



Modélisation didactique pour la conception d'étayages dans un EIAH : exemple d'une activité de conception expérimentale en biologie

► **Catherine BONNAT, Patricia MARZIN-JANVIER, Isabelle GIRAULT, Cédric d'HAM** (LIG, Université Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP – Université de Poitiers)

■ **RÉSUMÉ** • Nous présentons dans cet article une méthodologie de conception de situation d'apprentissage en biologie, étayée par l'EIAH LabNbook. La situation proposée aux élèves de lycée en France (16-17 ans) consiste à concevoir et rédiger un protocole expérimental dans LabNbook sur le thème de la fermentation alcoolique. Notre travail s'appuie sur des travaux de modélisation de l'activité de conception expérimentale et sur son étayage par un EIAH, dans le cadre de la théorie anthropologique du didactique et plus précisément la praxéologie. Nous présentons une transposition de cette modélisation et la situation d'apprentissage étayée par un EIAH.

■ **MOTS-CLÉS** • conception expérimentale, EIAH, praxéologie, transposition

■ **ABSTRACT** • *This paper presents a methodology to design learning situations in Biology, scaffold by the computer environment LabNbook. French students, aged 16-17, have to design an experiment about the alcoholic fermentation and write the corresponding experimental procedure in LabNbook. Our work is based on an experimental design activity model and its scaffold by a computer environment. We use the Anthropology Theory of the Didactic model and more specifically the praxeology. We present the transposition of this modeling, leading to a learning situation scaffold by a computer environment.*

■ **KEYWORDS** • *experimental design, TEL systems, praxeology, transposition*

1. Introduction

Cet article présente une recherche sur l'étayage de l'activité de conception expérimentale en biologie par un environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH). Plus précisément sont étudiées les conditions de mise en place d'un diagnostic automatique des erreurs des élèves, dans le but de proposer ultérieurement des aides personnalisées visant l'apprentissage.

Nous proposons d'aider les élèves à concevoir un protocole expérimental en utilisant la plateforme numérique en ligne LabNbook (<https://labnbook.fr>). Cette plateforme permet de créer des rapports expérimentaux et comprend différents outils numériques, dont un éditeur de protocole (Copex) utilisé pour la conception expérimentale. LabNbook propose actuellement des étayages fixes, qui correspondent à une structuration de l'activité, ainsi qu'à la mise à disposition de ressources et de consignes pour l'élève.

Les étayages fixes (Azevedo, Cromley et Seibert, 2004) visent à aider les élèves dans leur activité, mais ces mêmes étayages fixes pourraient aussi permettre d'analyser l'activité des élèves et de diagnostiquer des erreurs récurrentes (obstacles) qui seraient prises en charge par un autre type d'étayage complémentaire adaptatif. La mise en place d'étayages fixes répond à un double objectif dans notre recherche : aider les élèves à concevoir un protocole communicable et pertinent (Girault, d'Ham, Ney, Sanchez et Wajeman, 2012) et préparer la mise en place d'un diagnostic automatique des erreurs à partir de l'analyse des traces de l'activité.

L'élaboration de l'ensemble de ces étayages nécessite un travail didactique préalable, dont la modélisation des connaissances en jeu dans l'activité. Pour cela, nous avons choisi le cadre théorique de la théorie anthropologique du didactique (TAD) (Chevallard, 1992, 1999) et plus précisément l'approche praxéologique (Bosch et Chevallard, 1999) qui permet de structurer l'activité.

Cet article présente cette analyse préalable nécessaire à l'élaboration d'une situation de conception expérimentale dans l'EIAH LabNbook. La figure 1 représente l'articulation des problématiques didactique et informatique dans un processus conjoint visant la conception d'une situation d'apprentissage implémentée dans l'EIAH LabNbook. Nous ne décrivons ici que la partie entourée par des pointillés noirs, qui est la première étape

du travail dont l'objectif est la conception d'étayages fixes, avant la conception d'étayages adaptatifs actuellement en cours d'élaboration.

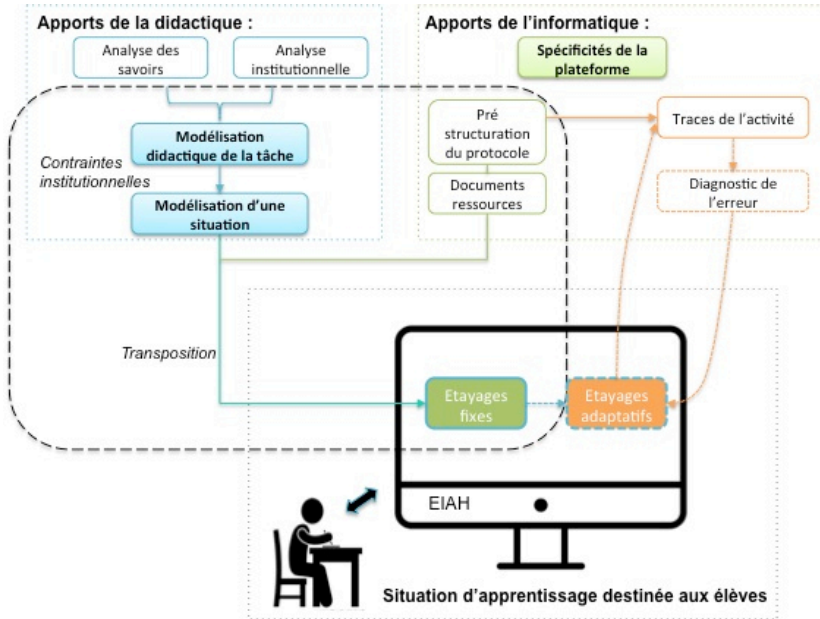


Figure 1 • Positionnement de l'article dans le contexte général de la recherche de l'équipe

