*Confusion entre la préparation des dispositifs expérimentaux de mesure et la réalisation des mesures.</i>	- (6) Utiliser un appareil/dispositif expérimental J'utilise un(e)/de (a) pour (b) <u>* Nous proposons une action simple, générique</u>	- (5) Utiliser un dispositif expérimental Pour mesurer la (quantité/présence) de/du (a) j'utilise comme dispositif expérimental (b).

Tableau 46 : pré structuration des étapes et des actions des protocoles de types N2a et N2b, par comparaison avec le protocole N2

<p>C) Initier l'expérimentation</p>	<p>(5) Ajouter une solution A l'aide d'un/une (a). Injecter (b) ml de (c) dans (d)</p> <p>(6) Définir la durée de l'expérimentation J'indique la durée de l'expérimentation : (a) (b) *L'action 6 peut être proposée dans d'autres étapes. Nous la désolidarisons de l'étape C.</p>	<p>- (2) Verser une solution dans un contenant Je verse (a) ml de solution de (b) dans (c)</p> <p><u>* Nous proposons une action simple, générique</u> <u>* Nous désolidarisons l'action « définir la durée de l'expérimentation »</u></p>	<p>- (1) Ajouter une solution</p> <p>Je prélève (a) ml de (b) à l'aide d'un/une (c) et je les verse dans (d) de (e) ml</p> <p><u>* Nous désolidarisons l'action « définir la durée de l'expérimentation »</u></p>
<p>D) Recueillir des données</p>	<p>(7) Observer une réaction Molécule concernée : (a). La réaction a lieu si (b)</p> <p>(8) Réaliser une mesure. Je réalise la mesure de/du (a) à t= (b)</p> <p>(9) Utiliser un tableau de données. Je note le/les résultats dans un tableau de données.</p> <p>*Confusion entre les mesures qualitatives et quantitatives.</p>	<p>- (7) Observer le résultat d'une réaction J'observe la présence du/de (a) dans (b) avec le/l'(c) à t= (d) (e)</p> <p>- (8) Réaliser une mesure quantitative Je réalise la mesure de/du (a) à t= (b)</p> <p>- (9) Utiliser un tableau de données. Je note le/les résultats dans un tableau de données.</p> <p><u>*Nous proposons une reformulation des actions en tâche unique. Nous enlevons la justification de l'action.</u></p>	<p>- (6) Recueillir le résultat d'une observation J'observe la présence du/de (a) dans (b) avec le/l' (c) à t= (d) (e) et je note le résultat dans un tableau de données.</p> <p><u>*Nous proposons une action multi tâches qui regroupe les actions 7 et 9 du protocole N2</u></p> <p>- (7) Recueillir une mesure quantitative Je réalise la mesure de/du (a) à t= (b) et je note le résultat dans un tableau de données.</p> <p><u>*Nous proposons une action multi tâches qui regroupe les actions 8 et 9 du protocole N2</u></p>
<p>E) Laver le matériel</p>	<p>(10) Laver le matériel</p>	<p><u>*Suppression de l'étape « laver le matériel ». On ne garde que l'action du même nom qui peut être placée quelle que soit l'étape et est duplicable.</u></p>	
		<p>- (10) Indiquer la durée de l'expérience Je réalise l'expérience pendant (a) (b)</p> <p>- (11) Laver le matériel</p>	<p>- (8) Indiquer la durée de l'expérience Je réalise l'expérience pendant (a) (b)</p> <p>- (9) Laver le matériel</p>

3. Compléments méthodologiques

3.1. Plan expérimental

L'expérimentation est menée en novembre 2016, dans deux classes de terminale scientifique en enseignement spécifique de deux lycées différents.

Le choix de cet enseignement plutôt que celui de spécialité SVT, est justifié par nos questions de recherche qui portent sur le type de pré structuration de protocole que nous pouvons proposer aux élèves comme étayage face aux difficultés de conception qu'ils rencontrent, et non pas sur les apprentissages liés au thème proposé, soit la fermentation alcoolique.

Les élèves de terminale scientifique, en début d'année scolaire, qu'ils soient en spécialité SVT ou en enseignement spécifique, ont les mêmes pré requis concernant le concept de métabolisme et plus particulièrement celui de la fermentation alcoolique étudié en classe de seconde générale. De même, ils ont acquis des techniques de laboratoires requises comme la mise en évidence du glucose et du dioxyde de carbone, ainsi que la démarche expérimentale dont fait partie la conception de protocole.

Les attentes institutionnelles concernant l'épreuve des ECE sont identiques quelle que soit la spécialité choisie, puisque tous les élèves de TS passent la même épreuve de SVT. Le choix de ces classes est dû à des contraintes temporelles.

Nous proposons un plan expérimental tourné vers la conception du protocole par les élèves en utilisant les pré structurations proposées.

Le déroulement pédagogique utilisé est le suivant :

- 10 minutes de présentation de LabBook par le chercheur, puis prise en main de la plateforme par les élèves.
- 45 minutes de conception individuelle de protocole par les élèves en salle informatique (un poste par élève). Le type de protocole (N2a ou N2b) a été défini aléatoirement en amont de la séance. La répartition initiale par classe des deux types de protocole est homogène.

Les interventions de l'enseignant et du chercheur se restreignent aux problèmes techniques liés à l'informatique et à la prise en main du logiciel.

3.2. Corpus de données

Le nombre total d'élèves présents dans l'ensemble des deux classes est de 51 élèves, qui ont produit 26 protocoles N2a et 25 protocoles N2b répartis dans les deux classes.

3.3. Méthode d'analyse des résultats

Nous utilisons pour les protocoles N2a et N2b, le même traitement de données que celui de la première expérimentation. Nous comparons les protocoles produits aux protocoles experts ci-dessous (figures 81 et 82).

- Mode opératoire**
1. Placer les microorganismes dans les conditions du milieu
- *Prélever une solution.* - Je prélève **30 mL** de **Suspension de levures** à l'aide d'un(e) **Eprouvette graduée (50mL)** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Verser une solution.* - Je verse **30 mL** de solution de **Suspension de levures** dans **Tube à essai (40mL)** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Nommer la solution.* - Je nomme cette solution : **suspension à tester** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Fermer un contenant.* - Je ferme le contenant de la solution de **suspension à tester** avec un **Bouchon** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Chauffer une solution.* - Je chauffe la solution de **suspension à tester** à **25 °C** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Utiliser un appareil/dispositif expérimental.* - J'utilise un(e)de **Bain marie** pour **chauffer la solution** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Utiliser un appareil/dispositif expérimental.* - J'utilise un(e)de **Thermomètre** pour **vérifier la stabilité de la température** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
2. Préparer les dispositifs expérimentaux de mesure
- *Utiliser un appareil/dispositif expérimental.* - J'utilise un(e)de **Alcotest** pour **mettre en évidence la présence d'éthanol** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Utiliser un appareil/dispositif expérimental.* - J'utilise un(e)de **Eau de chaux** pour **mettre en évidence la présence de CO2** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Utiliser un appareil/dispositif expérimental.* - J'utilise un(e)de **Glucotest** pour **mesurer le glucose présent dans la solution** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
3. Initier l'expérimentation
- *Indiquer la durée de l'expérience.* - Je réalise l'expérience pendant **30 min** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Verser une solution.* - Je verse **10 mL** de solution de **Glucose** dans **suspension à tester** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
4. Recueillir les données
- *Réaliser une mesure quantitative.* - Je réalise la mesure de/du **Glucose** , à **t= 0 min** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Utiliser un tableau de données.* - Je note le/les résultat(s) dans un tableau de données. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Observer le résultat d'une réaction.* - J'observe la présence de/du **Ethanol** dans la **suspension à tester** avec le/! **Alcotest** , à **t= 30 min** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Utiliser un tableau de données.* - Je note le/les résultat(s) dans un tableau de données. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Observer le résultat d'une réaction.* - J'observe la présence de/du **Dioxyde de carbone** dans la **suspension à tester** avec le/! **Eau de chaux** , à **t= 30 min** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Utiliser un tableau de données.* - Je note le/les résultat(s) dans un tableau de données. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Réaliser une mesure quantitative.* - Je réalise la mesure de/du **Glucose** , à **t= 30 min** . Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Utiliser un tableau de données.* - Je note le/les résultat(s) dans un tableau de données. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Laver le matériel.* - Justifiez ici, si nécessaire, cette action.

Figure 81 : protocole expert N2a

- Mode opératoire**
1. Placer les microorganismes dans les conditions du milieu
 - *Ajouter une solution.* - Je prélève **30 mL** de **Suspension de levures** à l'aide d'un(e) **Eprouvette graduée (50mL)** et je les verse dans **Tube à essai (40mL)**. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Nommer la solution.* - Je nomme cette solution : **suspension à tester**. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Fermer un contenant.* - Je ferme le contenant de la solution de **suspension à tester** avec un **Bouchon**. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Porter et maintenir une solution à température.* - Je place la solution de **suspension à tester** à **25 °C**.
Pour cela, j'utilise un(e) **Bain marie**. Je vérifie la stabilité de la température avec un(e) **Thermomètre**.
Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 2. Préparer les dispositifs expérimentaux de mesure
 - *Utiliser un dispositif expérimental.* - Pour mesurer la (quantité/présence) de **Dioxyde de carbone**, j'utilise comme dispositif expérimental un/de **Eau de chaux**. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Utiliser un dispositif expérimental.* - Pour mesurer la (quantité/présence) de **Ethanol**, j'utilise comme dispositif expérimental un/de **Alcootest**. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Utiliser un dispositif expérimental.* - Pour mesurer la (quantité/présence) de **Glucose**, j'utilise comme dispositif expérimental un/de **Glucotest**. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 3. Initier l'expérimentation
 - *Indiquer la durée de l'expérience.* - Je réalise l'expérience pendant **30 min**. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Ajouter une solution.* - Je prélève **10 mL** de **Glucose** à l'aide d'un(e) **Pipette (10mL)** et je les verse dans **suspension à tester**. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 4. Recueillir les données
 - *Recueillir une mesure quantitative.* - Je réalise la mesure de/du **Glucose**, à **t= 0 min**, et je note le résultat dans un tableau de données. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Recueillir le résultat d'une observation.* - J'observe la présence de/du **Dioxyde de carbone** dans la **suspension à tester** avec le/l' **Eau de chaux**, à **t= 30 min**, et je note le résultat dans un tableau de données. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Recueillir le résultat d'une observation.* - J'observe la présence de/du **Ethanol** dans la **suspension à tester** avec le/l' **Alcootest**, à **t= 30 min**, et je note le résultat dans un tableau de données. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Recueillir une mesure quantitative.* - Je réalise la mesure de/du **Glucose**, à **t= 30 min**, et je note le résultat dans un tableau de données. Justifiez ici, si nécessaire, cette action.
 - *Laver le matériel.* - Justifiez ici, si nécessaire, cette action.

Figure 82 : protocole expert N2b

Nous utiliserons les critères définis en 2.4.3 du chapitre 8 afin de répondre aux questions de recherche précédemment citées. Nous les présentons dans la grille ci-dessous.

Critères		Hypothèses	Données utilisées	Traitement des données
Communicabilité	Présence d'actions dans les étapes fournies	Les pré structurations des actions favorisent l'écriture d'un protocole	N2a et N2b : Nombre d'actions par étapes Nombre de fois où il n'y a pas d'action pour chaque étape	Calcul de la moyenne du nombre d'actions proposées par étapes, et selon le type de protocole. On compare avec les protocoles « experts ». Comptage du nombre de protocoles dans lesquels il n'y a pas d'actions pour chacune des étapes/nombre total de protocole du même type. Comparaison avec les données des protocoles N1 de la 1ère expérimentation
	Utilisation des propositions de pré structuration ou propositions d'actions hors pré structuration	Les protocoles N2a et N2b sont écrits avec les actions proposées	N2a et N2b : Actions hors pré structuration (actions libres)	Comptage du nombre d'actions hors pré structuration pour un type de protocole / nombre total d'actions (pour un même type de protocole) Analyse de leur « nature » (reformulation de la tâche, simple ou multiple élément de technologie...)
Pertinence	Pertinence des actions proposées (par étapes)	La liste des actions proposées dans la pré structuration N2b (multi tâches) favorise le choix d'une technique de résolution complète et pertinente	N2a et N2b : Identification des actions proposées pour chacune des étapes	Identification des techniques (actions proposées pour chacune des étapes) expertes (comparaison avec les protocoles experts) Comparaison entre les protocoles N2a et N2b
	Pertinence des paramètres	Les valeurs de paramètres d'actions proposés aux élèves dans la pré structuration traduisent des difficultés identifiées <i>a priori</i> Les étayages proposés favorisent le choix de valeurs de paramètres pertinentes	N2a et N2b : Identification des paramètres proposés pour les actions 1 et 2 des protocoles N2a et l'action 1 pour les protocoles N2b (volume de suspension de levures + volume de glucose) Identification des valeurs de paramètres erronés	Comparaison du nombre de paramètres corrects entre les protocoles N2a et N2b Comparaison avec les protocoles N2 de la 1ère expérimentation Mise en relation des valeurs de paramètres erronées avec les difficultés identifiées <i>a priori</i>

Tableau 47 : traitement des données au regard des hypothèses

4. Analyse des résultats

4.1. Résultats : Communicabilité

Dans cette partie nous présentons les résultats concernant l'analyse du critère de communicabilité des protocoles des élèves afin de répondre à la question de recherche 1 précédemment citée :

- * Existe-t-il un type de pré structuration des actions qui favorise davantage la conception d'un protocole communicable par les élèves ? Ce protocole communicable fait-il appel à des actions à tâche unique ou multi tâches ?

Nous souhaitons mettre en évidence que les élèves s'approprient davantage un type de pré structuration des actions, dans le but de préconiser une méthode de pré structuration des actions. Nous faisons l'hypothèse que les deux pré structurations proposées favorisent néanmoins la production d'un protocole communicable.

4.1.1 Communicabilité : présence d'actions dans les étapes fournies (complétude)

Les résultats ci-dessous présentent pour chacune des étapes, le nombre de protocoles pour lesquels il n'y a aucune action dans une étape par rapport au nombre total de protocoles (26 N2a et 25 N2b).

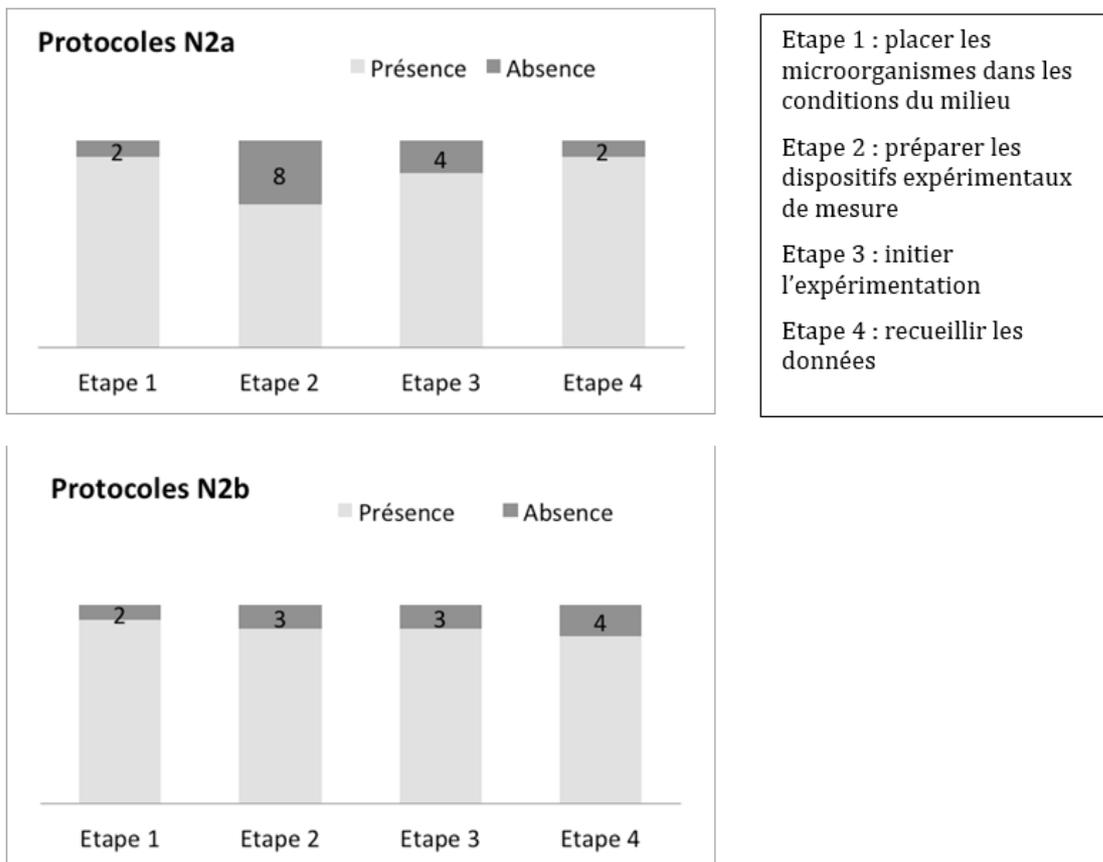


Figure 83 : répartition des protocoles selon s'il y a présence ou absence d'actions pour chacune des étapes imposées, selon N2a et N2b

Globalement les élèves réussissent à écrire un protocole quel que soit le type de pré structuration des actions.

Comme pour la première expérimentation, nous remarquons dans quelques protocoles l'absence de certaines étapes, impliquant une absence d'actions. Nous ne pouvons néanmoins statuer quant à l'origine de la suppression d'étapes. En effet, toute suppression est définitive dans le logiciel.

Nous remarquons peu de différence entre les types de protocoles N2a ou N2b mis à part pour l'étape 2. En effet, 8 élèves sur 26 (N2a) n'ont pas proposé d'actions dans cette étape. Il s'agit d'une étape à l'origine de difficultés car nous avons mis en évidence dans l'expérimentation 1 une confusion entre la préparation des dispositifs expérimentaux de mesure et la réalisation de la mesure en elle-même. Nous analysons dans le paragraphe 2.3 la pertinence des actions dans les protocoles qui en proposent pour cette étape.

La figure 84 ci-dessous montre la moyenne du nombre d'actions proposées dans l'ensemble des protocoles N2a et N2b par rapport au nombre d'actions attendues dans le protocole expert.

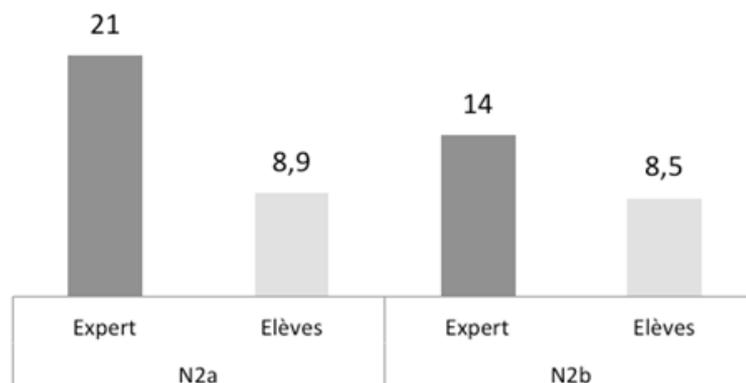


Figure 84 : comparaison avec le protocole expert, du nombre moyen d'actions proposé par les élèves

Nous remarquons pour les protocoles N2a que le nombre moyen d'actions proposées par les élèves (8,9) est très inférieur au nombre total d'actions attendues (21). Contrairement aux protocoles N2b pour lesquels le nombre moyen d'actions proposées (8,48) se rapproche de celles attendues (14) dans le protocole expert. Les protocoles N2b sont donc plus complets que les protocoles N2a. Ce résultat était attendu, car le fait d'agréger les actions permet aux élèves de produire plus rapidement un protocole proche de l'expert. En effet, l'équivalent de l'action « ajouter » du protocole N2b, se traduit par l'association de deux actions complémentaires de la pré structuration N2a (prélever + verser). De même l'action « chauffer » de N2b nécessite 3 actions dans N2a (chauffer + utiliser un dispositif (2 fois)). Cet étayage permet une rédaction de protocole plus efficace pour les élèves tout en laissant à leur charge le choix du contenu du protocole.

Ainsi, les deux types de pré structurations proposées N2a (actions simples) et N2b (actions multiples) favorisent l'écriture d'actions dans le protocole par les élèves. La pré structuration N2b permet aux élèves de produire un protocole plus complet. La pertinence des actions proposées est analysée ultérieurement.

4.1.2 Communicabilité : utilisation des actions pré structurées proposées.

Dans ce paragraphe nous présentons les résultats concernant l'utilisation des actions pré structurées selon le type de protocole proposé.

La figure 85 ci-dessous présente le nombre total d'actions dans toutes les productions des élèves pour chaque type de protocole (N2a et N2b). Nous avons distingué les actions « libres » c'est à dire rédigées par les élèves et les actions pré structurées.

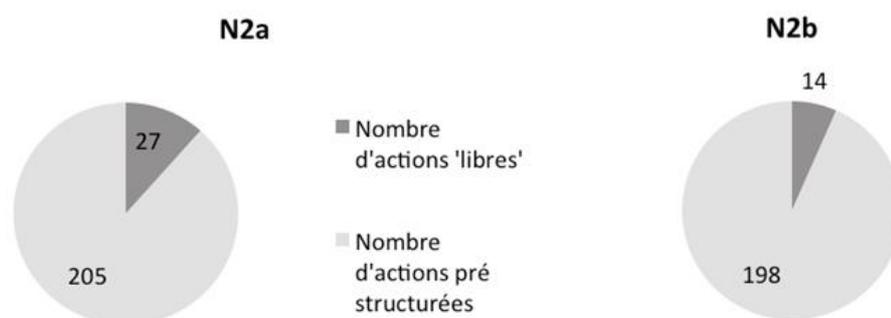


Figure 85 : nombre d'actions hors pré structuration selon le type de protocole

La figure 86 ci-dessous présente le nombre de protocoles qui contient au moins une action « libre » sur le nombre total de protocole.

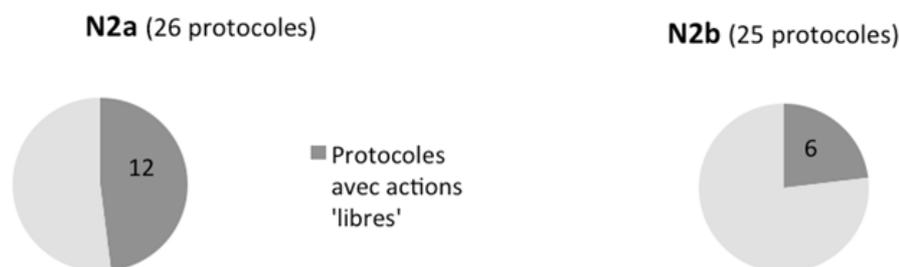


Figure 86 : répartition des actions hors pré structuration

Le nombre d'actions « libres » proposées par les élèves reste négligeable par rapport à l'ensemble des actions, néanmoins on remarque une différence notable entre les deux types de protocoles. En effet, on relève deux fois plus d'actions « libres » dans les protocoles du type N2a, qui se répartissent sur davantage de protocoles. Ainsi, on peut supposer que les élèves ont davantage de mal à utiliser les actions pré structurées proposées en N2a, ce qui les amène à les rédiger eux-mêmes. L'analyse des actions « libres » proposées par les élèves dans le paragraphe suivant permettra de compléter ce constat.

Les pré structurations des actions N2a et N2b sont globalement utilisées.

4.1.3 Communicabilité : « nature » des actions non pré structurées

Dans ce paragraphe nous présentons la nature praxéologique des actions non pré structurées proposées par les élèves. L'analyse de la nature de ces actions dans l'expérimentation 1 nous a conduit à modifier la formulation de certaines actions,

comme l'action « prélever une solution ». Cela nous a également conduit à proposer les deux types de pré structuration, l'une en actions simples (N2a), et l'autre en actions multiples (N2b).

La figure 87 représente le classement des actions « libres » selon si elles font référence à une des actions pré structurées attendues dans le « protocole expert » ou non (« hors protocole expert »).

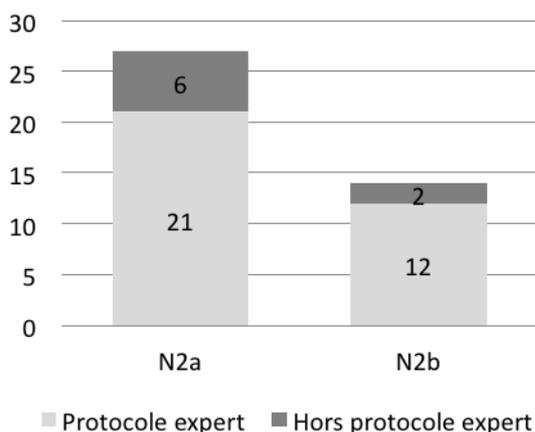


Figure 87 : répartition des actions « libres » proposées par les élèves selon le type de protocole

Le nombre d'actions dont les types de tâches ou tâches correspondantes ne font pas partie du protocole expert est peu important, soit globalement 8/41. Elles se répartissent dans les deux types de protocoles, mais sont majoritaires dans les protocoles N2a.

Les types de tâches proposés hors protocole expert sont pour certains, des types de tâches non objectif d'apprentissage dans l'institution scolaire (classe de lycée), même si elles sont inhérentes à la praxéologie de référence. C'est le cas de l'action « prélever 100g de levures et les mettre dans de l'eau distillée » qui correspond au type de tâche de la praxéologie de référence « T'_{211} : préparer XL de suspension de levures » et qui disparaît dans la praxéologie institutionnelle.

Les autres propositions ne sont pas pertinentes, en effet, elles font référence à la notion de témoin (non pertinent dans cette situation), ou bien à des techniques de laboratoire présentes dans la praxéologie de référence mais non proposées dans la liste de matériel de la situation, comme l'utilisation de sondes à éthanol, qui s'explique par l'influence de ce type de matériel couramment utilisé dans l'établissement (Jordan & al., 2011).

Voyons à présent les actions proposées en dehors des pré structurations, mais qui appartiennent aux protocoles experts. La figure 88 présente leur classement selon s'il s'agit d'une reformulation d'une action existante dans la pré structuration ou bien s'il s'agit d'un autre élément issu de la praxéologie, à savoir une justification de l'action (ou technologie).