L'objectif de cet article est donc de montrer comment a été effectuée la transposition de la modélisation didactique des connaissances dans l'EIAH étudié afin d'étayer l'activité de conception expérimentale. Nous montrons la pertinence du cadre théorique choisi ainsi que la méthodologie utilisée pour effectuer cette transposition. Nous contextualisons ce travail à une situation de conception expérimentale en sciences de la vie et de la terre (SVT) de terminale scientifique (TS) de spécialité SVT (élèves de lycée de 17-18 ans, en France). L'activité proposée aux élèves consiste à concevoir et réaliser une expérience pour mettre en évidence le métabolisme fermentaire chez les levures. Il s'agit d'une activité proposée dans les programmes scolaires (Bulletin officiel de l'éducation national spécial n° 8 du 13 octobre 2011), à l'origine de difficultés chez les élèves (Bonnat, Marzin et Girault, sous presse) et qui nécessite des aides. Nous centrons l'étude sur la phase de conception de l'expérience par les élèves, expérience qu'ils exécuteront néanmoins dans un deuxième temps.

Dans cet article, nous présentons dans un premier temps notre analyse bibliographique présentant les principales références sur lesquelles nous nous sommes appuyés pour définir l'activité de conception expérimentale et son étayage par un EIAH. Puis nous présentons le cadre théorique utilisé pour modéliser la situation, la méthodologie de transposition appliquée à l'EIAH utilisé (LabNbook) et enfin les résultats obtenus.

2. Nécessité d'étayer l'activité de conception expérimentale (état de l'art)

L'activité de conception expérimentale par les élèves est une étape d'une démarche expérimentale. Il existe différents modèles de cette démarche, l'un d'eux étant celui proposé par (Pedaste *et al.*, 2015) à partir d'une revue de la littérature. Ces auteurs décrivent cette démarche comme étant composée des phases d'orientation, de conceptualisation, d'investigation, de conclusion et de discussion. Pendant la phase d'investigation, les élèves conçoivent et réalisent des expériences. L'appropriation de cette démarche 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 (ECE). La conception expérimentale est donc une activité au cœur des apprentissages scolaires, qui est cependant à l'origine de difficultés chez les élèves.

Plusieurs auteurs ont montré que les élèves sont davantage impliqués dans la démarche quand ils conçoivent leurs propres expériences et qu'ils en tirent personnellement des conclusions ; cela les aide à faire des liens entre les activités pratiques et les concepts en jeu (Coquidé, 2000 ; Etkina, Karelina et Ruibal-Villasenor, 2010). D'autres travaux montrent que les élèves apprennent alors des connaissances des domaines concernés et des aptitudes à mener des démarches d'investigation expérimentales. Néanmoins, les élèves rencontrent des difficultés pour mener ces démarches (Marzin-Janvier, 2013). La résolution de problèmes par la démarche expérimentale est une tâche complexe (Girault et d'Ham, 2014 ; Hmelo-Silver, Duncan et Chinn, 2007), où les élèves peuvent perdre de vue le problème posé, les objectifs à atteindre, et rencontrent des difficultés dans l'écriture des protocoles (Marzin et De Vries, 2008). Ces difficultés, à la fois méthodologiques et de nature épistémologique, nécessitent des aides qui peuvent être élaborées à partir de leur identification *a priori* (Quintana *et al.*, 2004).

La notion d'étayage a été largement utilisée dans les situations d'apprentissage impliquant une démarche d'investigation soutenue par des environnements informatiques. On trouve dans Zacharia *et al.* (2015) une synthèse de la littérature des différentes formes de guidage pour aider les élèves qui utilisent des laboratoires en ligne, qu'ils soient virtuels ou distants, dans le cadre d'une démarche expérimentale en science. Ces étayages peuvent être de forme fixes ou adaptatives (Azevedo *et al.*, 2004). Un étayage fixe est le même pour tous les élèves, alors qu'un étayage adaptatif permet de répondre à un besoin individuel d'un élève. La structuration de l'activité par un outil informatique, qui correspond à un étayage fixe, est un de ceux proposés par Reiser (2004, p. 283) : « une façon d'aider des apprenants est d'utiliser l'outil pour réduire la complexité et les choix, en fournissant une structure additionnelle à la tâche ». Il s'agit d'outils qui aident les élèves à mener à bien un processus d'apprentissage, en structurant et soutenant le processus dans l'activité impliquée. Ceci est souvent utilisé quand la démarche est trop complexe ou quand les élèves n'ont pas les compétences nécessaires pour la mener à bien par eux-mêmes. Il est par exemple utile d'impliquer les élèves dans des activités cognitives telles que planifier, justifier, contrôler, évaluer, questionner, afin de les faire réfléchir sur les actions qu'ils réalisent.

Nous focalisons notre étude sur l'activité de conception expérimentale, et la diversité des études sur les étayages est moindre pour cette activité. Puntambekar et Kolodner (2005) ont trouvé que les élèves ont besoin de plusieurs formes de support d'étayage pour apprendre des sciences avec succès lors d'activités de conception. Dans l'étude de McElhaney et Linn (2011), les élèves étudient les facteurs favorisant les blessures d'un conducteur lorsqu'un airbag est présent dans sa voiture. L'étayage aide les élèves à organiser leurs idées avant de les tester dans une simulation. Dans une autre étude, un étayage aide les élèves à définir les paramètres d'une simulation : il s'agit de l'outil "Experiment Design Tool" (van Riesen, Gijlers, Anjewierden et de Jong, 2018) dans lequel les élèves spécifient si une variable est indépendante, dépendante ou reste constante car elle agit comme une variable de contrôle. Une autre idée d'étayage de la conception expérimentale est proposée par Morgan et Brooks (2012) ; il s'agit d'une conception à rebours dans laquelle les élèves commencent par spécifier les données qui permettent de répondre à leur question, puis ils décident des mesures nécessaires et, à la fin, ils précisent la liste de matériel.

Dans de précédents travaux, nous avons étudié des EIAH permettant à des élèves de concevoir une expérience, avec une simulation intégrée. À l’inverse des laboratoires basés sur des simulations qui donnent une vue très simplifiée du processus expérimental – voir par exemple (van Riesen *et al.*, 2018), l’expérience n’est pas configurée par un jeu de paramètres définis, mais à travers l’écriture d’une procédure complète qui considère le matériel expérimental et ses contraintes. Ceci entraîne les élèves à concevoir des expériences qui seront ensuite réalisées soit par une simulation, soit de façon réelle au laboratoire. Dans l’environnement Copex-chimie (copex-chimie.imag.fr), l’étayage par structuration de la tâche aide les élèves à écrire des protocoles complets (Girault et d’Ham, 2014). Les résultats ont montré que lorsque la procédure est pré-structurée, les élèves réussissent mieux dans la tâche demandée que lorsqu’ils ne disposent pas de cet étayage.

3. Cadre théorique et questions de recherche

La conception d’une situation dans l’EIAH et la mise en place des étayages nécessitent une analyse didactique préalable, dont une modélisation des connaissances en jeu que nous réalisons selon le modèle praxéologique (Bosch et Chevallard, 1999). Nous montrons ci-après comment l’approche praxéologique permet de décrire l’activité en la contextualisant à celle de notre étude.

3.1. La praxéologie dans le cadre de la TAD

La Théorie Anthropologique du Didactique (TAD) (Chevallard, 1999) permet d’analyser le processus de 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, mais également l’organisation du savoir au sein d’une institution et les activités de l’élève en tant que sujet de l’institution. « Le *savoir (...)*, en tant que forme particulière de connaissance, est donc le fruit de l’action humaine institutionnelle : c’est quelque chose qui se produit, s’utilise, s’enseigne ou, plus généralement, se transpose dans des institutions. » (Bosch et Chevallard, 1999, p. 83). La notion d’*organisation praxéologique* ou *praxéologie* complète cette théorie par l’apport d’une méthode d’analyse descriptive des pratiques institutionnelles et des conditions de leur réalisation.

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 pratico-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.

Nous proposons de décrire plus précisément ces différents éléments à l'aide d'exemples extraits de notre situation.

3.2. Éléments de la praxéologie

Une tâche t , d'un certain type 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 tout type de tâches prescrit à un élève comme « T_1 : porter et maintenir une solution à température » admet au moins une technique pour l'accomplir, par exemple « τ_1 : utilisation d'un bain marie ».

Prenant en compte le contexte des EIAH dans notre étude, nous utilisons le prolongement du modèle praxéologique proposé dans les travaux de Chaachoua (2018) qui permet de décrire plus précisément la technique afin de rendre le modèle calculable. En s'appuyant notamment sur les travaux de Castela (2008), Chaachoua définit la technique comme un ensemble de type de tâches. Par exemple, dans notre modélisation, la technique de T_1 se décrit par un ensemble de trois types de tâches :

- T_{11} : mettre la solution dans le dispositif ;
- T_{12} : régler la température du dispositif ;
- T_{13} : vérifier la stabilité de la température.

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 τ_1 relative au type de tâches « T_1 : porter et maintenir une suspension à température » se justifie par la technologie « θ_1 : La vitesse de réaction de la fermentation alcoolique est dépendante de la température. La température optimale dépend du micro-organisme étudié ».

Une théorie a également une fonction de justification. On passe ainsi à un niveau supérieur de justification-explication qui peut être modélisé par un ensemble d'énoncés. Dans notre exemple, la technologie énoncée

porte sur les éléments des domaines de la biologie (organisme vivant) et de la chimie (vitesse de réaction). Ils sont issus de théories que nous ne décrivons pas davantage dans cet article.

Dans notre étude nous faisons également deux distinctions qui prolongent le cadre de la TAD :

- Nous qualifions un type de tâches 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 tâches (Chaachoua, 2018). Il peut être relatif à un niveau scolaire. Par exemple dans notre étude, ces types de tâches élémentaires sont principalement en lien avec des gestes simples d'utilisation d'un matériel comme « τ_1 : utilisation d'un bain marie ». Pour un élève non novice, il n'est pas nécessaire de décrire la technique du type de tâches relatif (« T_1 : porter et maintenir une solution à température »), qui est donc élémentaire. L'apport de cette notion complémentaire est nécessaire dans notre étude pour la conception de la situation d'apprentissage et la mise en place d'étayages ciblés.

- Dans une situation de conception expérimentale, l'élève doit proposer une suite d'actions paramétrées. Il doit donc choisir une action et les valeurs des paramètres qui la composent. Par exemple, une action qui consiste à « prélever un volume de suspension » contient deux paramètres : le volume (qui peut prendre un nombre de valeurs infini) et la suspension (qui peut prendre différentes valeurs comme les levures ou les bactéries). Ainsi dans la modélisation praxéologique contextualisée à notre situation, nous appelons « paramètre d'un type de tâches », tout élément du type de tâches qui peut prendre différentes valeurs. De même nous appelons instantiation, la fixation d'une valeur d'un paramètre de type de tâches.

3.3. Praxéologies de référence et institutionnelle

La praxéologie de référence élaborée par le chercheur repose sur un modèle épistémologique du savoir, c'est à dire qu'elle prend en compte les dimensions épistémologique, didactique et cognitive. 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. Elle peut être également modifiée et complétée si nécessaire pour prendre en compte l'ensemble des contraintes (institutionnelle, informatique) liées à notre étude. Il s'agit d'une réinterprétation de la transposition didactique car elle permet de décrire les praxéologies à enseigner, enseignées ou enseignables, ce que Bosch et Gascon (2004) nomment MPR pour modèle praxéologique de

référence. Dans notre travail nous utilisons la praxéologie de référence comme point de départ de notre modélisation de situation d'apprentissage, néanmoins nous ne décrivons pas dans cet article le processus de son élaboration (Bonnat, 2017).