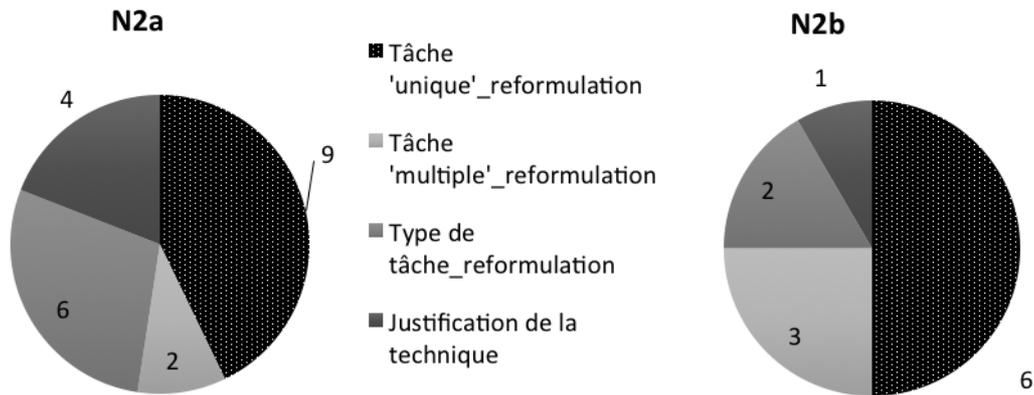


Figure 88 : Nature des actions 'libres' proposées dans les protocoles N2a et N2b

Globalement dans l'ensemble des protocoles les actions « libres » proposées sont des reformulations de tâches ou types de tâches du protocole expert, respectivement dans les protocoles N2a et N2b, 17/21 et 11/12. Nous retrouvons des types de tâches déjà présents dans la première expérimentation comme « mettre les levures en anaérobie » sans pour autant détailler la technique relative. Nous interprétons cela comme une difficulté pour les élèves à rentrer dans le niveau de détail des actions pré structurées.

Nous retrouvons également les actions « ajouter 25g de glucose » « je verse dans un ballon de 100ml » rédigées en totalité par les élèves alors que ces mêmes actions sont proposées dans la liste à choix des actions. Nous interprétons cette réécriture des actions comme une difficulté pour certains élèves à donner du sens aux intitulés des actions proposées. Cependant, l'analyse de l'ensemble des reformulations ne met pas en avant de difficulté propre à une seule et même action comme nous l'avons mis en évidence dans l'expérimentation 1. De façon plus globale, la variété dans les contenus des actions « libres » proposées par les élèves, laisse davantage envisager une réticence ou bien une difficulté à s'appropriier le principe même de pré structuration du protocole.

Notons également que la majorité des réécritures des actions sont des actions à tâche « unique ». Néanmoins, la faible quantité de données ne nous permet pas de statuer sur le fait que la pré structuration en tâches multiples puisse être une entrave à la production de protocole par les élèves.

De façon minoritaire certaines actions proposées en dehors de la pré structuration correspondent en fait à des justifications comme « l'eau de chaux se trouble en présence de dioxyde de carbone », ou bien des justifications d'action comme « je verse les levures afin de remplir le ballon ». Cela nous permet à nouveau d'identifier la difficulté qu'ont certains élèves sur le contenu d'un protocole. Ici les élèves confondent justification des choix effectués et la formulation des actions.

La pré structuration des actions, quel que soit le type de protocole, favorise la production d'un protocole communicable par les élèves. Les actions pré structurées sont utilisées.

La comparaison entre les deux protocoles ne relève pas de différence majeure mise à part le fait que les protocoles du type N2b se rapprochent davantage du protocole expert en terme de nombre d'actions proposées, et qu'il y a moins de protocoles avec des actions « libres ».

Le paragraphe suivant présente l'analyse de la pertinence des actions selon les types de protocoles.

4.2. Résultats : pertinence des actions

Dans cette partie nous présentons les résultats concernant l'analyse du critère de pertinence des protocoles des élèves afin de répondre aux questions de recherche ci-dessous :

- * Quel type de pré structuration des actions proposé favorise le choix d'une technique de résolution de la tâche pertinente ?

Nous pensons que la liste des actions multi tâches proposée favorise le choix d'une technique de résolution plus pertinente. Les actions sont porteuses de plus de sens et du coup les élèves auront plus de facilité à se les approprier.

L'analyse des erreurs identifiées dans la 1^{ère} expérimentation nous a amené à proposer également des modifications des étayages fixes (actions et documents ressources).

- * Est-ce que les étayages fixes (documents ressources et actions pré structurées) proposés par la plateforme favorisent une technique de résolution et un choix de valeurs de paramètres pertinents pour la mise en anaérobie des levures ?

Nous pensons ainsi que les modifications apportées aux étayages favorisent le choix d'un paramètre pertinent pour les actions concernées.

4.2.1 Pertinence des actions proposées

Nous présentons dans ce paragraphe les résultats de la pertinence des actions proposées par les élèves en lien avec les difficultés identifiées dans l'expérimentation 1. Pour cela, nous regardons les actions rédigées par les élèves pour la mise en anaérobie des levures (étape 1) selon N2a et N2b. Et nous analysons la pertinence des actions proposées dans les étapes 2 et 4 concernant la préparation des dispositifs de mesures et leur réalisation. Cet ensemble d'actions a été choisi car elles étaient à l'origine de difficultés repérées dans l'expérimentation 1.

Pour cette seconde expérimentation, nous avons proposé des modifications dans la formulation de ces mêmes actions pré structurées. Ainsi, nous voulons évaluer l'impact de ces modifications.

La figure 89 présente le nombre de techniques expertes pour l'étape 1 (mise en anaérobie) selon le type de protocole qui est pour nous un indicateur de réussite.

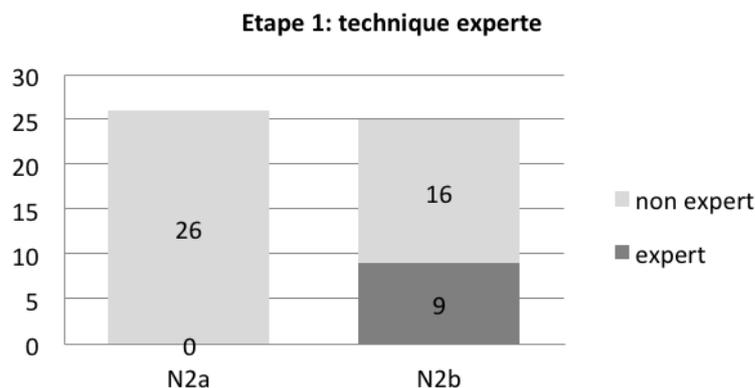


Figure 89 : nombre de techniques expertes pour l'étape 1 selon N2a et N2b

Nous observons l'absence (0/26) de technique experte pour l'étape 1 dans les protocoles N2a, contrairement aux protocoles N2b qui en présentent 9/25. Ainsi la pré structuration N2b favorise la production d'un protocole expert (pour l'étape 1). Ceci complète le résultat présenté ci-dessus, les protocoles N2b sont plus complets et aussi plus pertinents.

Ceci peut s'expliquer de différentes façons. Tout d'abord, le nombre d'actions attendues dans le protocole expert N2a est plus important (7) du fait de la nature 'simple' des actions proposées. Ainsi, il est plus difficile d'atteindre le nombre d'actions requises.

Ensuite, l'action « prélever » a été dans de nombreux protocoles, remplacée par l'unique action « verser ». Peut-être est-ce que les élèves considèrent l'action (tâche) « prélever » comme élémentaire.

Nous présentons dans la figure 90 la répartition des actions « expertes » relevées dans les protocoles des élèves, et celles qui sont « non expertes » c'est à dire celles que les élèves ont utilisées mais qui ne font pas parties de la technique de résolution experte attendue.

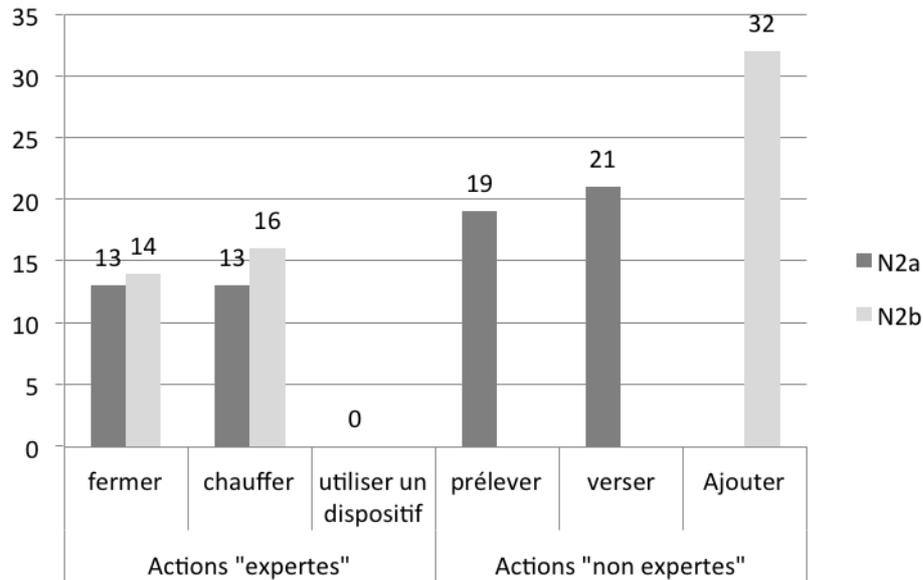


Figure 90 : répartition des actions proposées pour l'étape 1, selon N2a et N2b

L'absence de techniques expertes dans les protocoles N2a s'explique principalement par l'absence de l'action « utiliser un dispositif ». La pré structuration N2b qui inclut cette tâche dans l'action « chauffer une solution » favorise la production d'un protocole complet et limite les erreurs liées à l'association d'actions simples.

L'action « ajouter » uniquement proposée dans les protocoles N2b apparaît 32 fois pour l'étape 1 sur l'ensemble des 25 protocoles. Or elle est attendue 1 seule fois dans cette étape. L'analyse du paramétrage de cette action permettra d'identifier les erreurs associées. Néanmoins, la duplication excessive de cette action, combinée à l'absence de fermeture du contenant (action « fermer » absente dans 11 protocoles) et/ ou du chauffage de la solution (absent 9 fois) peut expliquer les 16 techniques non expertes identifiées dans la figure 89.

Concernant la difficulté liée à la confusion entre la préparation des dispositifs et la réalisation/observation des mesures, nous présentons conjointement (N2a et N2b confondus) dans la figure 91 ci-dessous les résultats des propositions d'actions pour les étapes 2 (qui consiste à préparer les dispositifs de mesure) et 4 (qui consiste à réaliser/observer les mesures).

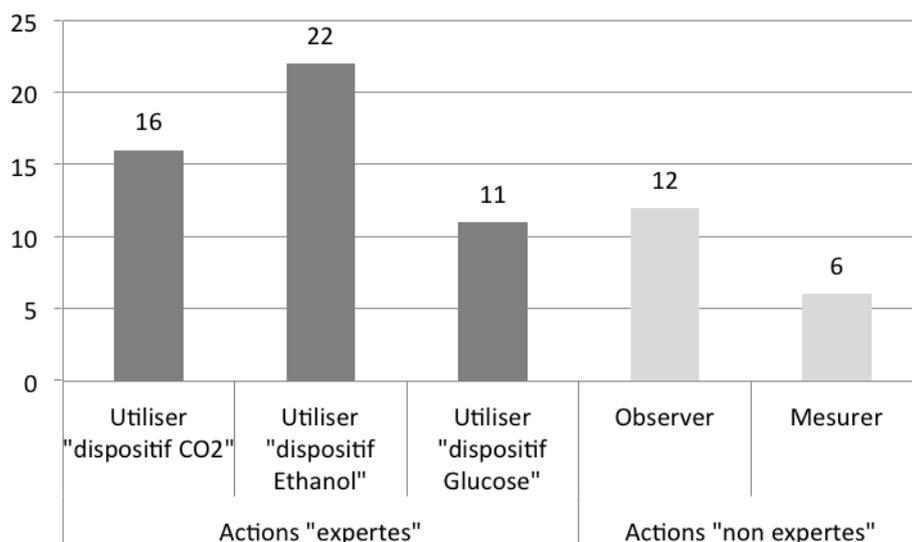


Figure 91 : nombre d'actions attendues pour l'étape 2, N2a et N2b confondus

Nous remarquons la présence non attendue des actions « observer » (12) et « mesurer » (6) dans l'ensemble des 51 protocoles, ce qui confirme la difficulté identifiée lors de l'expérimentation 1, c'est à dire la confusion entre les expressions « préparation des dispositifs expérimentaux » et « réalisation des mesures/observations ». Les modifications apportées aux actions concernées ne font pas évoluer les résultats. L'étayage fixe (liste des actions) proposé pour aider les élèves ne semble pas être efficace, ainsi nous pensons que la mise en place d'un étayage adaptatif sous la forme d'une rétroaction personnalisée pourrait l'être davantage. De plus ces techniques ne sont pas des objectifs d'apprentissages pour les élèves à ce niveau-là, donc les élèves n'associent pas de sens à ces expressions.

L'analyse conjointe de l'utilisation des actions « observer » et « mesurer », montre une confusion entre les analyses qualitatives et quantitatives des molécules, ce que les modifications des actions pré structurées ne semble pas changer. En effet, nous avons mis en évidence dans l'expérimentation 1, une difficulté à distinguer ces deux types de mesures et à y associer les molécules et dispositifs de mesures correspondants. Nous avons ainsi modifié l'intitulé des actions correspondantes entre les deux expérimentations : initialement dans les protocoles N2 « observer une réaction » et « réaliser une mesure », que nous avons modifié dans les protocoles N2a et b « observer le résultat d'une réaction » et « réaliser une mesure quantitative ».

Nous remarquons également que le dispositif relatif à la mise en évidence de la disparition du glucose est peu présent (11 fois) contrairement à celui de l'éthanol qui est davantage présent (22 fois) dans l'ensemble des 51 protocoles. Ces résultats confirment ceux obtenus lors de l'expérimentation 1. Ceci s'explique par le fait que la technique de mise en évidence du glucose n'est pas un objectif d'apprentissage en terminale scientifique.

Ainsi, la pré structuration N2b en actions multi-tâches favorise davantage l'écriture d'un protocole pertinent.

Néanmoins, les modifications apportées aux actions pré structurées « préparer un dispositif expérimental », « observer le résultat d'une réaction », et « réaliser une mesure quantitative » ne semblent pas lever les difficultés (confusion des actions) identifiées lors de la première expérimentation. Nous préconisons ainsi un autre type d'étayage sous la forme de rétroactions.

4.2.2 Pertinence des valeurs de paramètres

Après avoir présenté la pertinence des actions choisies par les élèves, nous présentons dans ce paragraphe les résultats de la pertinence des valeurs de paramètres des actions choisies. Nous avons identifié lors de la première expérimentation certaines difficultés, pour lesquelles nous avons proposé dans la 2^{ème} expérimentation des modifications d'étayages, comme la mise à la charge de l'élève de certains paramètres précédemment fixés (concernant le volume du contenant receveur), et des modifications dans les documents ressources (concernant le rapport entre le volume de suspension de levures et de glucose).

Une première difficulté identifiée pour laquelle nous avons modifié les étayages est la technique relative à la mise en anaérobiose des levures.

La technique experte attendue dans les protocoles est validée selon plusieurs conditions :

- ✓ le volume de suspension de levures et de glucose doit être égal au volume du contenant choisi afin de limiter les apports en dioxygène.
- ✓ le contenant choisi doit être fermé avec un bouchon

Nous intéressons uniquement à la première condition qui a fait l'objet des modifications présentées ci-dessus. Nous présentons ainsi les résultats concernant le choix des volumes prélevés. Nous regardons conjointement le volume de suspension de levure prélevé, le volume de glucose ajouté pour initier la réaction et le volume du contenant receveur. La somme des deux volumes prélevés doit être égale au volume du contenant receveur pour une mise en anaérobiose stricte.

- **Choix des volumes de solutions** (glucose + levures) et leur adéquation avec le choix du volume du contenant.

Nous avons proposé plusieurs modifications des étayages à travers les documents ressources (« 1/4 de glucose pour 3/4 de levures ») et la mise à la charge de l'élève du choix du contenant et de son volume dans les deux types de protocoles.

Une distinction existe néanmoins dans les actions proposées selon N2a et N2b.

La pré structuration N2a propose deux actions simples complémentaires :

- ✓ prélever une solution : je prélève ...mL de solution de avec
- ✓ verser une solution : je verse ...mL de solution de ... dans ...

La pré structuration N2b propose une seule action multi-tâches :

- ✓ Ajouter une solution : Je prélève ... ml de ... à l'aide d'un/une ... et je les verse dans ... de ... ml

Nous proposons ainsi plusieurs types de résultats : tout d'abord nous présentons les résultats de la réussite à la tâche pour les protocoles N2a et N2b (Figure 92) puis nous les comparons à l'expérimentation 1.

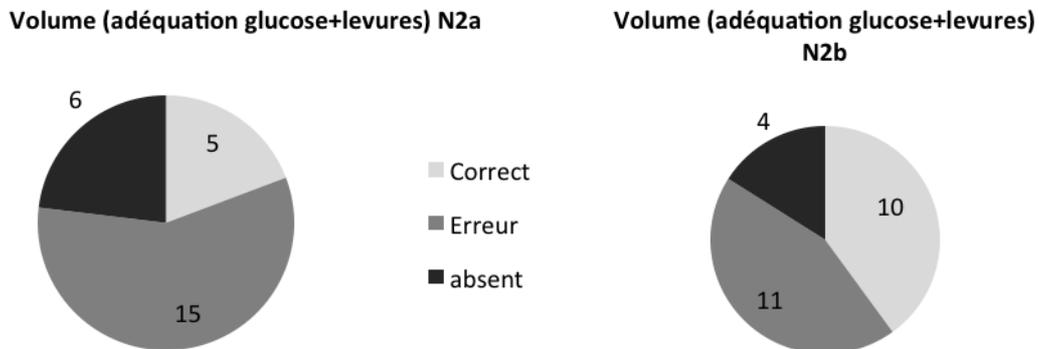


Figure 92 : répartition des réponses des élèves concernant l'adéquation des volumes de solutions choisis selon N2a et N2b.

Nous constatons 10 absences de volume prélevé dans les deux types de protocoles. Ces paramètres manquants concernent exclusivement les actions hors pré structuration proposées par les élèves dans les deux types de protocoles.

Les 26 erreurs, ce qui correspond à la moitié des protocoles, sont très diverses. En effet, nous n'observons pas moins de 17 combinaisons de volumes prélevés différentes proposées. Dans ces protocoles, l'addition des deux volumes de solution est inférieure au volume du contenant choisi.

Ainsi, nous pouvons conclure sur une difficulté liée au concept d'anaérobie et de diffusion des gaz en solution. Les étayages fixes actuellement mis en place dans la situation semblent ne pas être suffisants, ainsi nous pourrions proposer une rétroaction relative à cette difficulté.

Enfin, dans l'ensemble des 51 protocoles, le nombre de réponses correctes est de 15. Parmi ces réponses correctes deux combinaisons sont proposées : $25\text{ml} + 75\text{ml} = 100\text{ml}$ ou $30\text{ml} + 10\text{ml} = 40\text{ml}$. La répartition des réponses selon ces combinaisons est représentée par la figure 93.

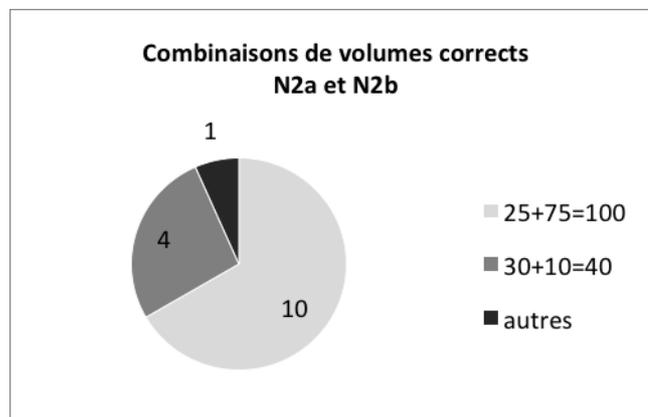


Figure 93 : combinaisons de réponses correctes (choix des volumes)

La combinaison correcte majoritairement représentée (10/15) correspond au prélèvement de 75mL de suspension de levures auxquels on ajoute 25mL de solution de glucose dans un ballon de 100ml.

L'autre combinaison correcte proposée par 4 élèves concerne le choix d'un tube à essai de 40mL comme contenant.

La pré structuration des actions N2b semble davantage aider les élèves à choisir des volumes de solutions adéquates pour une stricte mise en anaérobiose. En effet, la pré structuration N2b présente une action complète « ajouter » qui prend en charge au sein d'une même action le volume à prélever et celui du contenant receveur, ce qui pourrait peut-être davantage aider à l'adéquation des choix de paramètres pertinents. Néanmoins l'écart reste relativement faible pour généraliser ce résultat.

Enfin, ces résultats nous permettent de valider les modifications apportées aux documents ressources, en ce qui concerne les volumes relatifs de suspension de levures et de solution de glucose. Les origines possibles des erreurs persistantes peuvent être liées aux concepts précédemment cités mais également à la non mobilisation de notions de mathématiques comme la proportion.

Ainsi l'ensemble de ces résultats nous permettent de valider les modifications des étayages fixes (contenu du document ressource n°1, et pré structuration des actions). Les résultats semblent également montrer que le fait de laisser les élèves choisir les valeurs de paramètres d'actions améliore la pertinence des actions.

Les résultats montrent que les actions multiples (multi-tâches) favorisent le choix d'un paramétrage pertinent.

Néanmoins, certaines erreurs mettent en évidence des difficultés identifiées *a priori*, que les étayages fixes actuellement proposés à travers la pré structuration des actions ne semble pas lever. Ceci est dû à un effet de contrat didactique par exemple pour choisir les volumes ou à des conceptions erronées. Pour ces erreurs, la mise en place d'étayages adaptatifs sous la forme de rétroactions serait plus adaptée.

5. Conclusions

L'analyse de l'ensemble des résultats de cette 2^{ème} expérimentation nous amène aux conclusions suivantes :

- La pré structuration des actions, quel que soit le type de protocole, favorise la production d'un protocole communicable par les élèves.
- Les élèves réussissent à écrire un protocole en utilisant globalement les actions pré structurées quel que soit le type d'actions proposés (simples en N2a et multiples en N2b).
- La pré structuration N2b en actions multiples favorise davantage l'écriture d'un protocole pertinent.
- La pré structuration N2b favorise le choix de valeurs de paramètres pertinentes.

Nous validons l'ensemble des modifications apportées aux documents ressources, mais aussi les modifications apportées à la pré structuration des actions (paramètres laissés à la charge des élèves).

Néanmoins, certaines difficultés récurrentes que les étayages fixes ne semblent pas lever, nécessiteraient des rétroactions adaptées :

- difficulté (confusion des actions) à distinguer les actions « préparer un dispositif expérimental », « observer le résultat d'une réaction », et « réaliser une mesure quantitative ».
- difficulté liée à l'initiation d'une réaction nécessitant l'ajout d'un réactif (Carretto & Viovy, 1994).
- difficulté relative à la méconnaissance des levures en tant que microorganismes vivant responsable de la fermentation alcoolique (Schneeberger & Rodriguez, 1999).
- difficulté liée au concept d'anaérobie et de diffusion des gaz en solution (Séré, 1986 ; Stavy, 1988).

Nous proposons ainsi, dans le chapitre suivant, une modélisation pour un diagnostic des erreurs des élèves en vue de proposer des rétroactions adaptées.

Chapitre 11 : Préconisations pour le diagnostic et propositions de rétroactions

Les résultats de l'analyse des protocoles des élèves montrent que la pré structuration aide les élèves à concevoir des protocoles communicables et pertinents. Les étayages proposés accompagnent les élèves dans la réalisation de tâches qui posent des difficultés identifiées, concernant l'objet protocole en tant que tel, ainsi que certains concepts en jeu. Néanmoins nous avons relevé des erreurs récurrentes correspondant à des difficultés identifiées *a priori*, pour lesquelles les étayages fixes semblent ne pas apporter suffisamment d'aide. Nous souhaitons ainsi proposer un autre type d'étayage qu'Azevedo (2003) qualifie d'adaptable. Ces étayages prendraient la forme de rétroactions proposées par la plateforme à partir d'un diagnostic automatique des erreurs dans Copex, ce qui n'existe encore pas pour le moment. Nous nous appuyons notamment sur les résultats de travaux menés dans notre équipe qui ont montré l'efficacité de ce type d'étayage. En effet, les travaux de Girault & al. (2014) sur un autre logiciel nommé « Copex Chimie » ont montré que les étayages fixes (pré structuration du protocole) n'étaient pas suffisants pour aider les élèves à produire des protocoles complets et pertinents, et que les rétroactions adaptables incitaient les élèves à travailler davantage sur la tâche, et que les élèves produisaient de meilleurs protocoles. La modélisation pour mettre en œuvre ces rétroactions est complexe et cette modélisation spécifique doit tenir compte des contraintes liées à l'EIAH et s'appuie sur la modélisation de praxéologies personnelles *a priori*, ce qui n'avait encore jamais été réalisée en sciences expérimentales.

A terme, ce travail d'analyse didactique de la tâche participera à la fois à l'évolution de la plateforme, c'est à dire au développement informatique de rétroactions automatiques dans l'outil Copex de LabBook, et à l'évolution du modèle praxéologique pour s'adapter à la conception expérimentale.

1. Questions de recherche

La modélisation praxéologique des connaissances croisée avec l'analyse épistémologique des savoirs en jeu dans la situation proposée a permis d'identifier des éléments de praxéologies personnelles *a priori* que nous avons présentés dans le chapitre 6. Nous allons à présent formaliser les praxéologies personnelles *a priori* à partir de ces éléments, avant de les enrichir avec l'analyse des productions des élèves.