Pour la conception de notre situation d'apprentissage nous devons également décrire la praxéologie institutionnelle (à enseigner). Il s'agit d'une modélisation du rapport institutionnel des connaissances qui tient compte de ce qui est attendu par l'institution. Pour son élaboration nous faisons une analyse exploratoire des programmes d'enseignement et des manuels, afin de replacer le thème enseigné et d'identifier les tâches proposées aux élèves.

3.4. Questions de recherche

La notion de praxéologie, issue des mathématiques, a fait l'objet de travaux en sciences expérimentales pour décrire l'activité de conception expérimentale, notamment en chimie (Girault, Wajeman et d'Ham, 2018). Cependant, elle a peu été mise à l'épreuve pour la conception de situation étayée par LabNbook. Notre article s'articule autour de la question de recherche suivante : l'utilisation du modèle praxéologique nous aide-t-elle à élaborer une situation de conception expérimentale étayée ? Et plus précisément, les sous-questions suivantes :

- Cette modélisation didactique est-elle transposable dans l'environnement informatique étudié ?
- Les étayages proposés prennent-ils en compte les difficultés des élèves de nature conceptuelle, mais aussi les difficultés liées à la rédaction d'un protocole ?

4. Méthodologie

Nous présentons dans cette partie la méthodologie utilisée pour la conception d'une situation dans l'environnement informatique LabNBook, et qui répond aux objectifs de notre recherche (figure 1), c'est à dire :

- élaborer une situation de conception de protocole expérimental étayée par l'EIAH étudié ;
- élaborer des étayages fixes qui permettent la prise en charge des erreurs récurrentes ;
- proposer une méthodologie générique, transposable à d'autres situations d'apprentissage intégrant une activité de conception expérimentale.

Nous développons la méthode de transposition d'une situation de conception expérimentale dans l'environnement numérique LabNBook. Nous la scindons en trois parties : tout d'abord nous présentons le travail de modélisation didactique de la tâche contextualisée à une situation d'apprentissage sur la fermentation alcoolique, puis nous décrivons brièvement les spécificités de la plateforme numérique qui doivent être prises en compte pour enfin concevoir des étayages fixes dans l'EIAH.

4.1. Méthodologie de modélisation didactique de la situation

Nous présentons ici le travail didactique préalable pour l'élaboration d'une situation de conception expérimentale dans l'EIAH (cf. figure 1 « apports de la didactique »). La méthodologie utilisée se découpe en deux temps :

- la modélisation didactique des savoirs par l'élaboration d'une praxéologie de référence (non présentée dans cet article) ;
- la modélisation d'une situation d'apprentissage qui précise les éléments praxéologiques attendus par l'institution scolaire dans laquelle nous nous plaçons (figure 2).

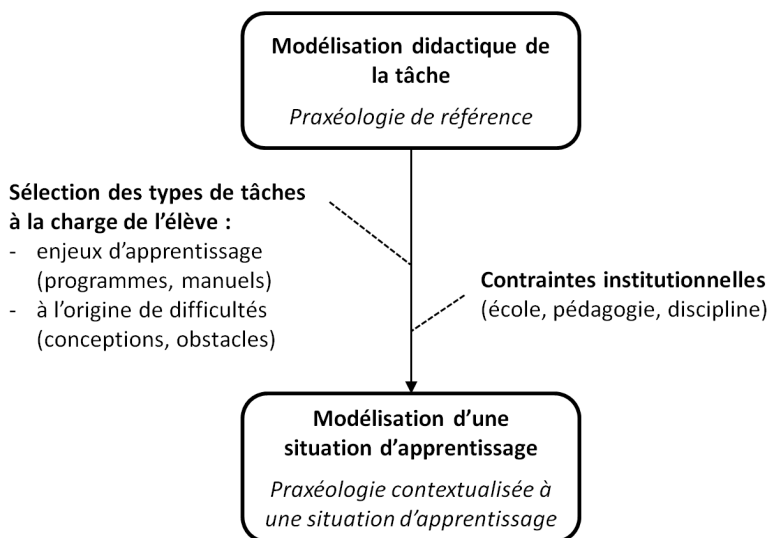


Figure 2 • Méthodologie de modélisation didactique d'une situation d'apprentissage

Nous présentons le travail pour le type de tâches relatif à notre étude qui est de « proposer une expérience qui met en évidence le métabolisme de la fermentation alcoolique ». L'objectif est de modéliser une situation d'apprentissage à destination des élèves. Pour cela, à partir de la praxéologie de référence (Bonnat, 2017) qui prend en compte l'ensemble des institutions, nous décrivons la praxéologie à enseigner en se plaçant dans le cadre d'une classe de lycée (figure 2). Cette phase consiste à extraire les types de tâches de la praxéologie de référence qui pourraient être à la charge d'un élève de TS spécialité SVT. Ce processus se réalise en deux temps :

- identifier les types de tâches qui sont enjeux d'apprentissage dans la classe ciblée, et qui pourraient être à l'origine de difficultés ;
- prendre en compte les contraintes institutionnelles qui se situent au niveau de l'école, de la pédagogie ou de la discipline.