L'objectif de ce chapitre est de proposer une méthode de modélisation de praxéologies personnelles *a priori* pour un type de tâche à partir des erreurs identifiées, et ensuite de proposer des rétroactions. Ce travail répond aux questions de recherches suivantes :

- * Quelles sont les praxéologies personnelles *a priori* en lien avec la situation proposée ?
- * Peut-on enrichir cette modélisation *a priori* à partir de l'analyse des protocoles des élèves ?
- * Quelles rétroactions proposer pour les erreurs récurrentes ?

Nous allons pour cela, distinguer les praxéologies personnelles des élèves qui sont majoritairement modélisées, et identifier les concepts en jeu, de celles qui sont minoritaires ou absentes. Nous les analysons au regard des hypothèses de recherche suivantes.

Les praxéologies personnelles modélisées à partir des protocoles des élèves :

- ✓ sont conformes aux praxéologies personnelles *a priori*
- ✓ peuvent être des associations ou combinaisons de praxéologies personnelles *a priori*
- ✓ sont minoritaires quand il s'agit de concepts acquis dans les classes antérieures
- ✓ sont majoritaires quand elles sont liées à des concepts nouveaux et objectifs d'apprentissages.

Nous réalisons ce travail pour le type de tâche T : « placer les microorganismes dans les conditions du milieu » qui correspond à l'étape 1 du protocole de la situation.

La technique (succession de type de tâches) relative à ce type de tâche qui a été modélisé dans la situation (chapitre 7) est :

- T0 : prélever un volume de suspension de microorganismes et les verser dans un contenant
- T1 : fermer le contenant avec le matériel adéquat
- T2 : porter et maintenir la suspension de microorganismes à température à l'aide d'un dispositif adéquat

Nous choisissons ce type de tâche car il est objectif d'apprentissage et à l'origine de difficultés (analyse *a priori* et résultats des chapitres 9 et 10).

Nous réalisons l'étude d'un seul type de tâche, car ce type de modélisation est complexe notamment du fait de la spécificité de l'environnement informatique utilisé (LabBook et Copex). Ce type de travail de recherche n'a pas encore été réalisé en SVT, et selon les résultats obtenus, nous proposerons dans un travail ultérieur de l'étendre à l'ensemble de la situation et de généraliser la méthodologie de modélisation développée.

2. Méthodologie

Comme nous l'avons précisé, notre travail consiste à proposer une modélisation de praxéologies personnelles *a priori* de la situation et plus précisément celles correspondants au type de tâche « T : placer les microorganismes dans les conditions du milieu ».

Ce type de tâche correspond à l'étape 1 du protocole implémenté dans LabBook et est imposée à tous les élèves quel que soit le type de protocole.

Ainsi, après avoir développé la méthode proposée pour la modélisation des praxéologies personnelles *a priori*, nous présentons le corpus de productions d'élèves, dans lequel nous modélisons les praxéologies personnelles des élèves afin d'enrichir le modèle *a priori*.

2.1. Méthodologie de modélisation de praxéologies personnelles *a priori* de la situation

Dans ce paragraphe, nous allons expliquer comment nous modélisons les praxéologies personnelles *a priori*, à partir des éléments de praxéologies personnelles présentés dans le chapitre 6. Nous rappelons que ces dernières ont été élaborées à partir de la praxéologie de référence qui prend en compte un ensemble de contraintes institutionnelles (contraintes liées à l'enseignement en TS spécialité SVT, contraintes de temps, de matériel disponible, de la plateforme). Voici une liste des éléments de la situation dans LabBook permettant de répondre à ces contraintes :

- différents supports d'étayage sont proposés afin d'aider les élèves. Pour cela nous avons imposé des étapes, proposé une liste d'actions, fixé certaines valeurs de paramètres, défini une liste de matériel, et mis à disposition des documents ressources. Ces étayages modifient la technique de résolution dite « experte », car ils restreignent notamment les valeurs de paramètres possibles et attendues dans les protocoles des élèves.
- la liste de matériel impose l'utilisation de dispositifs de mesure qualitatifs pour le dioxyde de carbone. Pour élaborer la situation et prendre en compte les contraintes matérielles, nous avons ainsi fait le choix, dans notre modélisation, de fixer la valeur de variable épistémologique et didactique de la praxéologie de référence correspondante.
- le choix des valeurs de certains paramètres proposés dans les menus déroulants des actions est limité et oriente le choix des élèves. Par exemple les choix concernant le type de solution à chauffer ont été proposés à partir de difficultés identifiées *a priori* (chapitre 7).

Ainsi, la situation proposée dans LabBook, fait évoluer la modélisation de la technique de résolution attendue (valeurs de paramètres en gras) pour le type de tâche T. Elle se décline en trois tâches :

- t0 : prélever **36 ml** de suspension de **levures** et les verser dans **un tube à essai (40 mL)**
- t1 : fermer **le tube à essai** avec **bouchon**
- t2 : porter et maintenir la suspension de **levures** à **25°C** à l'aide d'un **bain marie**

Dans les protocoles des élèves, ces trois tâches se traduisent sous la forme de trois actions paramétrées. Les paramètres à instancier peuvent être sous la forme d'un champ libre (n'acceptant que des nombres) comme le « volume » et la « température », ce qui implique un nombre important de valeurs erronées possibles, ou bien sous la forme d'un menu déroulant (pour les autres paramètres) pour lequel les élèves doivent choisir une valeur parmi une liste de valeurs sélectionnées en amont (à partir des difficultés identifiées *a priori*). Ces erreurs peuvent être interprétées au niveau de la technologie de l'élève. Nous modélisons ainsi des technologies qui peuvent justifier la technique erronée de l'élève ; elles

sont d'autant plus précises à partir du moment où elles portent sur des valeurs de paramètre définies dans les menus déroulants.

Dans le chapitre 6 nous avons proposé pour un type de tâche T, des possibles erreurs, inhérentes à la technique de l'élève qui est constituée d'un ensemble de T_i (T_0, T_1, T_2) et/ou à une ou plusieurs valeurs de variable d'un type de tâche (T_i) de la technique, selon la figure ci-dessous.

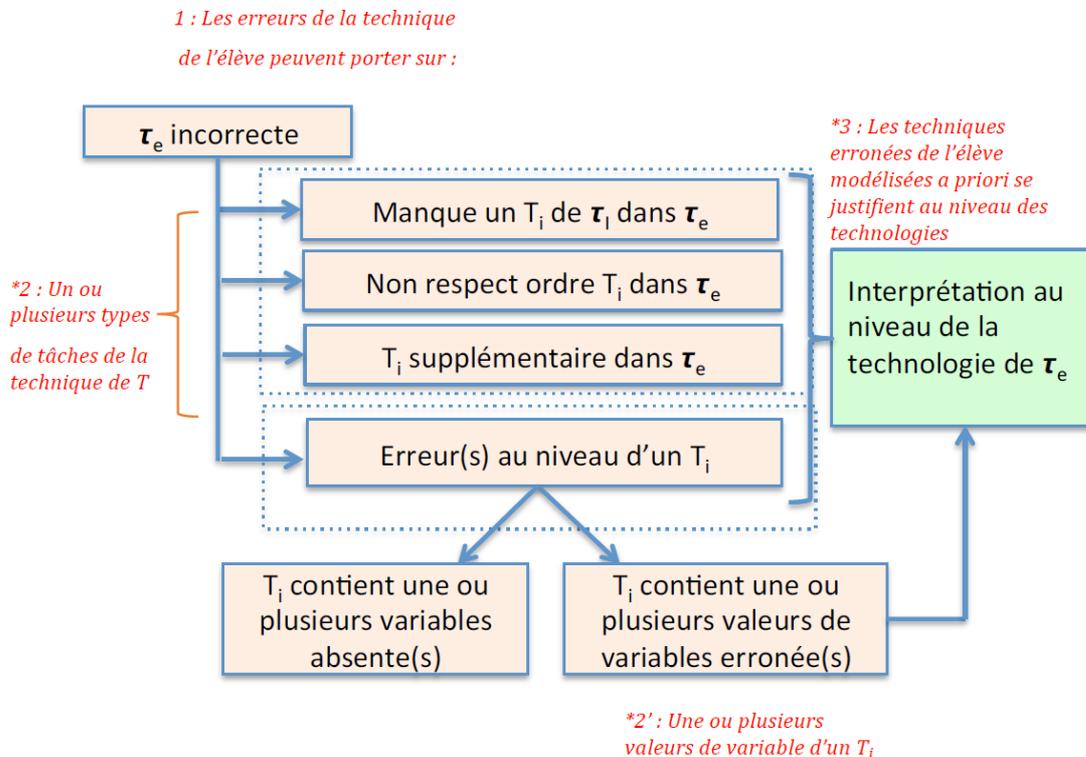


Figure 94 : extrait de la modélisation des praxéologies personnelles des élèves

*** (2) Les erreurs possibles sur la technique de l'élève, pour le type de tâche T dans notre situation sont :**

- ✓ l'absence de T_0

et/ou

- ✓ L'absence de T_1

et/ou

- ✓ l'absence de T_2

L'ordre des T n'a pas d'importance dans notre situation, et nous ne nous intéressons pas aux tâches supplémentaires qui peuvent être multiples.

*** (2') Les erreurs portant sur la variable d'un ou plusieurs éléments de la technique de T sont :**

- ✓ l'absence de variable (noté V_0')
- ✓ une erreur au niveau de la valeur de la variable notée V_x'

Les possibles erreurs portant sur les valeurs de variables sont (chapitre 6, figure 23) :

- V1' : volume total de solution(s) prélevé > au volume du contenant
- V2' : volume total de solution(s) prélevé < au volume du contenant
- V3' : bactérie, microorganisme
- V4' : solution dépourvue de levures
- V5' : bouchon non hermétique
- V6' : utilisation d'un dispositif qui porte uniquement une solution à température
- V7' : $t^{\circ} > 40^{\circ}\text{C}$
- V8' : $t^{\circ} < 20^{\circ}\text{C}$

A partir de ces erreurs, nous avons modélisé 9 technologies erronées qui pourraient justifier ces techniques *a priori*. Les numéros de technologies sont indépendants de ceux des paramètres P(x). Elles reprennent des concepts variés appartenant aux domaines de la biologie et de la chimie et peuvent être mises en relation avec les difficultés identifiées *a priori* dans la littérature.

- ♦ $\theta 1'$: la fermentation alcoolique est un métabolisme qui se déroule indépendamment de la présence de microorganismes (levures)
- ♦ $\theta 2'$: le métabolisme de la fermentation alcoolique se déroule en aérobie
- ♦ $\theta 3'$: la réalisation optimale du métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures est indépendante de la température du milieu
- ♦ $\theta 4'$: le volume disponible d'un contenant est inférieur au volume versé.
- ♦ $\theta 5'$: les gaz présents dans l'air ne se dissolvent pas dans une solution
- ♦ $\theta 6'$: la levure est une bactérie. La levure n'est pas un microorganisme.
- ♦ $\theta 7'$: la vitesse de réaction chimique de la fermentation alcoolique est indépendante de la température du milieu
- ♦ $\theta 8'$: la température optimale pour la réalisation du métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures est $> 40^{\circ}\text{C}$
- ♦ $\theta 9'$: la température optimale pour la réalisation du métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures est $< 20^{\circ}\text{C}$

Les praxéologies personnelles *a priori* pour le type de tâche T (étape 1 du protocole) vont être modélisées de la façon suivante :

Nous identifions l'ensemble des erreurs possibles pour le type de tâche T. Nous commençons par les erreurs portant sur la technique (tâches manquante(s)), puis celles portant sur les valeurs de variables (V0' à V8').

Puis nous les classons en fonctions des concepts en jeu.

Enfin nous allons proposer, parmi les éléments de technologies erronées ($\theta 1'$ à $\theta 9'$) modélisées, celles qui peuvent justifier ces techniques erronées.

Tout ceci nous permettra de constituer un ensemble de praxéologies personnelles *a priori* pour le type de tâche T. Nous souhaitons tester ce modèle en analysant l'étape 1 des protocoles des élèves. Nous voulons vérifier si l'analyse met en évidence des praxéologies personnelles que nous n'avons pas anticipées dans notre modélisation *a priori*, afin d'enrichir notre modélisation.

2.2. Méthodologie pour l'enrichissement des praxéologies personnelles *a priori* à partir des productions des élèves

Les praxéologies personnelles des élèves vont être analysées dans l'ensemble des protocoles obtenus lors des deux expérimentations. Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des protocoles produits en fonction des types de pré structurations proposées (N1, N2, N3 de l'expérimentation 1 et N2a et N2b de l'expérimentation 2).

Type de pré structuration de protocole	Nombre de protocoles comprenant au moins une erreur pour T	Nombre de protocoles de niveau « experts » pour T
N1 : étapes imposées, actions 'libres'	19	0
N2 : Etapes et actions pré structurées	21	0
N3 : Etapes, actions et justifications pré structurées	19	0
N2a : N2 avec formulation d'actions 'simples'	24	1
N2b : N2 avec formulation d'actions 'multiples'	17	9
Total :	100	10

Tableau 48 : corpus de données pour modéliser les praxéologies personnelles des élèves

Le corpus se compose de 110 protocoles produits par les élèves et exploitables pour notre analyse. Néanmoins, 10 d'entre eux sont d'un niveau que nous avons qualifié d'experts pour le type de tâche étudié c'est-à-dire que, selon le modèle praxéologique présenté dans le chapitre 6, la technique proposée par l'élève est correcte et conforme aux attentes institutionnelles. Ainsi, nous ne les incluons pas dans nos données à analyser, car ces productions sont apparentées à des praxéologies expertes.

Nous réalisons une analyse globale des protocoles quelle que soit le type de pré structuration du protocole (N), du fait des questions et hypothèses de recherche qui ne nécessitent pas d'analyse comparative selon le type de pré structuration.

En effet, dans les chapitres 9 et 10, nous avons mis en évidence que la pré structuration des actions favorise la production d'un protocole communicable et pertinent. Cependant, nous ne cherchons pas à faire une analyse comparative des praxéologies personnelles identifiées selon le type de protocole (N), mais à identifier celles qui sont récurrentes afin de proposer une prise en charge par l'EIAH, par exemple sous la forme de rétroactions.

De plus, il est important de rappeler que, comme nous l'avons précisé dans le chapitre 7, l'ensemble des élèves disposent des mêmes étayages fixes, comme les documents ressources et la liste de matériel disponible qui aident les élèves à effectuer le choix de certains paramètres concernant des concepts nouveaux (comme la compréhension du terme « anaérobie ») et/ou qui ne sont pas objectifs

d'apprentissage (comme la température du milieu). Néanmoins l'élève doit choisir une technique de résolution de la tâche.

Enfin, nous ne modélisons pas les praxéologies personnelles des élèves, relatives à une erreur de type V0' c'est à dire dont les variables d'un ou plusieurs types de tâches de la technique sont absentes. En effet, selon le modèle théorique, nous ne pouvons pas donner d'interprétation au niveau des technologies de l'élève.

Cela se traduit dans les protocoles des élèves par des actions dont les paramètres attendus sont absents ou non complétés. Par exemple, dans une production d'élève, une action du type « *fermer le tube à essai* » ne sera pas modélisée en terme de praxéologie personnelle si les paramètres attendus (matériel pour fermer le tube et solution à fermer) sont manquants. Ce type d'erreur est modélisé par V0' selon la figure 23 du chapitre 6.

Ainsi, nous allons modéliser dans l'ensemble des cent protocoles produits et pour lesquels il existe au moins une erreur relative à la technique de T « placer les microorganismes dans les conditions du milieu », les praxéologies personnelles des élèves et les mettre en lien avec les praxéologies personnelles identifiées *a priori*. Nous allons pour cela, distinguer les praxéologies personnelles des élèves qui sont majoritairement représentées et identifier les concepts en jeu, de celles qui sont minoritaires ou absentes.

Enfin, nous proposerons dans un second temps de modéliser des rétroactions spécifiques.

2.3. Méthodologie pour la proposition de rétroactions

Après avoir modélisé des praxéologies personnelles *a priori* à partir d'erreurs identifiées dans les protocoles des élèves, nous souhaitons faire des préconisations pour un diagnostic automatique de ces erreurs et proposer des rétroactions adaptées.

Dans leurs travaux, Kluger & DeNisi (1996), donnent une définition de la rétroaction comme étant « *une intervention faite par un agent extérieur de façon à fournir de l'information concernant certains aspects liés à l'exécution d'une tâche* » (p. 255).

Plusieurs types de rétroactions ont été proposés en sciences humaines. Ces catégories prennent en compte l'intention, le contenu, le temps, la focalisation, la complexité, la façon dont la rétroaction est transmise ainsi que les conséquences de celle-ci sur les apprentissages.

Nous nous référons aux catégories formalisées dans les travaux de Shute (2007). Cette auteure les classe selon le niveau de complexité de la rétroaction. Elle en définit 12, que nous détaillons dans le tableau ci-dessous.

Type de rétroaction	Contenu de la rétroaction
1) Pas de rétroaction :	la réponse de l'apprenant ne peut être corrigée à cause de l'absence d'indicateur.
2) Vérification :	informe l'apprenant si la réponse est correcte/incorrecte, et sur le pourcentage de réponses vraies
3) Réponse correcte :	donne uniquement la réponse correcte à l'apprenant.
4) Essayer encore :	l'apprenant est informé d'une réponse incorrecte, et a la possibilité de recommencer (par tâtonnement)
5) Soulignage d'erreur :	localise l'erreur, sans donner la réponse correcte
6) Elaborer :	explique pourquoi la réponse était correcte et comment est-ce qu'on pourrait élargir le champ de réponse.
7) Isoler :	cible une compétence ou un concept au sens large
8) Attribut :	donne des informations pour reprendre un sujet déjà étudié
9) Centrer réponse :	explique pourquoi la réponse est juste et pourquoi elle est fausse
10) Conseil :	guide l'apprenant dans la bonne direction « prompts », vers une stratégie de résolution pertinente, sans donner la bonne réponse
11) Erreurs ou misconception :	demande une analyse et un diagnostic de l'erreur, la rétroaction fourni une information sur le concept erroné en jeu.
12) Tuteur instructif (ou guidée) :	il s'agit d'une rétroaction élaborée qui reprend les caractéristiques des rétroactions suivantes : soulignage de l'erreur, vérification. Sans donner la réponse correcte, elle consiste à donner des indications sur la stratégie de résolution à adopter.

Tableau 49 : niveaux de complexité des rétroaction selon Shute (2010, p.8)

Dans notre étude, à partir des spécificités du logiciel et de la situation proposée, nous faisons le choix de modéliser des rétroactions du type :

1) Pas de rétroaction : pour les réponses correctes

3) Réponse correcte : pour certaines réponses incorrectes (nous le développons ci-après)

5) Soulignage d'erreur : pour les réponses incorrectes en lien avec le type d'erreur sur lequel porte la rétroaction

11) Erreurs ou misconception : le diagnostic de l'erreur a été réalisé à partir d'une modélisation de praxéologies personnelles selon les concepts en jeu, et en lien avec des difficultés identifiées *a priori* (chapitre 6).

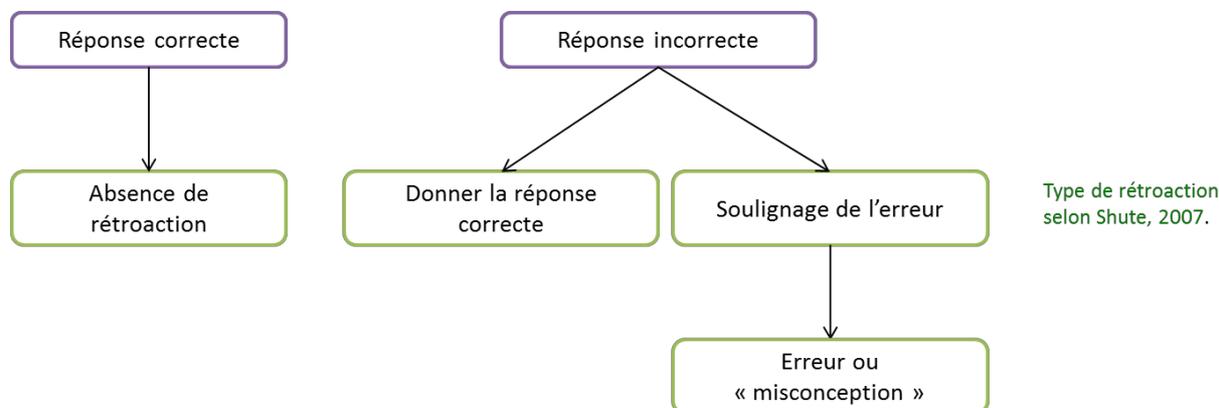


Figure 95 : types de rétroactions à proposer dans la situation selon les catégories de Shute (2007)

Nous souhaitons néanmoins, pour notre modèle développer les types de rétroactions que Shute catégorise en « erreur ou misconceptions ». Elle définit ce type de rétroaction notamment comme un moyen de guider les élèves vers une stratégie de résolution pertinente (n°10). Nous souhaitons détailler ce point en complétant ce type de rétroaction avec la notion de « guidage » développée par Zacharias & al. (2015) (chapitre 2).

Ces auteurs proposent un type d'étayage « prompts » qui permet d'interroger les élèves sur les manquements, les oublis dans leur démarche. Cela pourrait se traduire dans notre modèle par des rétroactions sous la forme d'un questionnement portant sur ces manquements. De plus, ils proposent un autre étayage qui nous paraît pertinent « direct presentation of information », que nous pourrions formaliser par une rétroaction du type « apporter une information ». Ces apports d'informations pourraient porter sur les concepts en jeu ou bien sur la technique de résolution.

Nous distinguons des types de rétroactions en fonction des concepts, enjeux d'apprentissages ou non en TS spé, pour lesquels nous avons proposé (ou pas) des étayages fixes (documents ressources).

Nous présentons ainsi dans la figure ci-dessous, une modélisation théorique des types de rétroactions qui prend en compte les spécificités de notre situation (concept en jeu, étayages fixes proposés).

Ces types de rétroactions prennent également appui sur les types d'erreurs portant sur la technique et/ou la valeur de variables, mais aussi sur des interprétations qui en sont faites et que nous avons modélisées sous la forme de technologies erronées de l'élève.

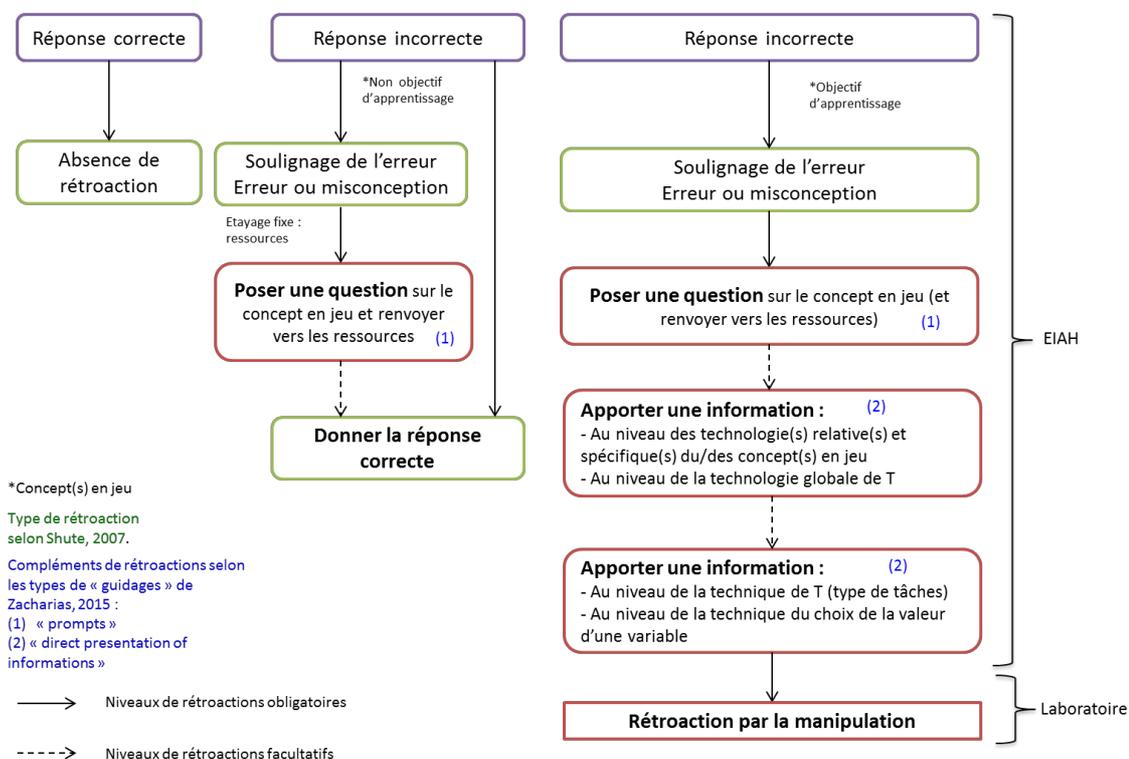


Figure 96 : modélisation des types de rétroactions selon Shute et Zacharias, appliquée à la situation proposée dans LabBook

Nous identifions différents niveaux successifs de rétroactions selon les types de réponses apportées et selon certaines conditions (figure 96).

- pour les réponses correctes, nous ne préconisons pas de rétroactions de validation.
- pour les réponses incorrectes diagnostiquées, si les concepts en jeu ne sont pas des objectifs d'apprentissages et que nous n'avons pas proposé d'étayage fixe, alors nous préconisons une rétroaction du type « donner la réponse correcte ».
- dans les autres cas, nous préconisons différents niveaux de rétroactions : soulignage de(s) erreur(s) à partir d'un diagnostic (concept(s) erroné(s) en jeu)
 - **1^{er} niveau de rétroaction** : sous la forme d'un questionnement en lien avec les concepts en jeu selon le type d'erreur (qui porte sur la technique du type de tâches principale ou sur une valeur de variable). Ce questionnement peut renvoyer vers des documents ressources si nous avons mis en place un étayage fixe.
 - **2^{ème} niveau de rétroaction** : sous la forme d'un apport d'informations. Elles portent sur les technologies relatives aux concepts en jeu. Le niveau de précision de ces apports d'informations sera fonction du type d'erreur. L'apport d'information portera soit sur la technique du type de tâches principale, soit sur un choix de valeur de variable.
 - **3^{ème} niveau de rétroaction** : sous la forme d'un apport d'informations, portées sur la technique de résolution de la tâche ou bien sur le choix de la valeur de la variable. Là encore le niveau de précision dépend du type d'erreur sur lequel la rétroaction porte.
 - **4^{ème} niveau de rétroaction** : dans la situation, nous proposons à la fin une rétroaction du milieu expérimental c'est à dire liée à la phase d'exécution du protocole lors de la manipulation.

3. Résultats : modélisation des praxéologies personnelles et propositions de rétroactions

3.1. Résultats : Modélisation des praxéologies personnelles *a priori* de la situation

Le tableau 50 présente les résultats de la modélisation de 12 praxéologies personnelles *a priori*.

Nous avons choisi de représenter une praxéologie personnelle (n°1) qui modélise l'absence de technique pour laquelle il n'est pas possible de donner une interprétation au niveau des technologies de l'élève.

Les onze autres sont classées en fonction des concepts en jeu et en fonction des erreurs possibles. Pour chaque concept nous modélisons des praxéologies personnelles à partir d'erreurs possibles :

- ✓ sur les types de tâches manquants
- ✓ sur des valeurs de variables
- ✓ ou bien sur l'association des deux.

Nous associons les technologies erronées relatives qui justifient les techniques erronées modélisées dans 11 praxéologies *a priori*.

Nous précisons le concept en jeu pour chacune des praxéologies personnelles *a priori* afin de les mettre en lien avec l'analyse épistémologique.

Concernant les valeurs erronées de variables, nous en précisons la valeur (Vx') quand cela est possible. Par exemple dans la situation, cela correspond aux propositions faites dans le menu déroulant d'une action du protocole (exemple de la bouilloire dans la praxéologie personnelles n°10), ou bien lorsque la valeur de variable est donnée dans les documents ressources (exemple de la température 25°C dans la praxéologie personnelle n°9).

Parmi ces praxéologies personnelles, deux correspondent à l'association de deux erreurs (n°4 et n°2), les autres à une seule erreur.

Par exemple, la praxéologie personnelle *a priori* n°4 est l'association des praxéologies *a priori* n°3 et 5. Ces praxéologies personnelles « simples » qui modélisent une seule erreur, portent néanmoins sur le même concept d'anaérobie. Elles proposent des techniques erronées différentes dont les erreurs portent soit sur le type de tâche manquant (T1) soit sur une erreur de valeur de variable V2' (volume). Les technologies erronées relatives *a priori* sont différentes, ce qui laisse envisager des rétroactions distinctes portées respectivement sur l'absence d'un des types de tâches de la technique de T ou sur le choix de la valeur de la variable. La praxéologie personnelle *a priori* n°4 « combinée » modélise ainsi une technique erronée qui correspond à l'association de ces deux praxéologies « simples ». Ainsi, la technologie erronée *a priori* de la praxéologie personnelle n°4 est d'un niveau plus général, ce qui laisse envisager une rétroaction du même ordre sur le concept d'anaérobie.

Il en est de même pour la praxéologie personnelle *a priori* n°2 qui est l'association des praxéologies *a priori* n°3 et 6.

La modélisation de praxéologies personnelles « simples » et « combinées » permet d'affiner le diagnostic et de proposer des rétroactions différenciées.

N° de praxéologie personnelle <i>a priori</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Erreur(s) portée(s) sur la technique : T manquant(s)	T0 T1 T2	T1 T2	T1	T1		T2						T0
Erreur(s) portée(s) sur une valeur de variable(Vx') d'un T <i>(précision sur la valeur erronée)</i>				V2' (T0) <i>(volume prélevé < 36mL)</i>	V2' (T0) <i>(volume prélevé < 36mL)</i>		V4' (T0, T1, T2) <i>(solution sans levures)</i>	V7' (T2) Ou V8' (T2) <i>(Température différente de 25°C)</i>	V3' (T0) <i>(suspension de bactéries)</i>	V6' (T2) <i>(bouilloire)</i>	V5' (T1) <i>(bouchon percé)</i>	
Technologie(s) erronée(s) relative(s)		θ2' θ3'	θ2'	θ2' θ5'	θ5'	θ3'	θ1'	θ8' ou θ9'	θ6'	θ7'	θ2' θ5'	(θ1')
Concept en jeu		Conditions de réalisation du métabolisme fermentaire	Condition nécessaire : anaérobie	Condition nécessaire : anaérobie stricte, diffusion des gaz	Condition optimale de réaction : température du milieu	Vivant Condition optimale de réaction : température du milieu	Vivant	Classification des micro-organismes	Matériel de laboratoire	Objet protocole (Vivant)		

Tableau 50 : praxéologies personnelles *a priori*

La praxéologie personnelle *a priori* n°1, modélise l'absence de technique relative au type de tâche T pour laquelle il n'existe pas d'interprétation au niveau des technologies de l'élève. En effet, soit le type de tâche peut être considéré comme élémentaire pour l'élève, soit cela met en avant l'absence d'équipement praxéologique de l'élève pour ce type de tâche. Cependant, nous pensons qu'il est nécessaire de la modéliser car elle peut être interprétée à un autre niveau. En effet, nous la mettons en lien avec les résultats obtenus dans l'analyse globale des protocoles des élèves (chapitre 9). Dans la situation, les étapes du protocole sont imposées et le type de tâche que nous étudions (placer les microorganismes dans les conditions du milieu) est une des étapes imposées dans le protocole. Nous avons mis en évidence dans le chapitre 9, qu'une erreur de manipulation peut provoquer la disparition de cette étape, ce qui se traduit par l'absence de technique relative. Il n'y a actuellement pas de retour possible pour une action de suppression dans le logiciel. Étant donné qu'il s'agit pour la plupart des élèves d'une première utilisation du logiciel, nous pensons que cette contrainte liée à l'environnement informatique est à prendre en compte dans notre analyse.

Concernant les 11 autres praxéologies personnelles *a priori* modélisées, nous remarquons que différentes erreurs peuvent relever d'une même technologie erronée.

C'est le cas des techniques proposées *a priori* dans les praxéologies personnelles n° 2, 3, 4 et 11 qui se justifient selon une même technologie erronée θ_2 « le métabolisme de la fermentation alcoolique se déroule en aérobie ». Cette technologie erronée se réfère à des difficultés identifiées *a priori* dans les travaux de Songer & Mintzes (1994) et Flores & al. (2003) concernant la confusion entre la respiration cellulaire et la fermentation alcoolique. Ainsi, une même difficulté peut être à l'origine d'erreurs variées pour un même type de tâche.

Cependant, l'erreur de choix de matériel pour fermer le contenant, modélisée dans la praxéologie personnelle n°11 peut également être due à une méconnaissance du matériel de laboratoire ou bien à des difficultés liées à la présence de gaz dans l'air et à leur dissolution dans une solution (θ_5). Cette technologie erronée est par ailleurs, modélisée dans la praxéologie personnelle n°5.

Les praxéologies personnelles *a priori* n°6, 7, et 8 font référence au concept de vivant du fait de l'utilisation de microorganismes qui impliquent des contraintes biologiques. En effet, la température du milieu qui doit être adaptée et est différente en fonction du type de microorganismes. Les difficultés liées à l'association de la levure au vivant ont été mises en évidence notamment dans les travaux de Schneeberger & Rodriguez (1999), Songer & Mintzes (1994). Les techniques proposées dans ces praxéologies personnelles *a priori* se justifient ainsi par des technologies portant sur une des conditions du milieu (la température) nécessaire à la réalisation de la fermentation alcoolique, mais également sur le choix de la valeur de la température du milieu, qui est dépendante du microorganisme utilisé, et qui va influencer sur la vitesse de réaction.

Les microorganismes sont eux aussi à l'origine de difficultés car les élèves confondent les différentes catégories de microorganismes comme la levure et la bactérie (Schneeberger & Rodriguez (1999)). Nous le modélisons dans la praxéologie personnelle *a priori* n°9.

Enfin, la praxéologie n°12 qui décrit l'absence de prélèvement de microorganismes (T0) peut avoir différentes origines. Les difficultés liées à la rédaction d'un protocole complet peuvent expliquer l'absence de cette tâche qui peut être considérée comme élémentaire par l'élève. Nous avons montré dans l'analyse des protocoles, les difficultés qu'ont les élèves avec l'utilisation de l'action « prélever une solution » qu'ils remplaçaient par l'action « verser une solution ». Une autre interprétation est possible, en effet l'absence de prélèvement de microorganismes pourrait supposer des difficultés liées à l'association de la levure à un organisme vivant nécessaire à la réalisation de la fermentation alcoolique.

3.2. Résultats : praxéologies personnelles dans les protocoles des élèves

Nous avons modélisé, selon la méthodologie présentée précédemment, les praxéologies personnelles des élèves dans l'ensemble des protocoles. Le corpus comprend 110 protocoles d'élèves dans lequel nous avons exclu les 10 protocoles « experts » pour le type de tâche T étudié.

Nous avons émis l'hypothèse que les praxéologies personnelles *a priori* relevant d'erreurs en lien avec des concepts acquis dans les classes antérieures, seraient minoritaires dans les productions des élèves. Il s'agit des praxéologies personnelles n° 9, 10, 11 qui portent sur le type de microorganismes utilisé et le matériel de laboratoire (bain marie et verrerie).

De même, les praxéologies personnelles *a priori* relevant d'erreurs en lien avec des concepts nouveaux pour lesquels la situation propose des étayages fixes concernant le choix d'une valeur de variable devraient également être minoritaire. Il s'agit de la praxéologie personnelle n°8 qui porte sur la température optimale de réaction.

A l'inverse, celles pour lesquelles les erreurs sont en lien avec des concepts nouveaux, pour lesquels nous proposons des étayages conceptuels uniquement, devraient être majoritaires (n°2, 3, 4, 5, 6, 7, 12). Les étayages proposés sont de nature conceptuels et proposent parfois aussi des valeurs de variables, mais ils n'explicitent pas de techniques de résolutions de la tâche.

De plus, nous avons émis l'hypothèse qu'il est possible de modéliser une production d'élève à partir de l'association de plusieurs praxéologies personnelles *a priori* (cf. praxéologies personnelles n°2 et 4).

3.2.1 Modélisation des praxéologies personnelles dans les protocoles des élèves

Le tableau 51 présente les résultats d'analyse des 100 protocoles d'élèves selon les praxéologies personnelles *a priori*. Nous avons pu modéliser l'ensemble des protocoles des élèves selon les 12 praxéologies personnelles identifiées *a priori*.

Un premier résultat est qu'aucun protocole ne présente d'autres techniques erronées, qu'il faudrait modéliser par des praxéologies personnelles non proposée *a priori*. Notre modélisation est donc suffisante pour l'étude proposée.

Praxéologies personnelles <i>a priori</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Effectif (/100)	10	15	13	12	49	18	10	0	2	3	3	23

Tableau 51 : résultats d'analyse des protocoles des élèves

Nous relevons 158 praxéologies personnelles dans les 100 protocoles d'élèves. Nous avons donc plusieurs praxéologies personnelles dans un même protocole. Nous analyserons les associations de praxéologies dans le paragraphe 3.2.2.

Nous remarquons quatre praxéologies personnelles *a priori* qui sont minoritaires dans les productions des élèves : n°8, 9, 10, et 11. Elles sont soit absentes (n°8) soit présentes dans seulement deux ou trois protocoles (n°9, 10, et 11).

A l'inverse les praxéologies personnelles *a priori* (dans l'ordre décroissant) n° 5, 12, 6, 2, 3, 4, et 7 sont identifiées dans au moins 10 protocoles d'élèves.

Ces résultats confirment les hypothèses précédemment citées. Nous détaillons plus précisément ces résultats, tout d'abord ceux des praxéologies personnelles majoritairement présentées, puis celles qui ne le sont pas ou très peu.

Praxéologies personnelles *a priori* majoritaires dans les protocoles des élèves.

Nous remarquons que dans près de la moitié des protocoles des élèves (49/100) la praxéologie personnelle n°5 (en lien avec le concept d'anaérobie) est identifiée. Nous présentons dans la figure 97 un exemple de protocole d'élève que nous avons modélisé selon la praxéologie personnelle n°5.



Question de recherche ou objectif

Mettre en évidence le métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures



Hypothèses ou résultats attendus

si les levures sont capable de réaliser la fermentation alcoolique on attend une production de CO₂ et d'éthanol pour l'expérience, la présence d'éthanol suffit à valider la thèse de fermentation alcoolique



Liste du matériel

- | | | | |
|----------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|
| • | • Alcotest | • Amidon | • Bain marie |
| • Ballon (100mL) | • Becher (100mL) | • Becher (10mL) | • Becher (50mL) |
| • Bouchon | • Bouchon percé | • Bouilloire | • Cristalliseur (200mL) |
| • Dioxyde de carbone | • Dioxygène | • Eau | • Eau de chaux |
| • Epruvette graduée (25mL) | • Epruvette graduée (50mL) | • Ethanol | • Glucose |
| • Glucotest | • Pipette (10mL) | • Pipette (3mL) | • Saccharose |
| • Suspension de bactéries | • Suspension de levures | • Thermomètre | • Tube à essai (40mL) |



Mode opératoire

Placer les microorganismes dans les conditions du milieu

Ajouter une solution. - Je prélève 15 mL de **Suspension de levures** à l'aide d'un(e) **Epruvette graduée (25mL)** et je les verse dans **Tube à essai (40mL)** . mie en culture des levures dans un milieu adapté (3/4 de levure pour 1/4 de glucide)

ajouter 5 mL de Glucose dans le tube a essai contenant la suspension de levure avec une pipette (10 mL) milieu de culture des levures

Fermer un contenant. - Je ferme le contenant de la solution de **Suspension de levures** avec un **Bouchon** . pour que le dioxygène ne se remplace pas

Initier l'expérimentation

Indiquer la durée de l'expérience. - Je réalise l'expérience pendant **30 min** . temps suffisant à la réalisation de la fermentation alcoolique

Porter et maintenir une solution à température. - Je place la solution de **Suspension de levures** à **25 °C**. Pour cela, j'utilise un(e) **Bain marie** . Je vérifie la stabilité de la température avec un(e) **Thermomètre** . c'est à cette température que la fabrication de la bière est favorisée, donc la fermentation des levures

Figure 97 : extrait d'un protocole d'élève

Il s'agit là d'une erreur sur le choix de volume à prélever afin de placer la suspension en anaérobie stricte. Selon les technologies erronées présentées dans le paragraphe 2.1, la modélisation de cette technique erronée est interprétée selon la technologie erronée « $\vartheta 5$: les gaz présents dans l'air ne se dissolvent pas dans l'eau ». Il s'agit là d'une technologie déjà acquise et attendue en classe de terminale scientifique de spécialité, mais qui fait également référence à un concept plus large et nouveau qui est le concept d'anaérobie (condition nécessaire à la réalisation de la fermentation alcoolique par les levures). Selon l'analyse épistémologique, ces deux concepts sont à l'origine de difficultés mises en évidence, dans les travaux de Songer et Mintzes (1994), Flores et al. (2003), Séré (1986) et Stavy (1988).

Il est également intéressant de mettre en lien les autres praxéologies personnelles *a priori* relatives à ce même concept d'anaérobie, c'est à dire n° 3 et 4 présentes respectivement dans 13 et 12 protocoles d'élèves. L'erreur considérée dans la praxéologie personnelle n°3 est l'absence de T1 (fermer le contenant) que nous interprétons au niveau d'une technologie erronée plus générale (la fermentation alcoolique se déroule en aérobie). Nous voyons bien ici l'intérêt, pour un même concept, d'avoir proposé des praxéologies personnelles différentes portant sur un type d'erreur différent, car les technologies erronées qui justifient ces techniques sont différentes. Le diagnostic de l'erreur est plus fin ce qui permet de prévoir une rétroaction automatique plus adaptée à l'erreur.

Notre proposition de modélisation de praxéologies personnelles *a priori* à partir du type d'erreur semble pertinente en vue de proposer des rétroactions spécifiques.

Une autre praxéologie personnelle (n°6) présente dans 18 protocoles est en lien avec un autre concept de biologie. Il s'agit d'une des conditions nécessaires à la réalisation optimale de la fermentation alcoolique par les levures, à savoir la température du milieu. L'erreur relative à cette praxéologie personnelle est

l'absence du type de tâche T2 (porter et maintenir la suspension à température). Il s'agit là d'un concept nouveau si on l'intègre au concept global du métabolisme de la fermentation alcoolique.

La praxéologie personnelle n°2 est l'association des n°6 et 3 et fait référence aux deux conditions nécessaires à la réalisation optimale de la fermentation alcoolique (milieu en anaérobiose et à température optimale).

Enfin toujours parmi les praxéologies majoritairement modélisées dans les protocoles des élèves, la praxéologie personnelle n°12 est présente dans 23 protocoles, et consiste en l'absence de T0 (prélever une solution).

L'interprétation est complexe. En effet, elle peut être associée à la praxéologie n°7 (absence de levures dans les solutions). On peut l'interpréter comme étant la conséquence de difficultés en lien avec le domaine de la biologie et notamment la difficulté à associer les levures à des organismes vivants responsables de ce métabolisme (Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Songer & Mintzes, 1994).

Néanmoins, comme nous l'avons relevé dans le chapitre 1, la technique erronée de la praxéologie n°12 (absence de prélèvement de levures (T0)) peut être la conséquence de difficultés liées à la rédaction d'un protocole communicable et exécutable (Girault & al., 2012). En effet, nous avons montré, dans les chapitres 9 et 10, que les élèves avaient des difficultés à utiliser l'action pré structurée correspondante (prélever une solution) proposée dans les protocoles. Dans ce cas, l'absence de T0 peut être expliquée non plus du côté des difficultés identifiées *a priori* concernant les concepts en jeu, mais concernant l'objet protocole lui-même, et également du côté institutionnel avec l'utilisation de la plateforme informatique LabBook et de la pré structuration des actions proposée dans Copex.

Praxéologies personnelles *a priori* minoritaires dans les protocoles des élèves.

La praxéologie personnelle n°8 n'est pas modélisée dans les protocoles des élèves. Elle propose une technique erronée, dans laquelle le type de tâche T2 (chauffer la solution) est présent mais la valeur de variable est erronée (>40°C ou <25°C). On peut ainsi en conclure que l'étayage fixe proposé dans les documents ressources (« la température du milieu est de 25°C ») aide effectivement les élèves à fixer la valeur de cette variable.

Trois autres praxéologies personnelles *a priori* sont peu représentées dans les protocoles des élèves. Nous avons fait l'hypothèse qu'il s'agit de praxéologies personnelles *a priori* en lien avec des concepts relevant d'acquis antérieurs.

La praxéologie personnelle *a priori* n°9 met en évidence la confusion entre les microorganismes (Schneeberger & Rodriguez, 1999) sachant que l'institution scolaire fixe cette variable (levure) du fait des contraintes d'utilisation que les microorganismes peuvent susciter. Les élèves utilisent essentiellement les levures comme modèle unicellulaire animal, ainsi ce n'est pas surprenant que peu d'erreurs soient liées à ce concept.

De même, les praxéologies personnelles *a priori* n° 10 et 11 qui réfèrent à l'utilisation d'un matériel pour respectivement « chauffer une solution » ou « fermer un contenant » sont peu modélisées dans les protocoles des élèves (3/100). En effet, la liste du matériel mise à disposition dans la situation proposée

et l'influence du matériel couramment utilisé mise en évidence dans les travaux de Jordan & al. (2011) orientent les techniques des élèves vers des choix corrects. Ainsi, la dimension institutionnelle dans l'interprétation de ces erreurs est très forte.

L'ensemble de ces résultats montre que la méthode de modélisation des praxéologies personnelles *a priori* en fonction du type d'erreur est pertinente, et qu'un diagnostic réalisé à partir de cette modélisation permet de proposer des rétroactions spécifiques ciblées sur le type d'erreur.

La modélisation des protocoles des élèves a permis de valider les 12 praxéologies personnelles *a priori*. Un protocole d'élève peut être modélisé à partir d'une ou plusieurs praxéologies personnelles *a priori*.

De plus les praxéologies majoritairement modélisées dans les protocoles des élèves sont en lien avec des concepts nouveaux et objectifs d'apprentissage en classe de terminale scientifique de spécialité, et à l'inverse les minoritaires relèvent de concepts acquis dans les classes antérieures.

Enfin, la praxéologie personnelle *a priori* qui n'a pas été modélisée dans les protocoles des élèves, laisse supposer que l'étyage fixe sur lequel porte l'erreur *a priori* est efficace.

Nous avons déjà proposé dans notre modèle deux associations de praxéologies personnelles *a priori* relatives à un même concept :

n°4 = n°3+n°5 (concept d'anaérobie)

n°2 = n°6+n°3 (concept de température du milieu)

Nous souhaitons à présent, à partir de l'analyse des protocoles des élèves, enrichir éventuellement les 12 praxéologies personnelles *a priori* par d'autres associations de praxéologies.

3.2.2 Enrichissement des praxéologies personnelles *a priori*

Nous avons mis en évidence dans le tableau 51 qu'un protocole d'élève peut être modélisé selon plusieurs praxéologies personnelles *a priori*, certaines étant des associations de praxéologies personnelles *a priori* (n°4 et n°2). Nous avons fait le choix d'associer des praxéologies personnelles car les erreurs portent sur un même concept et nécessiterait ainsi une rétroaction à un niveau plus général (paragraphe 3.3).

Afin d'améliorer notre modélisation en vue de rétroactions pertinentes, nous cherchons à enrichir les praxéologies personnelles *a priori* en analysant de nouvelles associations de praxéologies personnelles *a priori* modélisées dans chaque protocole d'élève. Ceci permettra d'identifier les types d'associations récurrentes et de voir s'il existe une signification du point de vue technologique permettant d'enrichir le modèle *a priori*.

Nous avons donc analysé chaque protocole d'élèves (sur un total de 100 élèves), c'est à dire qu'un protocole correspond strictement à une praxéologie *a priori* (n°1 à n°12) ou à une nouvelle association de praxéologies personnelles *a priori*.

Par exemple, un protocole d'élève qui aurait des valeurs de variables erronées V4' (solution sans levure) et V2' (volume < 36mL) pourrait être modélisé selon les praxéologies n°7 et n°5.

Nous nous posons ainsi la question de savoir si, cette association de praxéologies que nous n'avons pas modélisée *a priori* serait pertinente à interpréter en terme de technologies erronées.

Nous avons modélisé 14 « nouvelles » praxéologies personnelles qui regroupent deux ou trois praxéologies personnelles *a priori*.

Nous proposons d'analyser uniquement les associations de praxéologies personnelles *a priori* qui sont relativement importantes (représentées dans au moins 5 protocoles). Ainsi, parmi les 14 nouvelles praxéologies, nous en considérons seulement 3.

- **n°5 + n°6** : elle est modélisée dans 13 protocoles d'élèves (/100). Elle correspond à des erreurs sur une valeur de variable (volume de suspension < à 36mL) et un type de tâche manquant (T2 : chauffer la solution). Chaque type d'erreur peut être interprété au niveau d'une technologie distincte, respectivement $\theta 5'$ (les gaz présents dans l'air ne se dissolvent pas dans une solution) et $\theta 3'$ (la réalisation optimale du métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures est indépendante de la température du milieu). Nous ne voyons pas d'interprétation commune qui nécessiterait l'élaboration d'une nouvelle praxéologie personnelle *a priori* qui puisse les regrouper.
- **n°5 + n°2** : elle est modélisée dans 11 protocoles d'élèves (/100). Elle correspond respectivement à l'absence de deux types de tâche (T1 et T2) et une erreur sur une valeur de variable (volume de suspension < à 36mL). L'analyse des technologies erronées relatives à ces types d'erreurs ne permet pas de dégager une interprétation commune qui nécessiterait l'élaboration d'une nouvelle praxéologie personnelle *a priori* qui puisse les regrouper.
- **n°3 + n°12** : elle est modélisée dans 11 protocoles d'élèves (/100). Elle correspond à deux types de tâches manquants (T0 : prélever une solution et T2 : chauffer la solution). Comme précédemment, ce regroupement ne semble pas pertinent d'un point de vue conceptuel.

Par conséquent, les concepts en jeu dans ces associations sont variés. Il est difficile de modéliser des technologies erronées spécifiques pour ces associations qui relèvent de différentes technologies erronées, ce qui implique des rétroactions spécifiques portées sur des erreurs différentes.

Nous validons ainsi la modélisation des 12 praxéologies personnelles *a priori* pour le type de tâche étudié.

Néanmoins, cela ouvre des pistes de réflexion pour un travail ultérieur concernant la validation à plus grande échelle de la méthode utilisée pour modéliser les praxéologies personnelles *a priori* dans cet environnement informatique. C'est à dire que l'objectif final est de modéliser l'ensemble de la situation qui regroupe 5 types de tâches (correspondant aux 5 étapes imposées du protocole). Le diagnostic des erreurs porterait sur de multiples associations d'erreurs car certaines actions ou paramètres d'actions de différentes étapes portent sur un même concept. De

plus, dans notre modèle nous n'avons pas pris en compte les actions supplémentaires (modélisées en types de tâches supplémentaires) que les élèves proposent dans les étapes et qui ne font pas parties du protocole « expert ». Cela nécessite un travail supplémentaire de modélisation de praxéologies personnelles *a priori* en lien avec cet autre type d'erreur.

A ce stade du travail, nous pouvons proposer des préconisations pour les rétroactions. Un travail en collaboration avec des informaticiens nous permettra de passer de la modélisation aux rétroactions automatiques.

Nous proposons ainsi dans ce dernier paragraphe, des pistes de réflexion sur de possibles rétroactions sur certaines erreurs récurrentes mises en évidence dans l'analyse des praxéologies personnelles des élèves.

3.3. Proposition de rétroactions

Le tableau 52 présente, pour chacune des praxéologies personnelles majoritaires chez les élèves, des pistes de réflexion pour des propositions de rétroactions. Ainsi, nous développons celles relatives aux praxéologies personnelles *a priori* n° 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 12.

Nous utilisons pour cela, une grille élaborée à partir de la modélisation des types de rétroactions présentée dans la figure 96 (paragraphe 2.3.).