L'élaboration de la praxéologie institutionnelle nous a notamment permis d'identifier les enjeux d'apprentissages. Dans le cadre de l'enseignement de spécialité SVT au lycée en France (Bulletin officiel de l'éducation nationale spécial n°8 du 13 octobre 2011), la fermentation alcoolique est un des métabolismes étudiés. La réaction se caractérise par une consommation de glucose et une production d'alcool et de dioxyde de carbone, par exemple par des levures (organismes unicellulaires). La réalisation optimale de la fermentation alcoolique par la levure est dépendante de deux conditions du milieu qui sont la température (autour de 25°C) et l'anaérobiose stricte. À cela, s'ajoute une analyse de la cohérence verticale des programmes (collège et lycée), afin de définir les prérequis des élèves sur le thème abordé. L'identification claire de ces enjeux d'apprentissage nous a permis de sélectionner les types de tâches, techniques et technologies à la charge de l'élève dans le contexte d'une classe de TS. Nous écartons les éléments que l'institution ne considère pas nécessaire d'expliquer (techniques des types de tâches élémentaires). Enfin, nous distinguons les types de tâches qui se réfèrent à des technologies dont les concepts font appel à des connaissances acquises dans les classes antérieures. Cette distinction est nécessaire dans l'élaboration des étayages conceptuels.

De plus, pour pouvoir aider les élèves et proposer des étayages fixes ciblés, nous avons réalisé en amont une analyse des conceptions et obstacles sur le thème de la fermentation alcoolique (Bonnat *et al.*, sous presse). Nous avons donc identifié, pour chaque élément praxéologique sélectionné, les possibles difficultés conceptuelles des élèves.

**Catherine BONNAT, Patricia MARZIN-JANVIER,
Isabelle GIRAULT, Cédric d'HAM**

Enfin, nous avons également pris en compte, dans le choix des types de tâches et de leurs valeurs de paramètres que nous mettons à la charge de l'élève, certaines contraintes institutionnelles liées à l'école, aux mises en œuvre pédagogiques et à la discipline. En effet, au niveau de l'école certaines règles en termes de choix de matériels s'appliquent. Par exemple, un produit comme le dichromate de potassium, qui permet de mettre en évidence la présence d'alcool dans une solution, est interdit en classe. Nous ne pouvons donc pas proposer ce type de matériel aux élèves et nous proposons un dispositif alternatif (l'alcootest) qui remplit les mêmes fonctions et que les élèves pourront utiliser lors de la phase de manipulation en classe. Toujours en rapport au matériel, certains dispositifs coûteux et spécifiques de la discipline sont rarement présents dans les établissements, ce qui est le cas notamment des sondes à CO_2 et à l'éthanol. Nous faisons le choix de ne pas les intégrer dans notre situation, ce qui se traduit par la non sélection de ces types de tâches ou valeurs de paramètres. Une autre contrainte découle des attentes institutionnelles en termes de structuration du protocole expérimental qui restent implicites dans les programmes. En effet, l'institution ne propose pas de modèle de référence alors qu'elle précise un canevas général de la démarche d'investigation qui peut être suivi par les enseignants. Nous prenons donc en compte cette lacune institutionnelle dans les étayages relatifs à la structuration du rapport expérimental (cf. 5.2) et du protocole.

Cette méthodologie permet l'élaboration d'une modélisation praxéologique de la situation qui répond aux attentes institutionnelles et aux contraintes qui s'y réfèrent (Bonnat, 2017). L'identification des difficultés des élèves liées aux objectifs d'apprentissages, permet de cibler les aides apportées par l'EIAH. Cependant, pour pouvoir transposer la situation dans l'environnement informatique nous devons prendre en compte ses spécificités et ses contraintes, ce qui nous amène à présenter la plateforme numérique utilisée, LabNbook.

4.1.1. Spécificités de la plateforme LabNbook

La plateforme numérique LabNbook, développée par l'équipe du LIG (Laboratoire d'Informatique de Grenoble) est un cahier de laboratoire en ligne. L'espace de travail des élèves est constitué de leurs rapports expérimentaux dont la structure est définie par l'enseignant. Les étayages proposés par la plateforme sont des étayages fixes. À l'aide d'une interface de suivi, les enseignants peuvent consulter l'état des rapports produits par

les élèves. Pour le chercheur, le système trace l'ensemble des activités effectuées par les élèves dans la plateforme.

Dans de précédents travaux sur l'étayage de la démarche d'investigation avec la plateforme LabNbook, Saavedra (2015) a permis notamment de tester les types d'étayages proposés pour aider les élèves dans une situation de démarche expérimentale sur la génétique. Il a montré que la structuration apportée par la plateforme aide les élèves à mener à bien leur tâche.

Dans notre étude, nous nous centrons sur la phase de rédaction du protocole. Nous présentons donc plus précisément les fonctionnalités liées à cette activité, c'est à dire les types d'étayages fixes proposés par plateforme.

4.1.2. Présentation générale de l'éditeur de protocole Copex

Pour produire leurs rapports dans LabNbook, les élèves disposent de plusieurs outils dont Copex, qui leur permet d'écrire de façon structurée des protocoles expérimentaux. Cet outil de conception expérimentale est le support de notre étude. Copex permet au concepteur (ici le chercheur) de mettre à disposition des utilisateurs (ici les élèves) un « protocole » constitué de cinq parties inhérentes à une démarche expérimentale en sciences (figure 3) :

- la question de recherche ou objectif ;
- les hypothèses ou résultats attendus ;
- le principe de la manipulation ;
- la liste de matériel ;
- le mode opératoire.

Chaque partie est composée d'un contenu et de commentaires. La figure 3 présente la procédure proposée par défaut dans Copex que le concepteur peut choisir de modifier : ajouter ou supprimer des parties, changer leurs intitulés, ou les pré-remplir, au niveau du contenu ou des commentaires.

Le « mode opératoire » constitue la dernière partie du protocole. C'est dans cette partie que l'élève décrit la procédure de son expérience. Le mode opératoire est composé d'étapes et d'actions organisées séquentiellement et hiérarchiquement (Girault *et al.*, 2012) que l'utilisateur peut ajouter, déplacer, modifier ou supprimer.