Nous distinguons les types de rétroactions en fonction :

- du type d'erreur : unique portée sur une variable ou sur un élément de la technique, ou sur une association d'erreurs
- des concepts en jeu : s'ils sont objectifs d'apprentissage ou non, et si un étayage fixe est proposé.

Nous présentons les résultats de cette modélisation dans le tableau 53 ci-dessous. Ainsi, pour chaque praxéologie personnelle *a priori*, nous rappelons :

- le type d'erreur
- le(s) concept(s) en jeu qui peuvent être objectif d'apprentissage
- les éventuels étayages fixes mis en place sous la forme de documents ressources
- l'interprétation des erreurs au niveau des technologies erronées de l'élève

Enfin, nous proposons pour chaque cas, les différents niveaux de rétroactions adaptatives correspondantes.

Erreurs portées sur : Concepts en jeu :	Association d'erreurs (modélisées par des praxéologies personnelles combinées)	Variable absente	Erreur unique (modélisées par des praxéologies personnelles 'simples')	
			Erreur portée sur un T_i de T manquant	Erreur portée sur une valeur de variable erronée
Objectif d'apprentissage et (ressource(s) associée(s))	1) Poser une question sur les concepts en jeu (et renvoi vers le(s) ressource(s)) 2) Apporter une information : technologie globale portée sur les concepts en jeu 3) Apporter une information : technique globale du type de tâches 4) Rétroaction du milieu selon les cas	Demander de compléter la/les valeur(s) de variable manquante(s)	1) Poser une question sur les concepts en jeu et renvoi vers le(s) ressource(s) 2) Apporter une information : technologie correcte globale 3) Apporter une information : technique centrée sur un des types de tâches 4) Rétroaction du milieu selon les cas	1) Poser une question sur les concepts en jeu et renvoi vers le(s) ressource(s) 2) Apporter une information : technologie spécifique du concept en jeu dans le choix de la valeur de la variable 3) Apporter une information : technique pour choisir la valeur de la variable 4) Rétroaction du milieu selon les cas
Non objectif d'apprentissage et ressource(s) associée(s)	1) Poser une question et renvoi vers le(s) ressource(s) 2) Apporter une information : donner les éléments manquants/corrects		1) Poser une question et renvoi vers le(s) document(s) ressource 2) Apporter une information : donner l'élément de technique manquant	1) Poser une question et renvoi vers le(s) ressource(s) 2) Apporter une information : donner la valeur de variable
Non objectif d'apprentissage et pas de ressource(s) associée(s)	1) Donner la réponse correcte : donner les éléments manquants/corrects		1) Donner la réponse correcte : donner l'élément de technique manquant	1) Donner la réponse correcte : donner la valeur de variable

Tableau 52 : modélisation des propositions de rétroactions d'une situation de conception expérimentale dans LabBook

Praxéologies personnelles <i>a priori</i>	Concepts en jeu → objectif d'apprentissage	Etayage fixe	Difficultés en jeu	Technologies erronées	Type de rétroaction
3 absence de T1 (fermer le contenant)	Conditions du milieu requises : anaérobie → objectif d'apprentissage	document n°1	Confusion respiration/ fermentation (Songer et Mintzes, 1994 Flores & al. 2003)	Le métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures se déroule en aérobie	1 ^{er} niveau : un questionnaire : Quelle est la condition requise pour la réalisation de la fermentation alcoolique chez des levures ? (document ressource n°1 : « Chez les levures, lorsqu'elles sont placées en condition anaérobie, le métabolisme fermentaire va prendre le pas sur le métabolisme de la respiration. ») 2 ^{ème} niveau : Apporter une information (la technologie relative à T1 correcte) : concept d'anaérobie 3 ^{ème} niveau : Apporter une information : technique mise en anaérobie « la suspension de levure doit se trouver dans un contenant hermétique afin de limiter les apports en dioxygène » 4 ^{ème} niveau : rétroaction du milieu expérimental : pas de production d'éthanol
5 erreur sur le paramètre V2' : volumes de solutions prélevées < au volume du contenant	Condition du milieu requise : anaérobie → objectif d'apprentissage Dissolution des gaz → concept transversal, pré requis	document n°1	Difficulté : matérialité des gaz, dissolution des gaz (Séré, 1986 ; Stavy, 1988, 1990)	Les gaz présents dans l'air ne se dissolvent pas dans une solution	1 ^{er} niveau : un questionnaire : Quelle est la condition requise pour la réalisation de la fermentation alcoolique chez des levures ? (document ressource n°1 : « il faut compter 1ml de glucides pour 10ml de suspension de levures à 10g/L ») 2 ^{ème} niveau : Apporter une information (la technologie relative au choix du volume correct) : concept d'anaérobie stricte en lien avec la dissolution des gaz présents dans l'air 3 ^{ème} niveau : Apporter une information : technique pour choisir la quantité de suspension de levures. « le volume total de solutions doit être égal au volume du contenant » 4 ^{ème} niveau : du milieu expérimental : la fermentation alcoolique ne prendra pas le pas sur la respiration cellulaire le temps de l'expérience

<p>6 absence de T2 (température du milieu)</p>	<p>Conditions du milieu requises : Température → objectif d'apprentissage mais lien avec concept transversale : vitesse de réaction → pré requis</p>	<p>document n°1</p>	<p>Difficulté à associer levure/vivant (Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Songer & Mintzes, 1994) Difficulté : décloisonnement des disciplines (Fortin, 2004)</p>	<p>Le métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures se déroule indépendamment de la température du milieu Les levures sont des microorganismes morts</p>	<p>1^{er} niveau : un questionnaire : Quelle est la condition requise pour une réalisation optimale de la fermentation alcoolique chez des levures ? (document ressource n°1 : « La fabrication d'une bière est favorisée par une température proche de 25°C. ») 2^{ème} niveau : Apporter une information (la technologie relative à T2 correcte) : condition optimale de la réalisation de la fermentation alcoolique par des levures 3^{ème} niveau : Apporter une information : technique pour mettre la suspension à température « la suspension de levures doit être placée à température optimale » 4^{ème} niveau : rétroaction de la manipulation : la durée de l'expérience choisie et recommandée (30minutes) pourrait être insuffisante.</p>
<p>7 erreur sur le paramètre V4' : solution prélevée dépourvue de levures</p>	<p>Vivant → objectifs d'apprentissage</p>	<p>document n°1</p>	<p>Difficulté à associer levure/vivant (Schneeberger & Rodriguez, 1999 ; Songer & Mintzes, 1994)</p>	<p>la fermentation alcoolique est un métabolisme qui se déroule indépendamment de la présence de microorganismes (levures)</p>	<p>1^{er} niveau : un questionnaire : Qu'est ce qui est à l'origine du métabolisme de la fermentation alcoolique ? (document ressource n°1 : « La bière est un produit dont la fabrication et la conservation impliquent des micro-organismes. En effet, certains micro-organismes sont responsables de la fermentation à l'origine de l'alcool (levures, bactéries...) ») 2^{ème} niveau : Apporter une information (la technologie relative à T0 ou T1, ou T2 correcte) : concept du vivant associé au métabolisme de la fermentation alcoolique 3^{ème} niveau : Apporter une information : technique pour choisir le type de solution. « la solution doit contenir un microorganisme vivant » 4^{ème} niveau : rétroaction de la manipulation : absence de production des produits de la réaction et de la consommation du glucose</p>
<p>2 absence T1 et T2 (est l'association</p>	<p>Conditions du milieu requises : anaérobie et</p>	<p>document n°1</p>	<p>Difficultés à définir le concept de fermentation</p>	<p>Le métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures se déroule en aérobie et</p>	<p>1^{er} niveau : un questionnaire : Quelles sont les conditions requises pour la réalisation de la fermentation alcoolique optimale chez des levures ? (document ressource n°1)</p>

de n°6 et n°3)	température → objectif d'apprentissage		alcoolique (Songer et Mintzes, 1994 Flores & al., 2003)	indépendamment de la température du milieu	2 ^{ème} niveau : Apporter une information (la technologie relative à T correcte) : conditions de réalisation de la fermentation alcoolique 3 ^{ème} niveau : Apporter une information : technique de résolution de T (mise en anaérobie stricte et température optimale de la réaction) 4 ^{ème} niveau : rétroaction de la manipulation : absence de production d'éthanol par les levures
4 (est l'association de n°3 et n°5)	Conditions du milieu requises : anaérobie → objectif d'apprentissage	document n°1	Confusion respiration/ fermentation (Songer & Mintzes, 1994 Flores & al., 2003) Concept de chimie : dissolution des gaz	Le métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures se déroule en aérobie Les gaz présents dans l'air ne se dissolvent pas dans une solution	1 ^{er} niveau : un questionnement : Quelle est la condition requise pour la réalisation de la fermentation alcoolique chez des levures ? (document ressource n°1 : « Chez les levures, lorsqu'elles sont placées en condition anaérobie, le métabolisme fermentaire va prendre le pas sur le métabolisme de la respiration, ce qui peut prendre une quinzaine de minutes. ») 2 ^{ème} niveau : Apporter une information (la technologie relative à T correcte) : concept d'anaérobie stricte 3 ^{ème} niveau : Apporter une information : technique de résolution de T « limiter la présence de dioxygène : fermer le contenant, et prélever un volume de suspension de levure maximal » 4 ^{ème} niveau : rétroaction de la manipulation : absence de production d'éthanol par les levures
12 Absence de T0	Description du protocole imprécise : protocole non exécutable	Consigne	Difficulté à rédiger un protocole (Marzin, & de Vries, 2011)	la fermentation alcoolique est un métabolisme qui se déroule indépendamment de la présence de microorganismes (levures)	1 ^{er} niveau : donner la réponse correcte « vous devez prélever la solution/suspension pour pouvoir l'utiliser »
V0' absence d'une variable					Diagnostic non réalisable → Pas d'interprétation au niveau technologique possible. Rétroaction portant sur la nécessité de compléter les paramètres

Tableau 53 : propositions de rétroactions à partir d'erreurs diagnostiquées dans les protocoles des élèves

Cette analyse met en évidence trois types de rétroactions différents, liés à la situation proposée dans LabBook et Copex.

En effet, les praxéologies personnelles *a priori* n°2, 3, 4, 5, 6 et 7 font appels à des concepts fondamentaux de biologie et de chimie à l'origine de difficultés identifiées, alors que la praxéologie personnelle *a priori* n°12 relève d'une difficulté en lien avec la rédaction d'un protocole exécutable (Girault & al., 2012 ; Marzin & de Vries, 2011). Il en découle ainsi des propositions de rétroactions de nature différente. Dans le premier cas, elles s'orientent du côté des conceptions de l'élève, dans le second cas, plutôt du côté de l'objet protocole (Berthet & al., 2015).

Nous avons montré que selon le type de praxéologies personnelles relatives à un même concept ('simples' ou 'associées') les rétroactions sont différentes, à la fois dans leur formalisation, mais également sur le degré de précision des questions et des apports d'informations.

Enfin, l'absence de variable (V0'), pour laquelle il n'y a pas d'interprétation praxéologique de l'erreur, va également susciter une rétroaction adaptée aux possibilités qu'offre le diagnostic automatique. En effet, le diagnostic n'étant pas réalisable, la rétroaction va s'orienter vers une demande de paramétrage de l'action afin de pouvoir réaliser un diagnostic.

Le diagnostic et les propositions de rétroactions, doivent prendre en compte une autre dimension institutionnelle liée aux objectifs d'apprentissage. C'est à dire que la nature de la rétroaction dépend du concept, s'il est enjeu d'apprentissage ou non pour le niveau scolaire visé. Certaines difficultés, relevant de concepts nouveaux, sont prises en charge notamment avec la mise en place d'un étayage conceptuel (Marzin, 2015) sous la forme de documents ressources. Ainsi, des possibles rétroactions adaptatives, sous la forme d'un questionnement, pourraient inciter les élèves à aller chercher des informations présentes dans les documents ressources. Cela souligne l'importance des contenus de ces documents, et du niveau d'information que l'on souhaite apporter. C'est à dire est-ce qu'on apporte des informations sur des valeurs de paramètres (exemple de la température du milieu), sur des techniques pour choisir la valeur (exemple pour le volume de suspension de levures), ou bien de façon plus générale sur la technique de résolution de la tâche (par exemple la nécessité de placer les levures en anaérobie et à température). Enfin, jusqu'où souhaite-t-on étayer l'activité par l'environnement informatique, c'est à dire quelle est la place des rétroactions apportées par la manipulation et par l'enseignant ?

De plus, nous avons vu qu'en fonction du type d'erreur, pour un même concept, l'interprétation au niveau des technologies de l'élève peut s'avérer différente. A l'inverse, différentes erreurs peuvent être interprétées au niveau d'une même technologie. Ainsi, le diagnostic doit être réalisé à partir d'une association d'erreurs que nous devons modéliser pour l'ensemble de la situation.

Cela montre la complexité du diagnostic du fait du nombre d'éléments à prendre en compte. De plus, nous avons proposé une modélisation sur une seule étape du protocole qui en comporte quatre autres. La modélisation des rétroactions, telle que nous la formalisons aujourd'hui demanderait des compétences informatiques afin de les rendre automatiques.

4. Conclusions et perspectives

L'objectif de ce chapitre était de proposer une méthode de modélisation de praxéologies personnelles *a priori* pour un type de tâche à partir des erreurs identifiées, et ensuite de proposer des rétroactions. Ce type de travail de recherche n'avait pas encore été réalisé en SVT et permet de proposer une méthodologie qu'on pourrait étendre à d'autres situations, et ainsi participer au développement de l'actuelle plateforme informatique LabBook pour inclure des rétroactions sur le protocole pré structuré.

Notre apport réside également dans l'adaptation du modèle praxéologique aux sciences de la vie et à la conception expérimentale en sciences. Nous avons réalisé ce travail pour un type de tâche T : « placer les microorganismes dans les conditions du milieu » qui correspond à l'étape 1 du protocole de la situation et qui est à l'origine de difficultés.

Nous avons répondu aux questions de recherches présentées successivement ci-dessous :

- * Quelles sont les praxéologies personnelles *a priori* en lien avec la situation proposée ?

Nous avons modélisé, à partir des éléments de praxéologies personnelles du chapitre 6, 12 praxéologies personnelles *a priori* relevant de concepts propres au métabolisme de la fermentation alcoolique. Nous avons, pour un même concept modélisé des praxéologies personnelles *a priori* en fonction du type d'erreur en jeu, c'est à dire portant sur la technique du type de tâche ou bien sur la valeur de variable de la tâche. Nous avons également mis en relation ces praxéologies personnelles *a priori* avec les résultats de l'analyse épistémologique.

- * Peut-on enrichir cette modélisation *a priori* à partir de l'analyse des protocoles des élèves ?

Après modélisation de 12 praxéologies personnelles, nous avons mis en évidence dans les protocoles des élèves des associations de praxéologies personnelles *a priori* que nous n'avions pas anticipées, mais qui ne sont pas pertinentes du point de vue de l'interprétation au niveau des technologies erronées de l'élève.

Certaines praxéologies personnelles *a priori* ont été modélisées dans de nombreux protocoles. Elles relèvent de concepts nouveaux, par exemple les conditions nécessaires à la réalisation par les levures de la fermentation alcoolique.

A l'inverse les praxéologies personnelles minoritaires ou absentes sont relatives à des concepts acquis précédemment, ou bien portant sur des valeurs de variables étayées notamment par le contenu des documents ressources.

Ceci nous amène, dans ce cas précis, à valider certains étayages proposés dans les documents ressources et à prendre en compte l'importance des éléments apportés dans ces documents. L'information doit-elle porter sur la technique de résolution, ou sur des choix de valeurs de paramètres ? Quels sont la place et le poids de l'étayage apporté par la présentation d'une liste d'actions pré structurées qui guide les élèves vers une stratégie de résolution pertinente ?

Ce travail d'analyse, pour le diagnostic des erreurs et des rétroactions pourrait être prolongé par un retour sur des éléments de la praxéologie de référence avec une

réorganisation de la modélisation des technologiques. En effet, elle pourrait être plus précise et davantage différenciée en fonction de l'objet sur lequel porte la justification : la technique de la tâche ou le choix de la valeur de la variable.

* Quelles rétroactions proposer pour les erreurs récurrentes ?

L'élaboration d'un diagnostic des erreurs doit prendre en compte la dimension institutionnelle de la situation, ainsi que les contraintes imposées par la plateforme et par le logiciel Copex. Par exemple dans la pré structuration des actions, certaines d'entre elles comportent des paramètres mis à la charge de l'élève sous la forme de menus déroulants ou de champs libres. Cela implique la prise en compte, pour le diagnostic, de l'ensemble des choix possibles, qu'ils soient fixés (pour les menus déroulants) ou libres (pour les champs libres). De plus, nous avons mis en évidence que, différentes erreurs pouvaient appartenir à un même concept ce qui signifie que le diagnostic doit être réalisé à partir d'associations d'erreurs qui pourraient être modélisées pour l'ensemble de la situation.

A partir de ces préconisations pour le diagnostic, nous avons proposé, pour des erreurs récurrentes, des pistes de réflexion pour des rétroactions, qui selon les cas peuvent s'effectuer à différents niveaux, essentiellement sous la forme d'un questionnaire, et sous la forme d'un apport d'information.

Conclusions et perspectives

L'objectif de la thèse est d'étayer l'activité de conception expérimentale avec l'utilisation d'un environnement informatique pour l'apprentissage humain.

Nous avons, élaboré une situation de conception expérimentale incluant la conception d'un protocole sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique. Nous l'avons implémenté dans une plateforme numérique LabBook qui aide à la structuration de ce type d'activité, et nous avons mis en place des étayages fixes afin d'aider les élèves dans leurs apprentissages et dans la production d'un protocole complet. La conception de plusieurs situations a permis de mettre à l'épreuve les supports d'étayages et de tester leur efficacité sur les apprentissages et sur les productions de protocoles des élèves.

Les différentes analyses menées tout au long du travail de thèse sont centrées sur des difficultés des élèves et ont été réalisées selon les points suivants :

- la modélisation praxéologique des connaissances en jeu et la prise en compte des difficultés des élèves identifiées *a priori*
- les étayages fixes proposés dans LabBook et leur impact sur les apprentissages
- les étayages fixes proposés dans LabBook et leur impact sur la formalisation des protocoles produits
- l'identification de difficultés dans la situation et la proposition d'étayages adaptatifs

Nous allons ainsi conclure ce travail de thèse en développant ces quatre points.

1. La modélisation praxéologique des connaissances en jeu et la prise en compte des difficultés identifiées *a priori* des élèves

La modélisation des connaissances a été réalisée selon un cadre théorique issu des mathématiques. Nous avons ainsi décrit l'activité de conception expérimentale en utilisant le modèle praxéologique (Bosch & Chevallard, 1999) dans une situation de biologie.

Les praxéologies ainsi modélisées nous ont permis de structurer l'activité, et ont servi de référence à des moments distincts de notre travail :

- Tout d'abord lors de la conception de la situation : nous avons proposé une méthodologie de transposition pour élaborer une situation qu'il a été possible d'implémenter dans la plateforme informatique LabBook. Cette méthodologie permet de croiser les résultats de la modélisation praxéologique des savoirs en jeu avec l'analyse épistémologique, afin d'identifier les éléments à l'origine de difficultés pour les élèves. Ces éléments sont ainsi à disposition du chercheur pour l'élaboration d'une situation à l'origine de difficultés qui puisse être étayée par l'EIAH.
- L'extension du modèle T4TEL (Chaachoua & Bessot, 2017), avec l'introduction de variables, permet de prendre en compte la dimension informatique, en formalisant et en renforçant la structuration de l'activité

par la modélisation des variables disponibles pour le chercheur ou l'enseignant. Nous avons ainsi proposé l'introduction de ces variables dans la modélisation praxéologique des connaissances dans une activité de conception expérimentale en biologie. De même, la conception des situations proposées aux élèves à travers la pré structuration des actions s'est appuyée sur la formalisation des variables modélisées dans la praxéologie de référence. Les auteurs font également le postulat que l'extension du modèle pourrait être à l'origine de services comme l'élaboration d'un diagnostic automatique des erreurs, ainsi un travail ultérieur consisterait à tester la pertinence de ce modèle pour cette utilisation.

- La modélisation praxéologique nous a aussi permis de prendre en compte l'apprenant avec la formalisation de praxéologies personnelles (Croset & Chaachoua, 2016) des élèves pour un type de tâche donné. Nous avons proposé une méthodologie qui prend en compte différents types d'erreurs inhérents à l'activité de conception de protocole. Cette modélisation est complexe du fait de la multiplicité des erreurs possibles, et pourrait dans un travail ultérieur être étendue à l'ensemble de la situation.
- Enfin, la modélisation de praxéologies personnelles *a priori* nous a permis, à la fois de revenir sur les éléments de la praxéologie de référence avec notamment l'enrichissement de nouvelles valeurs de variables, mais également de proposer des rétroactions. Nous développerons ce point dans le paragraphe 4.

Ainsi, le cadre théorique utilisé a permis une modélisation pertinente des connaissances en jeu. Cette structuration de l'activité permet de prendre en compte les dimensions institutionnelles, personnelle, et informatique. Nous avons proposé une méthodologie pour un type de situation en biologie qui pourrait être étendue à d'autres situations en sciences expérimentales. Elle fait actuellement l'objet de travaux de recherches dans l'équipe MeTAH du LIG en chimie et en biologie.

2. Les étayages fixes proposés dans LabBook et leur impact sur les apprentissages conceptuels

Afin d'aider les élèves dans l'activité de conception expérimentale à l'origine de difficultés, nous avons proposé des étayages fixes dans la plateforme LabBook. Nous avons testé leur efficacité à différents niveaux, et nous développons dans ce paragraphe, leur impact sur les apprentissages.

Rappelons tout d'abord les principaux supports d'étayage mis en place pour aider les élèves :

- ✓ Nous avons apporté des informations scientifiques sur les concepts en jeu avec quatre documents ressources disponibles.
- ✓ Nous avons rendu moins complexe la tâche de conception expérimentale avec une structuration du rapport expérimental (sans le tester).
- ✓ Enfin nous avons également rendu moins complexe la tâche de conception de protocole avec une pré structuration du protocole en étapes, et actions paramétrées.

Nous avons réalisé une analyse comparative des apprentissages selon les concepts en jeu. Nous avons pour cela élaboré un questionnaire que nous avons soumis aux élèves avant et après la mise en situation. Le questionnaire porte sur les concepts en jeu dans la situation.

La situation de conception expérimentale favorise les apprentissages conceptuels. Cependant, cette étude ne nous permet pas de statuer sur l'impact de la pré structuration du protocole du fait d'un nombre insuffisant de données. Nous avons prévu davantage de données que nous n'avons pas obtenues en raison des contraintes institutionnelles fortes liées à l'expérimentation *in situ* en classe de terminale.

Concernant les apprentissages, nous avons remarqué une évolution des représentations conceptuelles des élèves sur le métabolisme de la fermentation alcoolique vers celles attendues par l'institution. Nous avons également mis en évidence des représentations qui font référence à des conceptions erronées relevées dans la littérature.

Les concepts de chimie décontextualisés de l'étude du métabolisme semblent être acquis et stabilisés comme ceux de réaction chimique, d'équation de réaction qui ne sont pas à l'origine de difficultés. Cependant, certains concepts de chimie contextualisés au métabolisme de la fermentation alcoolique sont à l'origine de difficultés que nous avons rencontrées chez les élèves de notre étude. Il s'agit par exemple de la difficulté liée à la matérialité des gaz et au phénomène de dissolution dans un milieu, également mise en évidence dans les travaux de Séré (1986) et Stavy (1988 ; 1990). Cette difficulté a pour conséquence une confusion persistante entre les métabolismes de la respiration et de la fermentation alcoolique (Flores & al., 2003) qui se traduit par une technique de mise en anaérobiose partielle. Cette difficulté est confortée par la réalisation de ces deux métabolismes par les microorganismes impliqués (les levures), selon les conditions du milieu. Nous avons ainsi relevé des difficultés persistantes principalement sur la technique de mise en anaérobiose qui nécessite, pour une réalisation optimale, un milieu strictement anaérobique. L'autre condition nécessaire à la réalisation optimale de la réaction est la température du milieu. Les élèves semblent maîtriser le concept de chimie associé (vitesse de réaction). Cependant, l'analyse des erreurs a mis en évidence une difficulté tenace pour les élèves qui consiste à ne pas considérer les levures comme des organismes vivants (Songer & Mintzes, 1994 ; Shneeberger & Rodriguez, 1999). Cela se traduit par l'absence de l'action correspondante dans les protocoles des élèves. Les étayages fixes relatifs à ce concept pour intégrer cette action dans la technique de résolution de la tâche (document ressources et liste d'action) ne sont pas efficaces, alors qu'ils le sont (documents ressources) pour instancier la valeur du paramètre (température de 25°C).

Au final, les étayages proposés par la plateforme LabBook aident les élèves à choisir certaines valeurs de paramètres pertinentes, mais les techniques de résolution de la tâche sont encore très incomplètes et nécessiteraient des étayages adaptatifs comme des rétroactions (paragraphe 4).

3. Les étayages fixes proposés dans LabBook et leur impact sur la formalisation des protocoles par les élèves

Nous avons proposé dans la situation un étayage fixe à travers la pré structuration du protocole en étapes et en actions paramétrées qui vise à aider les élèves à formaliser un protocole communicable. Nous avons pour cela testé différentes situations qui correspondent à des types de pré structuration différents. Un premier niveau d'étayage fixe, de pré structuration du protocole concerne les étapes. Un deuxième niveau concerne les actions paramétrées sous la forme de la proposition d'une liste à choix d'actions, et pour chacune d'elles un choix de propositions de valeurs de paramètres. Les résultats ont montré que les protocoles pré structurés en étapes et en actions sont davantage communicables et complets. Nous avons cependant mis en évidence des difficultés concernant l'appropriation par les élèves de certaines actions. Cela nous a incité à modifier la pré structuration proposée et à expérimenter deux nouvelles structurations, l'une en actions « simples » et l'autre en actions « multi-tâches ». Les résultats favorisent une méthodologie de pré structuration en actions « multi-tâches » pour lesquelles les valeurs de paramètres sont à fixer par les élèves.