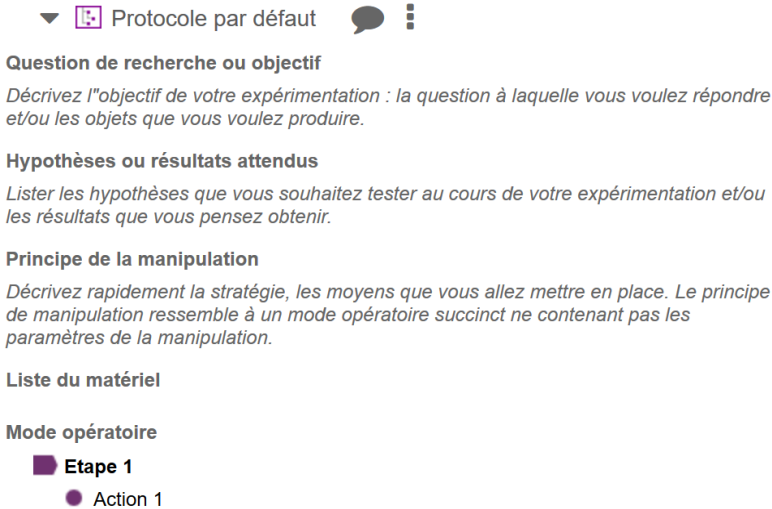


Figure 3 • Structuration de la démarche expérimentale d'investigation par l'éditeur de protocole Copex

À l'intérieur du mode opératoire, le concepteur peut pré-remplir des étapes et pré-structurer des actions. Grâce à cette pré-structuration des actions, le système a accès à la sémantique de la procédure.

4.1.3. Pré-structuration des actions

Le concepteur peut définir des actions pré-structurées à partir de plusieurs modèles :

- L'« action libre » est la forme la plus simple. Elle propose une action qui est à compléter entièrement par l'utilisateur, dans les champs « contenu » et « commentaire ».

- L'« action avec titre imposé et contenu libre » ajoute un titre fixe à l'action mais laisse l'utilisateur libre de définir les champs « contenu » et « commentaire » comme pour l'action libre.

- L'« action avec titre imposé et contenu structuré » (figure 4) est identique à la précédente avec un contenu structuré : l'utilisateur ayant choisi l'action par son titre, il peut alors modifier son contenu uniquement au niveau de ses paramètres accessibles par des boîtes de dialogue.

- Les paramètres de l'action peuvent être de trois types : « valeur libre », « valeur numérique », ou « liste à choix ». Les listes à choix (menus déroulants) peuvent soit contenir les éléments présents dans la liste de matériel, soit des unités de grandeurs. Une action peut produire un

nouveau matériel qui apparaîtra alors dans les menus déroulants des actions suivantes.

Enfin, le commentaire de l'action peut être défini en y ajoutant une ou plusieurs phrases que l'utilisateur peut garder, modifier ou supprimer.

La pré-structuration de la partie mode opératoire du protocole permet à la fois d'aider les élèves dans la rédaction d'un protocole communicable (Girault *et al.*, 2012 ; Girault et d'Ham, 2014), mais aussi d'avoir des traces très fines de l'activité de l'élève : choix des actions et des valeurs de leurs paramètres. Nous faisons donc le choix dans la conception de la situation d'utiliser uniquement le modèle d'action qui permet de tracer les choix des élèves, c'est à dire du type « action avec titre imposé et contenu structuré » (figure 4).

Titre imposé et contenu structuré (2)

Je fais une action avec un paramètre libre + une grandeur avec unité nm + un matériel de type "chemical" qui devient inutilisable | Eau de source . Cette action produit un nouveau matériel de types "chemical" + "solution" dont le nom est spécifié par l'étudiant ici :

Commentaire :

Ceci est le commentaire par défaut

Figure 4 • Pré-structuration de l'action dans Copex

La proposition des paramètres d'actions dans les menus déroulants est contrainte par la liste du matériel, mais peut être croisée avec l'analyse *a priori* des difficultés issues de l'analyse didactique. Cela permettrait de révéler des possibles erreurs, que nous avons identifiées *a priori*.

Nous allons donc développer dans la partie suivante, la méthodologie de transposition du modèle didactique de l'activité de conception expérimentale en une situation d'apprentissage étayée dans l'EIAH étudié.

4.2. Méthodologie de transposition et élaboration des étayages fixes

La figure 5 présente la méthodologie de transposition des éléments praxéologiques sélectionnés en éléments du protocole, puis son implémentation dans l'EIAH.

Les types de tâches sont transposés en étapes du protocole.

La technique relative à un type de tâches est composée de types de tâches, chacun étant transposé sous la forme d’une action qui contient un titre générique et un contenu pré-structuré. Les paramètres du sous-type de tâches sont transposés en paramètres d’actions qui peuvent prendre différentes valeurs. 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 se réfèrent à des difficultés *a priori*.