Néanmoins, nous pensons que ces degrés de pré structuration dépendent du niveau initial des élèves. C'est à dire que dans nos expérimentations, les élèves étaient novices pour ce type d'activité et n'avaient jamais utilisé la plateforme numérique. Ainsi, il serait pertinent de mettre à l'épreuve les types de pré structuration de façon longitudinale, sur plusieurs séances dans une même classe. De plus, afin de compléter nos analyses sur l'appropriation du logiciel par les élèves, et sur l'utilisation des étayages fixes proposés, nous envisagerions dans un travail ultérieur, une analyse d'entretiens réalisés après la conception de protocole par les élèves pour comprendre les choix effectués par les élèves lors de la conception. Ces données seraient complétées par un questionnaire orienté sur l'objet protocole afin d'évaluer les apprentissages concernant la formalisation d'un protocole.

4. L'identification de difficultés tenaces et la proposition d'étayages adaptatifs

Les résultats de l'analyse des tests et des protocoles ont montré des difficultés tenaces, pour lesquelles les étayages fixes proposés dans la plateforme semblent ne pas être suffisamment efficaces. De précédentes études ont mis en évidence les limites de l'efficacité des étayages fixes sur les apprentissages (Azevedo, 2003 ; Girault & d'Ham, 2014).

Pour compléter les étayages fixes mis en place dans la situation, nous avons modélisé dans le dernier chapitre de notre travail de thèse un étayage adaptatif sous la forme de rétroactions. La condition préalable est la possibilité d'effectuer un diagnostic automatique. Or les actions paramétrées dans Copex fournissent des traces facilement utilisables pour effectuer un tel diagnostic (Girault & d'Ham, 2014). Les actions paramétrées permettent d'anticiper les erreurs des élèves et, selon le type d'erreurs et les concepts en jeu, nous avons proposé une modélisation des rétroactions avec différents niveaux. La modélisation des possibles rétroactions pourra être enrichie par l'analyse des rétroactions faites par

l'enseignant, afin d'identifier d'autres rétroactions que nous n'avons pas prévues, qui pourraient être prises en charge par la plateforme. L'utilisation de l'EIAH vise à décharger l'enseignant de certaines difficultés récurrentes d'élèves. Nous pourrions pour cela, nous appuyer sur les résultats de la thèse de Saavedra (2015) qui portent notamment sur l'analyse des interactions enseignant-élèves durant ce type d'activité intégrant la plateforme LabBook.

Une continuité du travail de thèse serait d'abord d'étendre la modélisation à l'ensemble de la situation. Puis une évolution de la plateforme qui ne propose actuellement pas ce service permettrait de tester ces rétroactions à partir d'un diagnostic automatique des erreurs.

Références bibliographiques

- Abrahams, I. & Millar, R. (2008). Does practical work really work ? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945–1969.
- Arce, J. & Betancourt, R. (1997). Student-designed experiments in scientific lab instruction. *Journal of College Science Teaching*, 27(2), 114–118.
- Artaud, M. (1998). Introduction à l'approche écologique du didactique – L'écologie des organisations mathématiques et didactiques. *Actes de la IXème école d'été de didactique des mathématiques*, 101-139.
- Artigue, M. (2011). La théorie anthropologique du didactique : rapports et articulations possibles avec d'autres approches. In A. Bronner, M. Larguier, M. Artaud, M. Bosch, Y. Chevillard, G. Cirade, C. Ladage (Eds.), *Diffuser les mathématiques (et les autres savoirs comme outils de connaissance et d'action)*. *Actes du Second Congrès de la Théorie Anthropologique du Didactique*, Uzès, octobre 2007, IUFM de Montpellier.
- Astolfi, J. P. (1992). *L'école pour apprendre*. Paris : ESF.
- Astolfi, J.-P., & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8530>
- Astolfi, J.-P., & Peterfalvi, B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. *Aster*, 25, 194-216. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8551>
- Azevedo, R., Cromley, J. G., & Seibert, D. (2004). Does adaptive scaffolding facilitate students' ability to regulate their learning with hypermedia ? *Contemporary Educational Psychology*, 29, 344-370.
- Barlet, R. & Plouin, D. (1994). L'équation bilan en chimie un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *Aster*, 18, 28-56. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8534>
- Beaufils, D. & Larcher, C. (1999). L'expérimental en classe. *Aster*, 28, 1-8. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8554>
- Bell, P., & Davis, E. A. (1996). Designing an activity in the Knowledge Integration Environment. In *1996 Annual Meeting of the American Educational Research Association*.
- Berthet, A., Girault, I. & d'Ham, C. (2015). Difficultés d'élèves pour élaborer un protocole expérimental. *Union des professeurs de physique et de chimie*. Vol. 109. 1395-1408.
- Bomchil, S. & Darley, B. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? *Aster*, 26, 85-108. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/>

handle/2042/8552

- Bosch, M. & Chevallard Y. (1999). La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. Objet d'étude et problématique. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 19(1), 77-124.
- Bosch, M., Chevallard, Y. & Gascon, J. (2005). Science or magic? The use of models in didactics of mathematics. In M. Bosch (Ed.), *Proceedings of CERME4, 4th Conference of European Research in Mathematics Education*, 1254-1263. Sint Feliu de Guixols, Spain.
- Bosch, M., & Gascon, J. (2004). La praxéologie comme unité d'analyse des processus didactiques. *Balises pour la didactique des mathématiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Brousseau, G. (1997). *Theory of Didactical Situation in Mathematics*. Springer Editions.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Bruner, J. S. (1983). *Le développement de l'enfant : Savoir-faire, savoir dire*. Paris : PUF.
- Bruner, J.S. (1974). From communication to language : a psychological perspective. *Cognition*, 3(3), 255- 287. Consulté à l'adresse : [http://doi.org/10.1016/0010-0277\(74\)90012-2](http://doi.org/10.1016/0010-0277(74)90012-2)
- Calmette, B. (2010). Démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences et pragmatisme. *Actes des Journées Scientifiques DIES 2010*, 8-18. Lyon : INRP. Consulté à l'adresse : <http://ife.ens-lyon.fr/publications/edition-electronique>
- Campestrini, P. (1992). Sortir de la logique de Van Helmont. *Aster*, 15, 86-100. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9053>
- Canguilhem, G. (1985). Fragments. *Revue de métaphysique et de morale, Aster*, 1, 93-105. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9069>
- Carretto, J. & Viovy, R. (1994). Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique, *Aster*, 18, 12-26. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8534>
- Chaachoua, H. (2010). *La praxéologie comme modèle didactique pour la problématique EIAH. Etude de cas : la modélisation des connaissances des élèves*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. Grenoble : Université Joseph Fourier. Consulté à l'adresse : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00922383/>
- Chaachoua, H. (2015). Un cadre de référence didactique basé sur l'approche praxéologique pour représenter les connaissances dans un EIAH. *Communication au 3^e Colloque International Franco-Vietnamien en didactique des mathématiques*. Hué.
- Chaachoua, H., Ferraton, G. & Desmoulin, C. (2013). Utilisation du modèle praxéologique de référence dans un EIAH. *Actes du 4^e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique*, Toulouse.
- Chaachoua, H. & Bessot A. (2017). Introduction de la notion de variable dans le modèle

- praxéologique. *Actes du 5e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique*. Castro-Urdiales, Espagne. 2016.
- Chang, K. E., Sung, Y. T., & Chen, S. F. (2001). Learning through computer-based concept mapping with scaffolding aid. *Journal of Computer Assisted Learning*, 17, 21–33.
- Chang, K. E., Chen, Y., Lin, H., & Sung, Y. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers & Education*, 51(4), 1486-1498.
- Chevallard Y. (1989). Le concept de rapport au savoir. Rapport personnel, rapport institutionnel, rapport officiel. *Séminaire de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique*, IMAG, Grenoble.
- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : Perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12(1), 73-112.
- Chevallard, Y. (1994). Les processus de transposition didactique et leur théorisation. Contribution à l'ouvrage dirigé par G. Arsac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand, Andrée Tiberghien (éds), *La transposition didactique à l'épreuve*, La Pensée sauvage, Grenoble, 135-180. Consulté à l'adresse : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php?id_article=114
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique de mathématiques*, 19(2), 221-265. Consulté à l'adresse : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php?id_article=27
- Coquide, M. (1998). Les pratiques expérimentales : Propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26, 109-132. Consulté à l'adresse : <http://doi.org/10.4267/2042/8694>
- Coquidé, M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'HDR, Université Paris-Sud, Orsay. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00525838/document>
- Coquidé, M., Fortin C. & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, 49, 51-78. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/30266>
- Coquidé, M., Bourgeois-Victor, P. & Desbeaux-Salviat, B. (1999). « Résistance du réel » dans les pratiques expérimentales. *Aster*, 28, 57-77. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8554>
- Cronbach, L. J. & Furby, L. (1970). How Should We Measure "Change" Or Should We? *Psychological Bulletin*, 74 (1), 68–80.
- Croset, M-C. & Chaachoua, H. (2016). Une réponse à la prise en compte de l'apprenant dans la TAD : la praxéologie personnelle. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 36(2).
- Cross, D. (2013). Démarche d'investigation : Analyse de pratiques de classe au collège en mathématiques, physique-chimie et sciences de la vie et de la terre, impliquées dans un

- travail collectif. *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et de pratiques de classe*. Grenoble.
- Darley, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année. *Didaskalia*, 9, 31-56. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/23786>
- Develay, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-16. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9060>
- Dumas-Carré, A., Goffard, M. & Gil, D. (1992). Difficultés des élèves liées aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes. *Aster*, 14, 53-75. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9054>
- Etkina, E., Karelina, A., & Ruibal-Villasenor, M. (2010). Design and reflection help students develop scientific abilities: Learning in introductory physics laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, 19, 54-98. Consulté à l'adresse : <http://doi.org/10.1080/10508400903452876>
- Flores, F., Tovar, ME. & Gallegos, L. (2003). Representation of the cell and its processes in high school students: An integrated view, *International Journal of Science Education*, 25(2), 269-286.
- Fortin, C. (2004). Travaux personnels encadrés ou l'effet causal de l'interdisciplinarité. *Aster*, 39, 61-90. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8570>
- Girault, I., d'Ham, C., Ney, M., Sanchez, E. & Wajeman, C. (2012). Characterizing the experimental procedure in science laboratories: a preliminary step toward student experimental design. *International Journal of Science Education*, 34(6), 825-854. Consulté à l'adresse : <http://doi.org/10.1080/09500693.2011.569901>
- Girault I., Chaachoua, H. (2013). How do students deal with the chemical knowledge during an experimental design in SCY-Lab? *Proceeding of CITAD 2013 - 4th International Conference of the Anthropological Theory of the Didactic*, 21 – 26 avril 2013. Toulouse. Consulté à l'adresse : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00948747>
- Girault I. & d'Ham C. (2014). Scaffolding a complex task of experimental design in chemistry with a computer environment. *Journal of Science Education and Technology*, 23(4), 514-526.
- Girault, I., d'Ham, C., Marzin, P. & Wajeman, C. (2017). LabBook : a web environment for active science learning. *Proceeding of ESERA 2017 – International Conference of the European Science Education Research Association, August 21st – 25th 2017*. Dublin.
- Guyon, J. (1987). Travail autonome au lycée et élaboration du concept de respiration. *Aster*, 4, 155-177. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9066>

- Guzdial, M. (1994). Software-Realized Scaffolding to Facilitate Programming for Science Learning. *Interactive Learning Environments*, 4(1), 001- 044. Consulté à l'adresse : <http://doi.org/10.1080/1049482940040101>
- d'Ham, C., Marzin, P. & Wajeman, C. (2009). SCY - Science Created by You : Un environnement en ligne pour apprendre par l'investigation et la conception. [SCY - Science Created by You: An online environment for inquiry-based and design-based learning]. Paper presented at the *First Workshop of the S-Team European Project*. Grenoble, France, October 20-22. Consulté à l'adresse : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00593071>
- d'Ham, C., Girault, I., Marzin, P. & Wajeman, C. (2013). LabBook, un environnement informatique pour l'Apprentissage Humain. *Conférence, EIAH 2013*.
- d'Ham, C., Girault, I. & Marzin, P. (2014). Des environnements numériques pour étayer l'investigation scientifique et la conception expérimentale : de copex-chimie à LabBook. *Actes des huitièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST*, 265-275. Consulté à l'adresse : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00974900>
- Hazelkorn, H., Ryan C., Beernaert, Y., Constantinou, C. P., Deca, L., Grangeat, M., Karikorpi, M., Lazoudis, A., Casulleras, R. P., Welzel-Breuer, M. (2015). Science education for Responsible Citizenship. *The report to the european commission of the expert group on science education*.
- Hmelo, C. E., Holton, D. H. & Kolodner, J. L. (2000). Designing to learn about complex systems. *Journal of the Learning Sciences*, 9, 247-298. Consulté à l'adresse : http://doi.org/10.1207/S15327809JLS0903_2
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- Jackson, S., Krajcik, J., & Soloway, E. (2000). MODEL-IT: A design retrospective. In M. Jacobson & R. Kozma (Eds.), *Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning*. (77-116). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Johsua, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8, 29-53. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9060>
- de Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179 - 201.
- de Jong, T., & Lazonder, A. W. (2014). The guided discovery principle in multimedia learning. In *The Cambridge handbook of multimedia learning*. (371- 390). Cambridge University Press, Cambridge: Cambridge University Press.
- van Joolingen, W. R., & De Jong, T. (2003). SIMQUEST: Authoring educational simulations. In T. Murray & S. Blessing & S. E. Ainsworth (Eds.), *Tools for Advanced Technology Learning Environments*. (1-32). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.

- Jordan R C., Ruibal-Villasenor M., Hmelo-Silver C E., Etkina E. (2011). Laboratory Materials: Affordances or Constraints ? *Journal of Research in Science Teaching*, 9(48). 1010-1025.
- Karelina, A., & Etkina, E. (2007). Acting like a physicist: Student approach study to experimental design. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 3(2). Consulté à l'adresse : <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.020106>
- Klahr, D., Fay, A. L., & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 25(1), 111-146.
- Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119 (2), 254-284.
- Larcher, C., & Goffard, M. (2004). *L'expérimental dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes*. Paris : INRP.
- Laugier, A., & Schneeberger, P. (2004). Les activités expérimentales innovantes dans la classe : nature et fonctionnement. In C. Larcher & M. Goffard (Eds.), *L'expérimental dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes*. (21-58). Paris : INRP.
- Lazarowitz, R., & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. (94-130). New-York: Macmillan.
- Linn M.C., Davis E.A. & Bell P. (2004). *Internet environments for science Education*. (47-72). Mahwah, NJ : Erlbaum.
- Lord, F. M. (1963). Elementary Models for Measuring Change. In *Problems in Measuring Change*; Harris, C., Ed.; The University of Wisconsin Press: Madison, WI, 21–38.
- McManus, T. (2000). Individualizing instruction in a web-based hypermedia learning environment: Nonlinearity, advanced organizers, and self-regulated learners. *Journal of Interactive Learning Environments*, 11(3), 219–251.^[11]_{SEP}
- Martinand, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques 1994-1995*. ENS Cachan.
- Marzin-Janvier, P. (2013). *Comment donner du sens aux activités expérimentales ?* Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. Université Joseph-Fourier - Grenoble I.
- Marzin, P. (2015). Étayer la conception expérimentale par des environnements informatiques : études en génétique. *Rdst*, 12, 87-112. Consulté à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00966001/document>
- Marzin P., Ergun M., Girault I., d'Ham C., Baudrant G., Biau M. & Sanchez E. (2005). La construction de protocole de travaux pratiques de chimie à l'aide d'un logiciel : quels apports pour les apprentissages ? *Bull. Un. Phys*, (99), 991-1009.

- Marzin, P., Girault, I., Wajeman, C., d'Ham, C., Sanchez, E., Cross, D. (2007). L'utilisation d'un arbre des tâches pour concevoir et analyser des situations d'apprentissage : trois T.P. intégrant la conception d'un protocole expérimental par les élèves, en géologie, chimie et physique. *Actes des Vèmes journées de l'ARDIST*. 257-264. Montpellier, France. Consulté à l'adresse <https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00197198/document>
- Marzin, P., d'Ham, C. & Sanchez, E. (2007). *How to scaffold the students to design experimental procedures? A proposition of a situation experience by 108 high-schools students*. Paper presented at the ESERA Conference, Malmö, Sweden. Consulté à l'adresse : <https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00190036/document>
- Marzin P., & de Vries E. (2008). How can we take into account student conceptions of the facial angle in a palaeontology laboratory work ? In International Conference on Learning Science (p. 567). Utrecht, Netherlands, 23-28.
- Marzin, P., & van Joolingen, W.R. (2010). Students using SCY-Lab. Studying their argumentation in physics. Paper presented at the *ECER conference*. Helsinki (Finland).
- Marzin,P., & de Vries, E. (2011). Students' design of a biometric procedure in upper secondary school. *Internal Journal of Technology and Design Education*, 23(2), 361-376. doi:10.1007/s10798-011-9183-3
- Mathé, S., Meheut, M. & De Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, 32. 41-76. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/>
- Merrill, D. C., Reiser, B. J., Merrill, S. K., & Landes, S. (1995). Tutoring: Guided learning by doing. *Cognition and Instruction*, 13(3), 315-372.
- Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, 9-30. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/23785>
- Millar, R. (2004). *The role of practical work in the teaching and learning of science*. Paper presented at the meeting on High School Science Laboratories : Role and vision, National Academy of Science, Washington, DC.
- Monchamp, A. (1997). Quand les obstacles ouvrent des perspectives pédagogiques : récit d'un itinéraire personnel. *Aster*, 25, 60-91. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8551>
- Nguyen Q., Chaachoua H. & Comiti C. (2007). De l'usage de la TAD pour l'analyse des erreurs. In L. Ruiz-Higueras, A. Estepa, & F. Garcia (Ed.), *Sociedad, Escuela y matematicas. Aportaciones de la teoría Antropologica de lo Didactico*. (621-640). Universidad de Jaen.
- Ohlsson, S. (1996). Learning from error and the design of task environments. *International Journal Education Research*, 2(5), 419-448.

- Ohlsson, S. (2002). Constraint-based student modelling. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 3, 429-447.
- Palincsar, A. S. (1998). Keeping the Metaphor of Scaffolding Fresh—A Response to C. Addison Stone's « The Metaphor of Scaffolding Its Utility for the Field of Learning Disabilities ». *Journal of Learning Disabilities*, 31(4), 370- 373. Consulté à l'adresse : http://doi.org/10.1207/s1532690xci0102_1
- Pea, R. D. (2004). The social and technological dimensions of scaffolding and related theoretical concepts for learning, education, and human activity. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 423-451.
- Pentecost, T C., & Barbera, J. (2013). "Measuring Learning Gains in Chemical Education: A Comparison of Two Methods". *Journal of Chemical Education*, 90, 839-845.
- Pietryk G., Robine F., Martin P.-É. & Malleus P. (2006). *L'enseignement de la physique et de la chimie au collège*. France : ministère de l'Éducation nationale, rapport n° 2006-091 de l'inspection générale.
- Pothet, A. (2004). *Les représentations relatives à la cellule chez les élèves de lycée*. Mémoire de DEA. UMR Stef. ENS Cachan.
- Puntambekar, S., & Kolodner, J. L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 185-217. Consulté à l'adresse : <http://www-static.cc.gatech.edu/projects/lbd/pdfs/distscaffold.pdf>
- Quintana, C., Reiser, B., J., Davis, E., A., Krajcik, J., Fretz, E. & Duncan, R., G.(2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 337-386. Consulté à l'adresse : http://doi.org/10.1207/s15327809jls1303_4
- Reiser, B. J. (2004). Scaffolding Complex Learning: The Mechanisms of Structuring and Problematising Student Work. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 273- 304. Consulté à l'adresse : http://doi.org/10.1207/s15327809jls1303_2
- Reiser, B. J., Tabak, I., Sandoval, W. A., Smith, B. K., Steinmuller, F., & Leone, A. J. (2001). BGuILE: Strategic and conceptual scaffolds for scientific inquiry in biology classrooms. In S. M. Carver & D. Klahr (Eds.), *Cognition and instruction: Twenty-five years of progress* (263-305). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Wallberg-Henriksson, H., Hemmo, V. (2007). *Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe*.
- Rolland, J. M. (2006). *L'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire*. Paris : Commission des affaires culturelles, familiales et sociales, Assemblée nationale.
- Rumelhard, G. (1985). Quelques représentations à propos de la photosynthèse. *Aster*, 1, 37-66. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/>

- Rumelhard, G. (1998). Au milieu des courants, constitution d'une didactique des sciences de la vie et de la terre. *Aster*, 27, 46-56. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9069>
- Rumelhard, G. & Desbeaux-Salviat, B. (2000). Rencontres entre les disciplines. *Aster*, 30, 1-7. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8556>
- Saavedra, R. (2015). Etayer le travail des élèves avec la plateforme LabBook pour donner davantage de sens aux activités expérimentales réalisées par des élèves de première S. Thèse de doctorat. Université Grenoble-Alpes. Consulté à l'adresse : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01280377>
- Schneeberger, P. & Rodriguez, R. (1999). Des lycéens face à une investigation à caractère expérimental : un exemple de première S. *Aster*, 28, 79-105. Consulté à l'adresse : <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8554>
- Séré, M.-G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education* 8 (4). 413-425.
- Séré, M.-G. (2002). Towards renewed research questions from the outcomes of the European project labwork in science education. *Science Education*, 86(5), 625-643.
- Séré, M.-G. & Beney, M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences: observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique. *Didaskalia*, 11, 75-102. Consulté à l'adresse : documents.irevues.inist.fr/handle/2042/23750
- Shute, V. (2007). *Focus on Formative Feedback*. Educational Testing Services. USA: Educational Testing Services.
- Songer, C. & Mintzes, J. (1994). Understanding cellular respiration: an analysis of conceptual change in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 621-637.
- Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), 553-560.
- Stavy, R. (1990). Children's conception of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 247-266.
- Tabak, I., & Reiser, B. J. (1997). Complementary roles of software-based scaffolding and teacher-student interactions in inquiry learning. In *Proceedings of the 2nd international conference on Computer support for collaborative learning*. Toronto, Ontario, Canada: International Society of the Learning Sciences. 292-301. Consulté à l'adresse <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1599773.1599809>
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research* (27-47). Buckingham, UK : Open university press.

Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J.-F., Buty, C. & Millar, R. H. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85, 483–508.

Veermans, K., Joolingen, W. v., & de Jong, T. (2006). Use of heuristics to facilitate scientific discovery learning in a simulation learning environment in a physics domain. *International Journal of Science Education*, 28(4), 341-361.

White, R. T. (1996). The link between the laboratory and learning. *International Journal of Science Education*, 18(7), 761-774.

Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The Role of Tutoring in Problem Solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100. Consulté à l'adresse : <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>

Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., Jong, T. de, Pedaste, M., Riesen, van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Maeots, M., Siiman, L., Tsourlidaki, E. (2015). Identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science: a literature review. *Educational Technology Research and Development*, 63(2), 257- 302. Consulté à l'adresse : <http://doi.org/10.1007/s11423-015-9370-0>

Manuel de SVT Terminale scientifique, enseignement de spécialité. Collection Lizeaux, C., Baude, D. Edition BORDAS/SEJER, Paris. 2012

Manuel de SVT Terminale scientifique, enseignement de spécialité. Collection Duco, A. Edition BELIN, Paris. 2012

Manuel de SVT Terminale scientifique, enseignement de spécialité. Edition Editions NATHAN. 2012

Annexes

Annexe 1 : analyse écologique des programmes

	Habitat	Niche	Objets de savoirs	Éléments de définition des métabolismes
CE CM	Sciences expérimentales et technologie	<i>Exemples simples de sources d'énergie.</i> <i>Découvrir le monde vivant</i> Unité et diversité du vivant Corps humain et santé	- <i>Conversion de l'énergie dans une centrale. Géothermie.</i> - <i>chaines et réseaux alimentaires</i> - feuilles vertes, peut se nourrir sans lumière - mettre en évidence les besoins en eau, lumière, sels minéraux, conditions de température pour le développement d'un végétal - Respiration : mouvements, rythmes, dioxygène, dioxyde de carbone. <i>Adaptations des organes respiratoires en fonction du milieu.</i>	Echelle de l'organisme. Se nourrir avec ou sans lumière : besoins des végétaux. Respiration à l'échelle de l'organisme : ce qui est visible. Echanges avec le milieu.
CP	<i>Découverte du monde : découvrir le monde vivant</i>	<i>Caractériser le vivant</i>	- <i>se nourrir : régimes alimentaires</i>	Echanges avec le milieu : échelle de l'écosystème Prendre conscience que les animaux dépendent des plantes pour se nourrir

Tableau 54 : analyse écologique des programmes de l'école élémentaire

	Habitat	Niche	Objets de savoirs	Éléments de définition des métabolismes
3^{ème}	<i>Diversité et unité des êtres humains</i> <i>Risque infectieux et protection de l'organisme</i>	<i>Cellule et information génétique</i> <i>Cellule et défense immunitaire</i>	- rôle du noyau. <i>Information génétique. Division cellulaire. Formation des gamètes.</i> - <i>cellules spécifiques de l'immunité : différenciation, sélection, multiplication. Action spécifique.</i>	
4^{ème}	<i>L'activité interne du globe</i> <i>Transmission de la vie chez l'homme</i> <i>Relations au sein de l'organisme</i>	<i>Origine des séismes et des volcans</i> <i>Cellules reproductrices</i> <i>Cellules nerveuses</i>	- <i>accumulation d'énergie. Rupture. Flux thermique.</i> - <i>spécificité des cellules reproductrices : ovules, spermatozoïdes, fusion : cellule œuf</i> - <i>spécificités des cellules nerveuses : neurones. Structure et fonction.</i>	
5^{ème}	Fonctionnement de l'organisme et besoin en énergie <i>Respiration et occupation du milieu</i>	Besoin en énergie par les muscles au repos et à l'effort. <i>Echanges avec les organes : la respiration</i>	- Echanges gazeux air/eau - Consommation O ₂ et nutriments, transformations chimiques, production CO ₂ et énergie utilisée par les muscles + chaleur - <i>spécificité des organes</i>	Transformations chimiques pour répondre aux besoins des muscles Echelle de l'organe
6^{ème}	Origine de la matière des êtres vivants Des pratiques au service de l'alimentation <i>Diversité, parentés et unité des êtres vivants.</i>	Consommateurs, producteurs utilisation de micro-organismes <i>La cellule : unité des êtres vivants</i>	- Tous les autres êtres vivants se nourrissent toujours de matière minérale et de matière provenant d'autres organismes vivants. - Les végétaux se nourrissent de matière minérale à condition de recevoir de l'énergie lumineuse. - Levures : organisme unicellulaire. Transformation biologique - <i>Structure de la cellule. Universalité. Caractère commun.</i>	Production de matière et prélèvement de matière dans le milieu afin d'assurer la croissance des êtres vivants Echelle de l'écosystème et de l'organisme Echelle cellulaire : fonctionnement de la cellule (exemple du pain, yaourt) : fermentations lactiques et alcooliques

Tableau 55 : analyse écologique des programmes du collège

	Habitat	Niche	Objets de savoirs	Éléments de définition des métabolismes
Terminale S Spécialité	La Terre dans l'univers, la vie et l'évolution de la vie : énergie et cellule vivante Corps humain et santé : glycémie et diabète	Couplage énergétique échange de matière et énergie Régulation de la glycémie	- Cellule chlorophyllienne : photosynthèse, énergie lumineuse, chloroplaste, phase photochimique (composés réduits et ATP) et phase chimique (glucose, CO ₂) - Cellule eucaryote : respiration. Utilise O ₂ , oxyde matière organique en matière minérale. Mitochondrie, glycolyse, Krebs. Produit CO ₂ , R'H ₂ Chaîne respiratoire: réoxydation R'H ₂ , réduction O ₂ , production ATP - fermentation : production moindre d'ATP à partir du glucose. - fibre musculaire et ATP. ATP et fonctionnement des cellules - cellules alpha et bêta : îlots de Langerhans. Anomalies.	Échanges cellulaires Réactions chimiques Couplages énergétiques Echelles cellulaire et moléculaire
Terminale S	La Terre dans l'univers, la vie et l'évolution de la vie : Génétique et évolution Corps humain et santé : réaction immunitaire	Origine de la diversité génétique et évolution Dynamique continentale Immunité et spécificités cellulaires	- Méiose et anomalie - Fécondation et formation du zygote - la vie fixée des plantes : interface sol/air : surfaces d'échanges. Fécondation. - subduction et collision : transformations et magmatisme associés. Géothermie et propriétés thermiques de la Terre. - immunité innée, adaptative, différenciation cellulaires, sélection clonale et multiplication	Echanges organisme/milieu : surfaces d'échanges
1 ^{ère} S	La Terre dans l'univers, la vie et l'évolution de la vie : Génétique et évolution	Expression, stabilité et variation du patrimoine génétique Tectonique des plaques Nourrir l'humanité	- réplication, mitose, cycle cellulaire, expression du patrimoine génétique (transcription, traduction) mutation et conséquence sur la fonctionnement cellulaire - variations du flux thermique, tectonique globale (moteur). Recherche d'hydrocarbures. - écosystème : productivité et photosynthèse. Circulation de matière et d'énergie.	Photosynthèse : bilan
2 nd	La Terre dans l'univers, la vie et l'évolution du vivant, une planète habitée: la nature du vivant Corps humain et santé (exercice physique)	Métabolismes : Echanges avec l'environnement au niveau des organes et des cellules	- Transformation chimique dans la cellule: métabolisme sous contrôle génétique et environnemental. Définition du métabolisme : Consommation: O ₂ +nutriments Production: CO ₂ et énergie. - cellule échange matière et énergie avec son environnement	Echanges avec le milieu Production d'énergie par transformation chimique Bilan de la photosynthèse Echelles des organes et de la cellule.