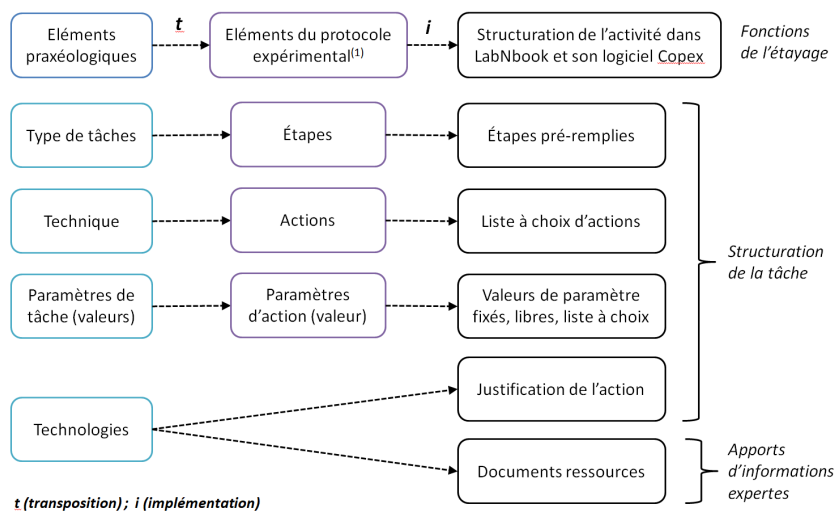


Figure 5 • Méthodologie de transposition du modèle didactique en une situation d’apprentissage étayée par l’EIAH étudié

Les technologies qui justifient la technique sont transposées en justifications de l’action, et/ou peuvent être apportées dans les documents ressources selon les concepts en jeu. Nous choisissons d’implémenter les justifications dans la partie commentaire de chacune des actions (figure 4) afin de les distinguer des actions du fait de leur fonction.

Nous avons élaboré des documents ressources pour les élèves, à partir de l’analyse des programmes, des manuels et des attentes par rapport à l’évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat. L’analyse précise des technologies, c’est à dire des savoirs en jeu, nous amène à proposer différents niveaux d’information :

- si le concept en jeu est considéré comme acquis, alors nous ne donnons pas d’information dans les ressources sur le choix des valeurs de

paramètres concernées, comme par exemple le choix du dispositif de chauffe (le bain-marie);

- si le concept en jeu n'est pas un des objectifs d'apprentissage, alors nous donnons des informations au niveau des choix de valeurs de paramètre d'action, par exemple la température du milieu (25°C) ou bien le dispositif de mesure de l'alcool (alcootest);

- si le concept en jeu est un des objectifs d'apprentissage, alors nous donnons des informations dans les ressources au niveau des technologies c'est-à-dire des savoirs, comme par exemple ce qui définit le concept d'anaérobie.

Les informations de nature conceptuelle devraient aider l'élève dans sa stratégie de résolution à choisir précisément des valeurs de paramètre.

L'implémentation de ces éléments du protocole dans l'EIAH et la prise en compte de ses spécificités nous amènent à proposer deux types d'étayages qui ont comme fonction :

- de structurer la tâche avec l'éditeur de protocole Copex ; nous faisons le choix de pré-remplir les étapes du protocole, de proposer des actions pré-structurées dont le choix sera justifié par l'élève (figure 4) ;

- d'apporter un guidage scientifique expert sous la forme de documents ressources.

5. Résultats

Nous présentons tout d'abord les résultats de la modélisation didactique de la situation, sous forme de praxéologie, à partir de quelques exemples. Nous exposons ensuite les résultats de la transposition de la modélisation en une situation d'apprentissage étayée dans Copex, en nous appuyant sur la présentation de l'interface élève.

5.1. Sélection des éléments praxéologiques à l'origine de la situation d'apprentissage

La modélisation didactique du type de tâches « mettre en évidence le métabolisme de la fermentation alcoolique » a abouti à la production d'une praxéologie de référence sur le thème d'étude que nous ne développons pas dans cet article (Bonnat, 2017). Afin de proposer aux élèves une situation d'apprentissage pertinente, nous avons contextualisé la praxéologie de référence en sélectionnant uniquement les éléments qui répondent aux attentes de l'institution scolaire en France et plus précisément celles d'une classe de TS de spécialité SVT conformément à la méthodologie exposée.

Pour chacun de ces éléments sélectionnés, nous avons précisé les technologies relatives, c’est à dire les savoirs en jeu, pour lesquels nous avons identifié de possibles difficultés d’élèves à partir d’une analyse des conceptions et des obstacles.

Nous présentons un extrait de ces résultats dans le tableau 1. Nous distinguons, en gras, les types de tâches que nous sélectionnons dans notre situation et, en italique, leurs paramètres à instancier. Nous associons pour chacun de ces éléments les technologies relatives (numérotées de 1 à 5), c’est-à-dire les savoirs en jeu, pour lesquelles nous avons identifié de possibles difficultés dans la littérature.

Tableau 1 • Éléments praxéologiques à l’origine de la situation d’apprentissage sur le thème de la fermentation alcoolique

Éléments praxéologiques	
*Type de tâches	T₂ : placer les microorganismes dans les conditions du milieu (2)
*Technique associée <i>En gras, les types de tâches à la charge des élèves En italique gras les paramètres à instancier</i>	T ₂₁ : placer les microorganismes en anaérobie (1) T ₂₁₁ : maintenir l’agitation au minimum T ₂₁₂ : supprimer le bulleur T₂₁₃ : fermer le contenant avec un matériel (3) T₂₂ : placer les microorganismes à température optimale (4) à l’aide d’un dispositif
*Technologies relatives (savoirs en jeu)	La fermentation alcoolique est réalisée par des microorganismes tels que les levures (1) selon des conditions spécifiques: la température et l’anaérobie stricte du milieu (2). La diminution de l’agitation et la mise en place d’un bouchon hermétique permettent de limiter les apports en dioxygène. Les gaz présents dans le milieu se dissolvent dans les liquides (3). La vitesse de réaction de la fermentation alcoolique des levures est dépendante de la température (4). Elle est optimale à 25°C. En dessous la vitesse ralentit, au dessus de 50°C les levures meurent.
Difficultés identifiées a priori relatives aux éléments praxéologiques	
(1) Confusion levures/bactéries et difficulté à associer les levures au vivant (2) Conception vitaliste (3) Obstacle aperceptif du gaz (matérialité) dans le phénomène de dissolution (4) Difficulté à associer les levures au vivant ; concept de chimie (vitesse de réaction)	

Certains types de tâches comme les T_{211} et T_{212} disparaissent dans l'institution scolaire du fait des contraintes matérielles qu'elle suscite. En effet le dispositif d'agitation magnétique, peu présent dans les lycées, n'est pas compatible avec les matériels de chauffe disponibles (bain-marie). Ces types de tâches ne seront donc pas pris en compte dans l'élaboration de la situation proposée aux élèves.