Tableau 56 : analyse écologique des programmes du lycée

Annexe 2 : extraits des manuels de terminale scientifique de spécialité SVT

Extrait du manuel
Nathan 2012

Activité 3

Produire de l'ATP sans dioxygène

Pasteur réalisa différentes expériences sur le vin et la bière et montra que les levures sont capables de se développer dans un milieu dépourvu de dioxygène et sont responsables des transformations des sucres en alcool par fermentation.

→ Quelles sont les caractéristiques des fermentations ?

Pistes d'exploitation

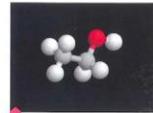
- (Doc 1) Dégagez les caractéristiques de la fermentation alcoolique par rapport à la respiration.
- (Doc 2 et 3) Comparez la fermentation alcoolique et la fermentation lactique en dégageant les points communs et les différences.
- (Doc 2 et 3) Montrez qu'il existe une étape hyaloplasmique commune avec la respiration.

32

1 La fermentation alcoolique

► On réalise une suspension de levures de boulanger dans de l'eau glucosée maintenue dans des conditions anaérobies et à 30°C.

► Les levures, capables de fermenter, survivent dans ce milieu et au bout d'un ou deux jours, le liquide du flacon bouillonne.



Représentation d'une molécule d'éthanol (O : rouge ; H : blanc ; C : gris).

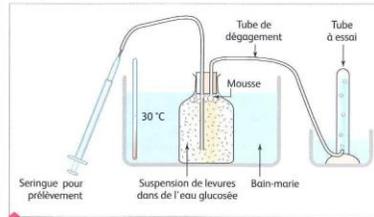
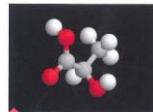


Schéma du montage réalisé.

2 La fermentation lactique

► Les cellules musculaires sont capables de respirer et de fermenter. En comparant les molécules contenues dans le sang artériel et dans le sang veineux, on peut préciser les molécules consommées et celles produites lors d'un exercice musculaire qui consomme de l'ATP. Le tableau suivant donne les concentrations en O₂, CO₂, glucose et acide lactique dans les sangs artériel et veineux pendant un exercice.

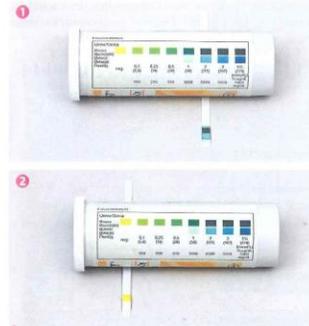


Représentation d'une molécule d'acide lactique (O : rouge ; H : blanc ; C : gris).

	Sang artériel	Sang veineux
Teneur en O ₂ (en mL/100 mL)	21,2	5,34
Teneur en CO ₂ (en mL/100 mL)	45	60
Teneur en glucose (en mmol.L ⁻¹)	4	2
Teneur en acide lactique (en mmol.L ⁻¹)	<1	2,8

Résultats obtenus.

► Afin de préciser l'évolution de la teneur en glucose, on prélève une petite quantité de liquide au début du montage et on teste la présence de glucose à l'aide de bandelettes réactives. L'opération est renouvelée au bout de 24 h.

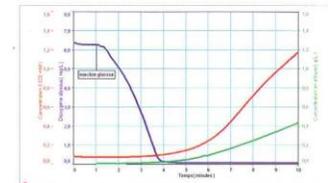


Teneurs en glucose de la solution de levures. 1 au début du montage ; 2 après 24h.

► À l'aide d'un montage ExAO, on mesure les variations de différents paramètres : O₂, CO₂ et éthanol.

RÉALISER

- Remplir l'enceinte du bioréacteur avec la suspension de levures.
- Placer les sondes à O₂, CO₂ et éthanol dans l'enceinte après fermentation.
- Agiter le milieu en réglant l'agitation à vitesse moyenne.
- Lancer l'enregistrement.

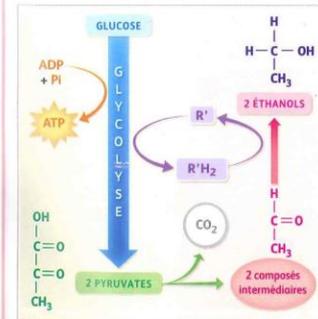


Résultats obtenus.

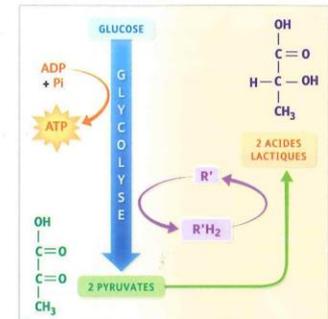
3 Un processus en deux étapes

► Les levures déficientes en mitochondries sont capables de fermenter. L'ensemble des réactions se déroule dans le hyaloplasme.

► Les cellules musculaires réalisent une fermentation différente de celle des levures appelée fermentation lactique.



Les réactions de la fermentation alcoolique.



Les réactions de la fermentation lactique.

Activités pratiques 6

Fermentations cellulaires et production d'ATP

La respiration est une fonction qui permet aux cellules de se procurer, avec une très grande efficacité, l'énergie dont elles ont besoin. Il existe cependant d'autres façons de produire de l'ATP par dégradation de métabolites organiques.

A Étude expérimentale de la fermentation alcoolique

Des levures sont mises en culture dans un milieu glucosé. Le flacon, complètement rempli, est bouché et le tube à dégagement ne permet pas un renouvellement en dioxygène à partir de l'air ambiant (montage ci-contre). Très rapidement, le dioxygène présent initialement est épuisé et la suspension de levures fermente : on observe effectivement un bouillonnement (fermenter vient du latin *fervere* qui veut dire bouillir).



Quelques observations
- Il est possible de recueillir dans l'éprouvette le gaz dégagé par la culture de levures. Un test à l'eau de chaux montre qu'il contient du dioxyde de carbone.
- Si l'on dispose un alcootest à la place du tube à dégagement, le test donne un résultat positif, alors qu'il est négatif au début de l'expérience.

Doc. 1 Une mise en évidence de la fermentation alcoolique.

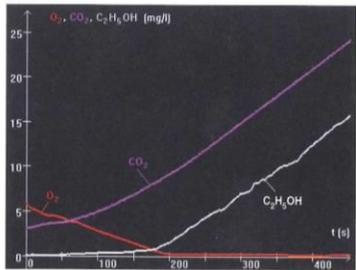
DÉMARCHE D'INVESTIGATION

On cherche à déterminer si les levures sont susceptibles de développer un autre métabolisme que la respiration, en particulier lorsqu'elles sont privées de dioxygène. On cherche aussi à caractériser ce métabolisme.

DISPOSITIF ET PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

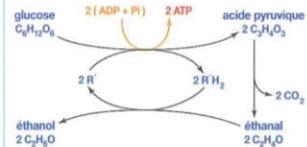
- Utiliser un montage semblable à celui présenté page 34 mais ajouter une troisième sonde mesurant la concentration en éthanol dans le milieu.
- Avant de démarrer la mesure, introduire dans la suspension 0,2 mL de solution glucosée à 200 g/L.
- Effectuer les mesures sur une période de temps suffisamment longue (supérieure à 5 minutes).

RÉSULTAT

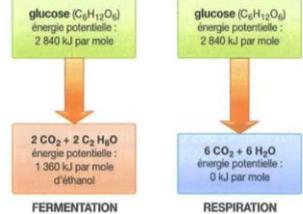


Doc. 2 Les levures peuvent utiliser deux voies métaboliques différentes.

B Les fermentations : une production d'ATP à faible rendement

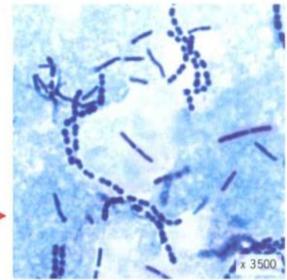
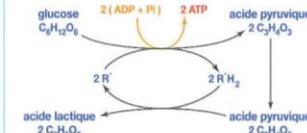


Respiration et fermentation sont deux façons différentes de produire de l'énergie (ATP) à partir d'un même métabolite organique. Leur rendement est cependant bien différent : alors que la respiration produit 36 ATP par mole de glucose consommé, la fermentation n'en produit que deux.



Doc. 3 Une comparaison entre fermentation et respiration.

Certaines cellules, les **bactéries lactiques** mais aussi les cellules musculaires (voir page 57) sont capables de réaliser une fermentation dite lactique. Dans ce cas, la dégradation du glucose produit de l'acide lactique.



Doc. 4 Un autre exemple : la fermentation lactique.

Pistes d'exploitation

PROBLÈME À RÉSOUDRE - Quelles sont les différentes voies métaboliques de production d'ATP par dégradation de molécules organiques ?

Doc. 1 à 3 Établissez le bilan de la fermentation alcoolique.

Doc. 2 et 3 Analysez et interprétez le résultat de l'expérience présentée par le document 2.

Doc. 1 à 3 À la lumière de cette étude, expliquez le but du « foulage » du raisin présenté page 32.

Doc. 3 et 4 Comparez ces deux exemples de fermentation. Pourquoi la dernière étape des réactions de ces fermentations est-elle nécessaire ?

Lexique, p. 232

3
UNITÉ
Les fermentations

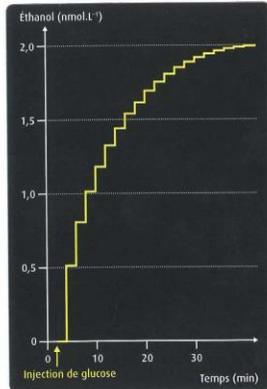
La dégradation du glucose lors de la respiration cellulaire, qui permet la production de 36 molécules d'ATP par molécule de glucose oxydée, nécessite du dioxygène. Cependant, certaines cellules peuvent vivre en anaérobiose en réalisant une fermentation.

→ En quoi consistent les fermentations ? Comment l'ATP est-il produit en anaérobiose ?

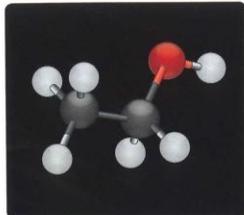
La fermentation éthylique

JE MANIPULE

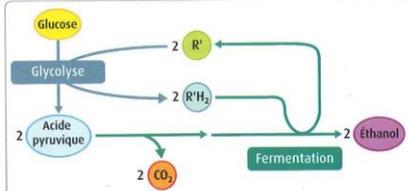
- ▶ Mesurez en continu la concentration d'éthanol dans 9 ml. de suspension de levures à 50 g.L⁻¹, à l'aide d'un système ExAO, en anaérobiose.
- ▶ Ajoutez 1 ml. de solution de glucose à 0,01 mol.L⁻¹ au temps t = 2 min. Veillez à ne pas injecter de bulle d'air afin de maintenir les conditions anaérobies.
- ▶ Suivez l'évolution de la concentration d'éthanol dans la suspension, jusqu'à saturation (environ 30 minutes).
- ▶ Estimer le nombre de molécules d'éthanol produites par molécule de glucose consommée, sachant que la saturation de la concentration d'éthanol traduit un épuisement du glucose injecté.



⚠ Étude expérimentale du métabolisme anaérobie des levures. Cultivées en absence de dioxygène, les levures consomment du glucose et dégagent du dioxyde de carbone (voir page 34), ce qui fait par exemple lever le pain. Elles produisent également une molécule organique, l'éthanol, retrouvé dans des boissons alcoolisées comme le vin. On cherche à déterminer combien de molécules d'éthanol sont produites par molécule de glucose dégradé.



2 La molécule d'éthanol. L'éthanol est un composé organique dont l'oxydation complète libère 1360 kJ.mol⁻¹.



⚠ La régénération de l'oxydant R'. Lors de la fermentation éthylique (ou alcoolique), R'H₂ est réoxydé dans le cytoplasme, ce qui permet de régénérer les R' nécessaires à la poursuite de la glycolyse. Cette régénération n'est pas couplée à une synthèse d'ATP.

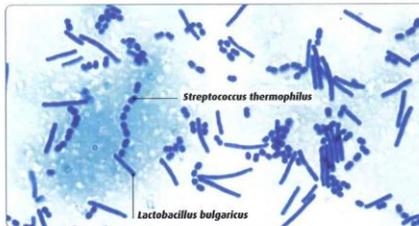
La fermentation lactique



JE MANIPULE

- ▶ Ensemencer 1 litre de lait avec 1 yaourt nature puis mesurer le pH.
- ▶ Observer et mesurer de nouveau le pH à l'issue de 6 heures d'incubation à 40°C.

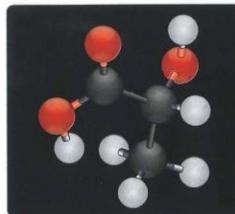
4 Étude expérimentale de la fermentation lactique bactérienne.



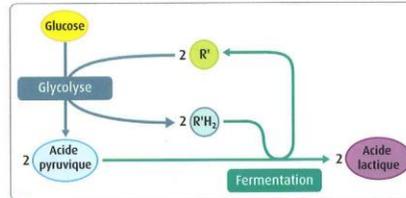
5 Bactéries lactiques du yaourt en MO colorées au bleu de méthylène.

JE MANIPULE

- ▶ Mettre une goutte de yaourt sur une lame de verre.
- ▶ Répartir sur toute la lame avec le tranchant d'une lamelle.
- ▶ Laisser sécher.
- ▶ Recouvrir d'alcool à 90° pendant 2 minutes puis jeter l'excès d'alcool et laisser sécher.
- ▶ Recouvrir d'une solution de bleu de méthylène à 2% pendant 30 s puis laver à l'eau et laisser sécher.
- ▶ Observer au microscope à fort grossissement.



6 La molécule d'acide lactique. L'acide lactique est un composé organique dont l'oxydation complète libère 1200 kJ.mol⁻¹.



⚠ La régénération de l'oxydant R'. Lors de la fermentation lactique, R'H₂ est réoxydé dans le cytoplasme, permettant ainsi de régénérer les R' nécessaires à la poursuite de la glycolyse. Aucune synthèse d'ATP n'est couplée à cette régénération.

TÂCHE COMPLEXE

ACTIVITÉS
Comparez la fermentation alcoolique et la fermentation lactique, puis comparez ces fermentations à la respiration cellulaire.

Un peu d'aide:
- Rechercher les points communs et les différences entre les deux types de fermentations (micro-organismes responsables, modalités de production d'ATP de régénération de R', nature et nombre d'oxydation des produits de dégradation du glucose, rendement énergétique) (DOC. 1 À 7).
- Établir un tableau comparatif des fermentations et de la respiration cellulaire. Préciser le bilan en ATP et en R'H₂ (DOC. 1 À 7 ET UNITÉ 2).

Annexe 3 : documents ressource

Document 1 : La fabrication de la bière

La bière est un produit dont la fabrication et la conservation impliquent des micro-organismes. En effet, des micro-organismes sont responsables de la fermentation à l'origine de l'alcool (levures).

La fabrication d'une bière est favorisée par une température proche de 25°C. Chez les levures, lorsqu'elles sont placées en condition anaérobie, le métabolisme fermentaire va prendre le pas sur le métabolisme de la respiration, ce qui peut prendre une quinzaine de minutes.

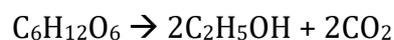
Ainsi, 30 minutes sont suffisantes pour la réalisation de la fermentation alcoolique chez les levures à température optimale et en présence de glucides (il faut compter 1ml de glucides pour 10ml de suspension de levures à 10g/L)

Document 2 : Les métabolismes fermentaires

On peut définir la fermentation comme un métabolisme conduisant à produire de l'énergie à partir de substrats organiques ; la minéralisation des substrats n'est pas complète et des résidus organiques sont formés. Il existe différents types de fermentations présentés dans le tableau ci-dessous :

fermentation	Alcoolique	Lactique	Acétique
Utilisations industrielles	Panification bière - cidre -vin	Yaourt fromages	vinaigre
Organismes	Levures Saccharomyces	Bactéries	Champignon Mycoderma
Substrats	Glucose C ₆ H ₁₂ O ₆ saccharose, amidon...	Lactose	Ethanol
Produits formés	CO ₂ éthanol : CH ₃ CH ₂ OH	Acide lactique : CH ₃ CHOHCOOH	acide acétique : CH ₃ COOH

Document 3 : Equation de réaction de la fermentation alcoolique



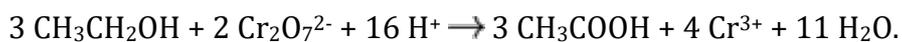
Document 4 : Des réactifs utilisables pour mettre en évidence des molécules impliquées dans le métabolisme cellulaire

Grandes catégories de molécules	Exemples	Formule brute	Mise en évidence - Réactions caractéristiques - Dosage
Les oses : glucides simples Les diholosides	Glucose Fructose Saccharose Lactose	$C_6H_{12}O_6$	Bandelette test pour le glucose Les oses en solution et certains dioses, chauffés avec de la liqueur de Fehling forme un précipité rouge brique : sucres réducteurs. ^{[L] [SEP]}
Les polyholosides	Amidon	$(C_6H_{10}O_5)_n$	L'eau iodée se colore en bleu-violet en présence d'amidon. ^{[L] [SEP]}
Les alcools	Ethanol Méthanol	CH_3CH_2OH CH_3OH	Ethylotest (ou alcootest): les cristaux oranges de bichromate de potassium contenus dans un éthylotest virent au vert au contact de l'alcool (vapeur ou liquide) * La sonde à éthanol
Les molécules minérales	Dioxyde de carbone Dioxygène	CO_2 O_2	L'eau de chaux est un réactif qui se trouble en présence de CO_2 La sonde à CO_2 Test caractéristique de la bûchette incandescente La sonde à dioxygène

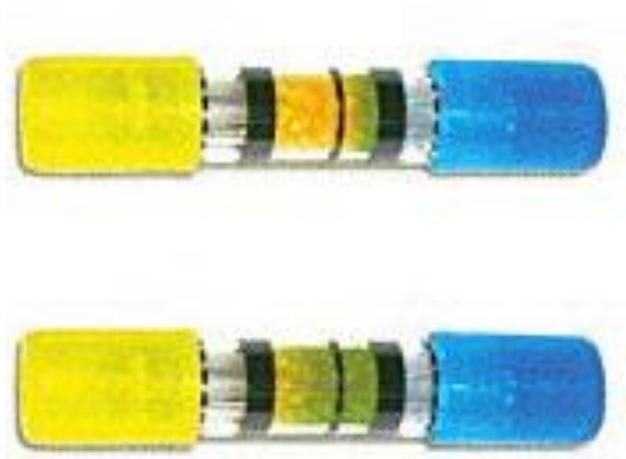
(Suite du document 4)

* Principe de fonctionnement des éthylotests à usage unique

Chaque éthylotest de ce type est constitué d'une embouchure stérilisée, d'un tube de verre rempli de dichromate de potassium solide ($K_2Cr_2O_7$). On dépose sur l'embout de l'éthylotest, préalablement cassé, quelques gouttes d'une solution à tester. Si elle contient de l'éthanol, alors, l'éthanol ainsi contenu dans la solution sera oxydé en acide éthanoïque par les ions dichromates, de couleur orange, qui se transformeront alors en ions chrome (III), de couleur verte, selon la réaction d'oxydoréduction suivante:



Il faut noter que le dichromate de potassium est fortement toxique, corrosif et cancérigène. Il est en aussi dangereux pour l'environnement.



Annexe 4 : test de connaissances

Lycée :	Classe :	Enseignant :
Nom :		Prénom :
<i>Ce questionnaire s'inscrit dans le cadre d'une recherche qui contribue au développement d'une plateforme informatique de conception de protocoles expérimentaux. Ce questionnaire vous prendra environ 15 minutes.</i>		
Pour les questions 1 à 3 : répondez avec vos mots.		
Pour les questions 4 à 12 : un ou plusieurs choix sont possibles.		

Q1 : A partir de tes connaissances, donne une définition et un exemple de métabolisme

--

cellulaire.

Q2 : Donne les 4 mots ou groupes de mots, qui définissent selon toi la fermentation alcoolique.

Q3 : A ton avis, comment peut-on mettre en évidence expérimentalement la présence de CO₂ dans une solution ?

--

Q4 : Selon toi, la fermentation alcoolique c'est :

- a) Un métabolisme réalisé par un microorganisme mort.
- b) Un métabolisme réalisé par un microorganisme vivant.
- c) Un métabolisme réalisé en l'absence de microorganismes.
- d) Je ne sais pas.

Q5 : Selon toi, la fermentation alcoolique c'est :

- a) Un métabolisme réalisé dans un milieu sans oxygène.
- b) Un métabolisme réalisé dans un milieu avec oxygène.
- c) Un métabolisme qui produit du dioxyde de carbone.
- d) Un métabolisme qui produit de l'éthanol.
- e) Je ne sais pas.

Q6 : Selon toi, la température optimale d'une réaction c'est :

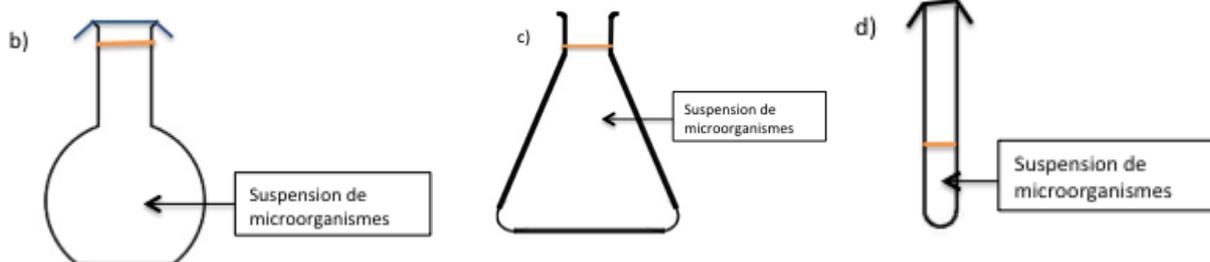
- a) La température pour laquelle la vitesse de réaction est maximale.
- b) La température pour laquelle la vitesse de réaction est ralentie.
- c) La température pour laquelle la vitesse de réaction s'arrête.
- d) Je ne sais pas.

Q7 : Selon toi, dans une suspension de levures affamées (en absence de glucides) réalisant la fermentation alcoolique, l'ajout d'un glucide (réactif) permet :

- a) De stopper la réaction.
- b) De démarrer la réaction.
- c) De ralentir la réaction.
- d) Je ne sais pas.

Q8 : Choisis, parmi les schémas ci-dessous le dispositif expérimental qui permet à des microorganismes de réaliser le métabolisme de la fermentation alcoolique dans les conditions optimales.

- a) Je ne sais pas.



Q9 : Choisis, parmi le/les dispositifs suivants, celui/ceux qui permet(tent) de mettre en évidence la présence d'éthanol dans une solution :

- a) L'alcootest.
- b) La sonde à éthanol.
- c) La liqueur de Fehling.
- d) L'eau de chaux.
- e) Je ne sais pas.

Q10 : Choisis, parmi les affirmations suivantes, celle(s) qui selon toi, décrit(-vent) l'équation de réaction suivante : $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 CO_2 + 2 C_2H_5OH$ (éthanol)

- a) Le réactif, ici le glucose, va être consommé, ce qui va conduire à la formation de deux produits, le dioxyde de carbone et l'éthanol.
- b) Les réactifs, ici le dioxyde de carbone et l'éthanol, vont être consommés, ce qui va conduire à la formation d'un produit, le glucose.
- c) Le réactif, ici le glucose, va être consommé, ce qui va conduire à la formation de deux produits, le dioxygène et l'éthanol.
- d) Les réactifs, ici le dioxygène et l'éthanol, vont être consommés, ce qui va conduire à la formation d'un produit, le glucose.
- e) Je ne sais pas.

Q11 : Tu disposes de 60 ml de suspension de levures dans un contenant de 100 ml. Tu souhaites placer les levures dans les conditions optimales pour qu'elles réalisent la fermentation alcoolique. Que fais-tu ?

- a) Je place un bouchon hermétique.
- b) Je place un bulleur (pour oxygéner la suspension).
- c) Je rajoute une certaine quantité de suspension de levures dans le contenant.
- d) J'enlève une certaine quantité de suspension de levures du contenant.
- e) Je ne sais pas.

Q12 : Combien de mesures, au minimum, sont nécessaires, pour mettre en évidence la consommation d'un réactif ?

- a) Aucune mesure.
- b) 1 mesure.
- c) 2 mesures.
- d) Plus de 2 mesures.
- e) Je ne sais pas.

Annexe 5 : extraits de protocoles d'élèves produits lors de la première expérimentation

Annexe 5a : Absence d'action dans les étapes 3 et 4 (protocole de type N1)

1 - Concevoir un protocole expérimental de mise en évidence de la fermentation alcoolique

Protocole pré-structuré 1



Question de recherche ou objectif

Mettre en évidence le métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures



Hypothèses ou résultats attendus

glucose produits CO_2 et éthanol

Donnez les évolutions attendues des concentrations en réactifs et en produits, lors d'une fermentation alcoolique.



Principe de la manipulation

Décrivez rapidement la stratégie, les moyens que vous allez mettre en place. Le principe de manipulation ressemble à un mode opératoire succinct ne contenant pas les paramètres de la manipulation.



Liste du matériel

- | | | | |
|-------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|
| • | • Alcootest | • Amidon | • Bain marie |
| • Becher | • Bouchon | • Bouchon percé | • Bouilloire |
| • Cristallisoir | • Dioxyde de carbone | • Dioxygène | • Eau |
| • Eau de chaux | • Epruvette graduée | • Ethanol | • Glucose |
| • Glucotest | • Pipette | • Saccharose | • Suspension de bactéries |
| • Suspension de levures | • Thermomètre | • Tube coudé | • Tube à essai |



Mode opératoire

Placer les microorganismes dans les conditions du milieu.

▶ ajouter grâce à une pipette du glucose Justifiez ici, si nécessaire, cette action.

▶ mettre sous vide la solution pour ne pas permettre l'entrée du CO_2 Justifiez ici, si nécessaire, cette action.

▶ placer sous une température de 25 degrés Justifiez ici, si nécessaire, cette action.

Préparer les dispositifs expérimentaux de mesure.

Initier l'expérimentation.

Recueillir les données.

▶ on utilise des glucotest pour le glucose Justifiez ici, si nécessaire, cette action.

▶ de l'eau de chaux pour voir la présence ou pas de CO_2 Justifiez ici, si nécessaire, cette action.

▶ un éthylotest pour l'éthanol Justifiez ici, si nécessaire, cette action.

Laver le matériel.

Annexe 5b : utilisation de l'action « ajouter une solution » dans l'étape 1 / justifications non complétées (protocole de type N3)

Placer les microorganismes dans les conditions du milieu.

Ajouter une solution. - ► A l'aide d'un/une **Pipette** j'injecte **1 mL** de **Glucose** dans **Suspension de levures** . Je réalise cette action car cela permet de (démarrer / ralentir / stopper) la réaction de fermentation.

Porter et maintenir une solution à température. - ► Je place **Suspension de levures** à **25 °C**. Pour cela, j'utilise **Bain marie** . Je vérifie la stabilité de la température avec **Thermomètre** . J'ai choisi cette température car il s'agit de la température (létale / optimale).

Fermer un contenant. - ► Je place un/une **Bouchon** sur le tube à essai contenant le/la **Suspension de levures** . Je réalise cette action afin de (limiter / laisser) les apports en dioxygène : la suspension est en (aérobie / anaérobie).

Fermer un contenant. - ► Je place un/une **Bouchon** sur le tube à essai contenant le/la **Glucose** . Je réalise cette action afin de (limiter / laisser) les apports en dioxygène : la suspension est en (aérobie / anaérobie).

Indiquer la durée de l'expérience. - ► J'indique la durée de l'expérience : **30 min** . En effet, la réaction de fermentation (est / n'est pas) instantanée.

Préparer les dispositifs expérimentaux de mesure.

Préparer un dispositif expérimental. - ► Molécule à mettre en évidence : **Ethanol** . J'utilise comme dispositif expérimental : **Alcootest** . Ce dispositif permet de mesurer (la présence / l'absence / l'évolution de la consommation / l'évolution de la production) de ce (réactif / du produit).

Préparer un dispositif expérimental. - ► Molécule à mettre en évidence : **Dioxyde de carbone** . J'utilise comme dispositif expérimental : **Eau de chaux** . Ce dispositif permet de mesurer (la présence / l'absence / l'évolution de la consommation / l'évolution de la production) de ce (réactif / du produit).

Initier l'expérimentation.

Recueillir les données.

Préparer un dispositif expérimental. - ► Molécule à mettre en évidence : **Dioxyde de carbone** . J'utilise comme dispositif expérimental : **Eau de chaux** . Ce dispositif permet de mesurer (la présence / l'absence / l'évolution de la consommation / l'évolution de la production) de ce (réactif / du produit).

Préparer un dispositif expérimental. - ► Molécule à mettre en évidence : **Ethanol** . J'utilise comme dispositif expérimental : **Alcootest** . Ce dispositif permet de mesurer (la présence / l'absence / l'évolution de la consommation / l'évolution de la production) de ce (réactif / du produit).

Laver le matériel.

Annexe 5c : confusion principe de manipulation / mode opératoire

**Question de recherche ou objectif**

Mettre en évidence le métabolisme de la fermentation alcoolique chez les levures

**Hypothèses ou résultats attendus**

Identifier les réactifs et les produits de la fermentation alcoolique.

Donnez les évolutions attendues des concentrations en réactifs et en produits, lors d'une fermentation alcoolique.

**Principe de la manipulation**

-Placer des levures de saccharomyces (suspension de levures) dans un tube à essai à températures proche de 25° pour avoir une réaction optimale.

-Ajouter du glucose dans le tube à essai

- Laisser 30 minutes le tube à essai maintenu à une température de 25° en milieu anaérobie (sans oxygène), à l'aide d'un bouchon fermé.

-Prélever de la solution et la mettre en contact avec de l'eau de chaux, si la réaction de la fermentation alcoolique a eu lieu il y aura présence de CO₂ l'eau de chaux va donc se troubler.

-Prélever à nouveau de la solution et placer quelques gouttes sur un alcootest, si il y a de l'alcool dans la solution les ions dichromates de couleur orange se transforment en ions de couleur verte.

si ces deux réactions ont lieu alors la fermentation alcoolique a eu lieu

**Liste du matériel**

- | | | | |
|----------|-------------|-----------------|--------------|
| • | • Alcootest | • Amidon | • Bain marie |
| • Becher | • Bouchon | • Bouchon percé | • Bouilloire |

- | | | | |
|-------------------------|----------------------|--------------|---------------------------|
| • Cristalliseur | • Dioxyde de carbone | • Dioxygène | • Eau |
| • Eau de chaux | • Epruvette graduée | • Ethanol | • Glucose |
| • Glucotest | • Pipette | • Saccharose | • Suspension de bactéries |
| • Suspension de levures | • Thermomètre | • Tube coudé | • Tube à essai |

**Mode opératoire**

Placer les microorganismes dans les conditions du milieu.

Préparer les dispositifs expérimentaux de mesure.

Initier l'expérimentation.

Recueillir les données.

Laver le matériel.

Table des figures

Figure 1 : descriptif du sujet destiné au professeur de physique-chimie	26
Figure 2 : descriptif du sujet destiné à l'élève en physique-chimie.....	26
Figure 3 : extrait du descriptif des attentes institutionnelles de l'étape 1 des ECE en SVT	27
Figure 4 : accueil de la mission sur LabBook	43
Figure 5 : autres fonctions de la plateforme LabBook	44
Figure 6: documents ressources.....	44
Figure 7 : présentation du labdoc "protocole"	45
Figure 8 : structure détaillée d'un exemple de labdoc "protocole" pré rempli	46
Figure 9 : action libre.....	47
Figure 10 : action titre imposé et contenu structuré.....	47
Figure 11 : paramètre "vide" par défaut	47
Figure 12 : trame conceptuelle des métabolismes cellulaires.....	52
Figure 13 : Saccharomyces cerevisiae.....	52
Figure 14 : la chaine réactionnelle de la fermentation alcoolique	54
Figure 15 : modélisation des praxéologies personnelles de l'élève	73
Figure 16 : modélisation des praxéologies personnelles de l'élève dans le cadre d'une activité de conception expérimentale.....	75
Figure 17 : modèle praxéologique de référence	75
Figure 18 : principales étapes de la thèse.....	81
Figure 19 : méthodologie d'élaboration de la praxéologie de référence	84
Figure 20 : analyse écologique des programmes sur le concept de métabolisme ..	90
Figure 21 : extrait du manuel Bordas de TS spé SVT p.45.....	92
Figure 22 : extrait du manuel Bordas de TS spé SVT (p.44), document 2	93
Figure 23 : éléments de praxéologie personnelle pour T	109
Figure 24 : conception de la situation : sélection des types de tâches à l'origine de difficultés.....	115
Figure 25 : transposition du modèle praxéologique dans le logiciel Copex de pré structuration de protocole.....	116
Figure 26 : action pré structurée, titre imposé et contenu structuré.....	117
Figure 27 : pré structuration du rapport expérimental	121
Figure 28 : pré structuration du labdoc "protocole"	121
Figure 29 : liste des étapes pré structurées	125

Figure 30 : liste des actions pré structurées proposées	125
Figure 31 : exemple d'action du protocole pré structuré N1.....	129
Figure 32 : exemple d'action du protocole pré structuré N2.....	129
Figure 33 : exemple d'action du protocole pré structuré N3.....	130
Figure 34 : plan expérimental	137
Figure 35 : protocole de référence (du type N3) « expert » réalisé sur LabBook..	154
Figure 36 : répartition des réponses du pré test par catégorie (question 1)	160
Figure 37 : représentation en nuage de mots des termes relevés dans la catégorie « autre » de la question 1	161
Figure 38 : représentation des termes « autres », classification par concept (pré test) (question 1).....	163
Figure 39 : répartition des réponses du post test 1 par catégorie (question 1)....	165
Figure 40 : représentation en nuage de mots des termes relevés dans la catégorie « autre » de la question 1 (<i>MO pour matière organique</i>).....	166
Figure 41 : représentation des termes « autres » (post test 1), classification par concept (Question 1)	167
Figure 42 : évolution de la répartition des élèves par groupe de niveau entre le pré test et le post test 1 (question 1).....	169
Figure 43 : évolution de la répartition des réponses des élèves pour chaque catégorie attendue par l'institution entre le pré test et le post test 1 (question 1)	170
Figure 44 : évolution du nombre et de la répartition des exemples de métabolisme cités par les 56 élèves entre le pré test et le post test 1 (question 1)	170
Figure 45 : répartition des réponses du pré test par catégorie (question 2)	173
Figure 46 : représentation en nuage de mots des termes relevés dans la catégorie « autre » de la question 2 (<i>MO pour microorganismes</i>)	174
Figure 47 : représentation et classification des concepts de la catégorie « autre » (question 2)	176
Figure 48 : répartition des réponses du post test par catégorie (question 2)	178
Figure 49 : représentation en nuage de mots des termes relevés dans la catégorie « autre » de la question 2 (<i>MO pour microorganismes</i>)	179
Figure 50 : représentation et classification des concepts de la catégorie « autre » (question 2)	180
Figure 51 : évolution de la répartition des élèves par groupe de niveau entre le pré test et le post test 1 (question 2).....	181
Figure 52 : évolution de la répartition des réponses des élèves pour chaque catégorie <i>a priori</i> entre le pré test et le post test 1 (question 2).....	182
Figure 53 : répartition des termes « autre » par domaine et par catégorie	183
Figure 54 : moyenne des scores du pré test par question	187

Figure 55 : moyenne des scores du post test 1 par question	190
Figure 56 : moyenne globale des scores entre le pré test et le post test 1	190
Figure 57 : moyenne des scores entre le pré test et le post test 1 par question....	191
Figure 58 : moyenne globale des scores entre le pré test, le post test 1 et le post test2 pour les 14 élèves concernés	192
Figure 59 : moyenne des scores par question, entre le pré test, le post test 1 et le post test 2 (14 élèves concernés)	193
Figure 60 : répartition des réponses des 56 élèves selon les choix possibles pour le pré test	194
Figure 61 : répartition des réponses des 56 élèves selon les choix possibles pour le pré test et le post test 1 (question 11)	195
Figure 62 : répartition des réponses des élèves selon les choix possibles pour le pré test, le post test 1 et le post test 2 (effectif réduit de 14 élèves) (Question 8)	195
Figure 63 : question 11 : répartition des réponses des élèves selon les choix possibles pour le pré test, le post test 1 et le post test 2 (14 élèves) (question 11)	196
Figure 64 : photo d'un montage d'un groupe d'élèves de la classe b, lors de la phase de manipulation	197
Figure 65 : gain d'apprentissage entre le pré test et le post test 1 pour les questions 8 et 11 selon les types de protocoles (N1, N2, et N3)	199
Figure 66 : nombre d'actions par étape selon N	202
Figure 67 : nombre d'élèves n'ayant pas mis d'action par étape selon N (N1 = 19 élèves ; N2 = 21 élèves).....	203
Figure 68 : pourcentage de paramètres présents par rapport au nombre de paramètres attendus, dans l'ensemble des actions du protocole selon N	205
Figure 69 : répartition des paramètres manquants dans les protocoles non pré structurés N1	206
Figure 70 : répartition des 22 justifications non complétées dans les protocoles N3	209
Figure 71 : configuration des justifications pré structurées	210
Figure 72 : répartition (%) des justifications « libres » proposées dans les protocoles N1 et N2	211
Figure 73 : nombre de protocoles possédant une technique de résolution experte, par étape, selon N1 (sur 19) et N2 (sur 21)	212
Figure 74 : action pré structurée « prélever une solution »	213
Figure 75 : % de valeurs de paramètres correctes dans les protocoles N1	215
Figure 76 : % de valeurs de paramètre d'action correctes, en fonction du nombre total de valeurs de paramètres attendues dans les protocoles N2 et N3	215

Figure 77 : répartition des erreurs selon les paramètres d'action dans l'ensemble des protocoles.....	216
Figure 78 : protocole expert de l'étape 1 (valeurs de paramètres attendues) du protocole N3.....	216
Figure 79 : paramétrage des justifications pré structurées (protocoles N3)	221
Figure 80 : modification du principe de manipulation.....	228
Figure 81 : protocole expert N2a.....	233
Figure 82 : protocole expert N2b.....	234
Figure 83 : répartition des protocoles selon s'il y a présence ou absence d'actions pour chacune des étapes imposées, selon N2a et N2b	236
Figure 84 : comparaison avec le protocole expert, du nombre moyen d'actions proposé par les élèves.....	237
Figure 85 : nombre d'actions hors pré structuration selon le type de protocole ..	238
Figure 86 : répartition des actions hors pré structuration.....	238
Figure 87 : répartition des actions « libres » proposées par les élèves selon le type de protocole.....	239
Figure 88 : Nature des actions 'libres' proposées dans les protocoles N2a et N2b	240
Figure 89 : nombre de techniques expertes pour l'étape 1 selon N2a et N2b	242
Figure 90 : répartition des actions proposées pour l'étape 1, selon N2a et N2b ...	243
Figure 91 : nombre d'actions attendues pour l'étape 2, N2a et N2b confondus	244
Figure 92 : répartition des réponses des élèves concernant l'adéquation des volumes de solutions choisis selon N2a et N2b.....	246
Figure 93 : combinaisons de réponses correctes (choix des volumes).....	246
Figure 94 : extrait de la modélisation des praxéologies personnelles des élèves .	252
Figure 95 : types de rétroactions à proposer dans la situation selon les catégories de Shute (2007)	256
Figure 96 : modélisation des types de rétroactions selon Shute et Zacharias, appliquée à la situation proposée dans LabBook.....	257
Figure 97 : extrait d'un protocole d'élève	264

Table des tableaux

Tableau 1 : enjeux, difficultés et mise en place de la démarche d'investigation orientée vers la conception expérimentale.....	30
Tableau 2 : les six fonctions de l'étayage selon Bruner (1983).....	34
Tableau 3 : grille de catégorisation des supports d'étayages présentés dans un EIAH, selon Saavedra (2015).....	40
Tableau 4 : supports d'étayages proposés dans la plateforme LabBook incluant le logiciel Copex.....	49
Tableau 5 : proposition de catégorisation des difficultés identifiées <i>a priori</i> dans une situation de conception expérimentale sur les métabolismes cellulaires	63
Tableau 6 : tableau comparatif des praxéologies des manuels de TS spé SVT sur le thème de la fermentation alcoolique	95
Tableau 7 : technologies erronées <i>a priori</i> , en lien avec les difficultés identifiées <i>a priori</i> dans l'analyse épistémologique.....	110
Tableau 8 : correspondance des étapes et des actions proposées avec la modélisation praxéologique des connaissances	124
Tableau 9 : valeurs de paramètres formalisées dans un champ « libre »	126
Tableau 10 : valeurs de paramètres proposées dans des menus déroulants, à l'origine de difficultés identifiées	126
Tableau 11 : corrélation entre les valeurs de paramètres mises à disposition et les difficultés identifiées <i>a priori</i> (exemple du paramètre « solution »).....	127
Tableau 12 : étayages de certaines difficultés mis en place dans les documents ressource	127
Tableau 13 : prise en charge des difficultés identifiées <i>a priori</i> par les paramètres d'actions et les justifications pré structurées.....	128
Tableau 14 : supports d'étayages mis en place dans les trois situations (N1, N2, N3)	132
Tableau 15 : concepts en jeu et difficultés relatives identifiées <i>a priori</i>	138
Tableau 16 : catégorisation des questions du test.....	141
Tableau 17 : variables de classes.....	142
Tableau 18 : organisation prévisionnelle du plan expérimental.....	143
Tableau 19 : répartition du nombre d'élève par niveau de protocole	144
Tableau 20 : catégories de réponse <i>a priori</i> sur le métabolisme (Q1)	146
Tableau 21 : catégories de réponse <i>a priori</i> sur la fermentation alcoolique (Q2)	146
Tableau 22 : extrait de réponses données dans la catégorie autre de la question 2	148
Tableau 23 : répartition des points par question.....	149

Tableau 24 : regroupement des questions par concept pris en charge par la pré structuration	150
Tableau 25 : critères d'analyse des protocoles des élèves (selon Girault & al., 2012)	151
Tableau 26 : grille de critères d'analyse des protocoles.....	153
Tableau 27 : répartition des concepts de la catégorie « autre » par domaine de la question 1	162
Tableau 28 : répartition des exemples de métabolismes cités par les élèves (pré test) dans la question 1.....	163
Tableau 29 : répartition des concepts de la catégorie « autre » par domaine (question 1)	166
Tableau 30 : Répartition des exemples de métabolismes cités par les élèves	168
Tableau 31 : répartition des concepts de la catégorie « autre » par domaine (question 2)	175
Tableau 32 : représentation des concepts de la catégorie « autre » par domaine (question 2)	179
Tableau 33 : moyenne des scores du pré test par question	187
Tableau 34 : moyenne des scores du post test 1 par question	189
Tableau 35 : moyenne des scores du pré test et du post test 1 et gain selon les niveaux de pré structuration de protocole	198
Tableau 36 : moyenne du nombre d'étapes et d'actions présentes selon le type de protocole	204
Tableau 37 : liste des tâches et types de tâche non pré structurées	208
Tableau 38 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3	217
Tableau 39 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3	218
Tableau 40 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3	219
Tableau 41 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3	219
Tableau 42 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3	220
Tableau 43 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3	220
Tableau 44 : valeurs du paramètre proposées dans les protocoles N2 et N3	220
Tableau 45 : modification du document ressource n°1	228
Tableau 46 : pré structuration des étapes et des actions des protocoles de types N2a et N2b, par comparaison avec le protocole N2	231
Tableau 47 : traitement des données au regard des hypothèses.....	235
Tableau 48 : corpus de données pour modéliser les praxéologies personnelles des élèves.....	254
Tableau 49 : niveaux de complexité des rétroaction selon Shute (2010, p.8).....	256
Tableau 50 : praxéologies personnelles <i>a priori</i>	260

Tableau 51 : résultats d'analyse des protocoles des élèves.....	263
Tableau 52 : modélisation des propositions de rétroactions d'une situation de conception expérimentale dans LabBook.....	269
Tableau 53 : propositions de rétroactions à partir d'erreurs diagnostiquées dans les protocoles des élèves.....	272
Tableau 54 : analyse écologique des programmes de l'école élémentaire	293
Tableau 55 : analyse écologique des programmes du collège	294
Tableau 56 : analyse écologique des programmes du lycée.....	295

Résumé

L'objectif de la thèse est d'étayer l'activité de conception expérimentale avec l'utilisation d'un environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH). La conception expérimentale correspond à une partie de la démarche d'investigation qui fait l'objet de nombreuses recherches, à la fois parce que cette activité favorise l'apprentissage mais aussi parce que c'est une tâche complexe à l'origine de difficultés identifiées.

La situation que nous avons choisie est la mise en évidence de la fermentation alcoolique, thème abordé en classe de terminale scientifique de spécialité en sciences de la vie et de la terre. Les élèves doivent concevoir une expérience pour mettre en évidence ce métabolisme.

La première étape de la thèse a consisté à effectuer une modélisation didactique des connaissances en jeu. Pour cela nous nous plaçons dans le cadre de la théorie anthropologique du didactique et plus précisément l'approche praxéologique (Bosch & Chevallard, 1999). Nous avons ainsi obtenu un premier résultat qui est la modélisation d'une praxéologie de référence à partir d'une analyse épistémologique des savoirs en jeu et des attentes institutionnelles.

Afin d'aider les élèves dans cette activité à l'origine de difficultés, nous utilisons des supports d'étayage, portés par la plateforme informatique, LabBook. Cet EIAH structure des rapports expérimentaux, à l'aide de plusieurs outils (texte, tableur, dessin, protocole) mis à disposition des élèves. L'outil protocole « Copex », permet de pré structurer un protocole expérimental.

La deuxième étape de la thèse a été de proposer un protocole pré structuré en étapes, actions et paramètres d'actions qui prend en charge les difficultés attendues, et de l'implémenter dans LabBook, en tenant compte des contraintes de l'EIAH.

L'étape suivante a été de tester l'efficacité de la prise en charge de ces difficultés dans la situation proposée en classe. Pour cela nous avons ainsi réalisé deux expérimentations en classes de terminale scientifique dans trois lycées différents. Nous avons recueilli les productions des élèves ainsi que leur réponse à des questionnaires (pré-test et post-test).

L'analyse des résultats a montré que l'activité proposée favorise les apprentissages des concepts en jeu, et fait évoluer les conceptions des élèves. Concernant la conception du protocole, la pré structuration proposée aide les élèves à produire des protocoles communicables et pertinents. A partir des praxéologies personnelles modélisées a priori nous avons mis en évidence la présence de praxéologies personnelles d'élèves. Les analyses effectuées ont permis de faire évoluer la situation proposée et de valider la proposition de pré structuration du protocole en étapes et en actions paramétrées. Enfin nous proposons des préconisations pour un diagnostic automatique des erreurs des élèves, dans le but de produire des rétroactions élaborées à partir du modèle praxéologique développé dans la thèse.

Mots-clés : conception expérimentale, TAD, biologie, difficultés, EIAH, étayages

Abstract

The thesis work involves a scaffold of the experimental design activity carried out by high school students in scientific activities using a TEL system (Technology Enhanced Learning).

This type of activity promotes learning, but it is also a complex task that leads to difficulties identified in the literature. The situation highlights a specific cellular metabolism, the alcoholic fermentation, this topic being studied in high school biology classes. Students have to design an experimental procedure to highlight this metabolism.

The first step of the thesis consisted in knowledge modelling for designing an experimental situation in biology. The framework used to model knowledge, is the Anthropological Theory of Didactics (ATD) and more precisely the praxeology model (Bosch & Chevallard, 1999). An epistemological analysis has been done in order to identify difficulties in this situation: difficulties related to knowledge and also to experimental procedure.

A structured procedure was modelled into steps, actions and parameters, which takes into account difficulties identified *a priori* and implemented in a web environment named LabBook. This TEL system offers fixed scaffolds in order to help students in an experimental design activity.

The situation implemented in LabBook has been tested in three biology classes in high school, during two sets of experimentation. The analysis is based on the students' productions and their answers to questionnaires (pre-test and post-test). The results analysis showed that the experimental design activity promotes learning and changes students' conceptions. Regarding design experiment, the pre structuration helps students to produce relevant and communicable procedures. This reveals that students are able to use the pre-structured experimental procedure tool in LabBook.

This is a requirement for students' errors diagnosis in order to propose automatic personalised feedbacks. We make recommendations for such feedbacks based on the praxeology model developed in this thesis.

Keywords: experimental design, ATD, biology, difficulties, Technology Enhanced Learning, scaffolds