La technique du type de tâches T_{22} n'est pas détaillée car elle est considérée comme élémentaire par l'institution. En effet, la technique de mise en route et d'utilisation du bain-marie est supposée connue des élèves et ne nécessite pas d'être détaillée.

L'identification des types de tâches à la charge de l'élève, permet de préciser les savoirs en jeu modélisés par les technologies. Le croisement avec l'analyse préalable des conceptions et des obstacles recensés dans la littérature a permis de distinguer, dans les technologies, les concepts à l'origine de difficultés pour les élèves. Par exemple, le concept de gaz mobilisé dans le type de tâches T_{21} , est un obstacle fort identifié dans les travaux de Stavy (1990) et Laugier et Dumont (2004). Les auteurs révèlent une difficulté chez les élèves à considérer les gaz comme étant de la matière du fait de son imperceptibilité. Les gaz ne sont donc pas pris en compte dans les échanges de matières constitutifs des métabolismes, ni même dans certains phénomènes comme la dissolution. Ce dernier obstacle qualifié d'aperceptif renvoie à d'autres travaux plus anciens. En effet, dans son étude, Séré (1986) a relevé chez des élèves de 6^e l'idée que les gaz n'agissent que lorsqu'ils sont en mouvement, si bien que pour eux, les gaz présents dans une enceinte fermée ne se dissolvent pas. Nous faisons l'hypothèse que ces difficultés pourraient se traduire dans les protocoles des élèves par une stratégie de résolution ou bien des choix de valeurs de paramètres erronés comme par exemple des contenants non bouchés ou des volumes de solution non adéquats. Nous avons réalisé ce travail de mise en relation des éléments praxéologiques avec l'analyse des conceptions et des obstacles pour l'ensemble des tâches relatives à la situation. Cette analyse *a priori* a été utilisée dans l'élaboration d'étayages conceptuels sous la forme de documents ressources qui ont comme fonction d'apporter des informations scientifiques expertes.

Cette étape de modélisation a permis l'élaboration d'une praxéologie contextualisée à la situation d'apprentissage destinée à des élèves de TS spécialité SVT. La deuxième phase de conception de la situation consiste à transposer ce travail didactique dans l'environnement numérique en

prenant en compte ses fonctionnalités spécifiques. Nous présentons à présent les résultats de cette transposition.

Tableau 2 • Transposition du modèle praxéologique

(A) Éléments de la praxéologie sélectionnés		(B) Éléments du protocole dans la situation d'apprentissage	
Type de tâches T	T ₂ : Placer les microorganismes dans les conditions du milieu.	Étape	Placer les microorganismes dans les conditions du milieu.
Techniques de T	T ₂₁₃ : Fermer le contenant avec un matériel adapté. T ₂₂ : Placer les microorganismes à température optimale à l'aide d'un dispositif.	Actions*	(1) Fermer un contenant : Je place (a) sur le tube à essai de la (b). (2) Porter et maintenir une solution à température : Placer (a) à (b)°C. Pour cela j'utilise (c).
Technologies	La diminution de l'agitation et la mise en place d'un bouchon hermétique permettent de limiter les apports en dioxygène. Les gaz présents dans le milieu se dissolvent dans les liquides.	Documents ressources*	(1) Chez les levures, lorsqu'elles sont placées en condition anaérobie (privées de dioxygène), le métabolisme fermentaire va prendre le pas sur celui de la respiration. (2) La fabrication d'une bière est favorisée par une température proche de 25°C.
	La vitesse de réaction de la fermentation alcoolique des levures est dépendante de la température. Elle est optimale à 25°C. En dessous la vitesse ralentit, au-dessus de 50°C les levures meurent.	Justifications de l'action/paramètre***	(1) Je réalise cette action afin de (limiter/augmenter) les apports en dioxygène : la suspension est en (aérobie/anaérobie). (2) J'ai choisi cette température car il s'agit de la température (létale/optimale).

*les titres des actions (en gras) sont numérotés et les paramètres d'actions à choisir sont représentés par une lettre.

** Extrait d'un des documents ressources. Les apports d'informations portent sur les concepts en jeu de certaines actions (numéro de l'action concernée).

*** les justifications portent sur certaines actions (numéro de l'action concernée).

5.2. Résultats de la transposition du modèle praxéologique en une situation d'apprentissage étayée par LabNbook

Nous avons décrit en 4.1.2 le logiciel Copex qui permet de structurer des protocoles expérimentaux en étapes et en actions paramétrées. Les résultats de la transposition nous amènent à proposer aux élèves une structuration de l'activité de conception de protocole expérimental sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique en cinq étapes, pour lesquelles nous avons défini dix actions pré-structurées.

Nous exposons dans le tableau 2 un exemple de transposition sur un type de tâches, c'est-à-dire la correspondance entre les éléments de la modélisation praxéologique (colonne A) et les éléments implémentés (une étape et deux actions) dans Copex (colonne B). Pour chaque action, des valeurs de paramètres (indiqués par des lettres) sont à choisir dans une liste de propositions. De plus, certains choix d'action et/ou de valeurs de paramètres sont à justifier.

Nous explicitons à présent ces choix de structuration en lien avec nos questions de recherche. Nous illustrons nos propos avec la présentation de l'interface destinée aux élèves.

5.2.1. Pré-structuration des étapes du protocole

Nous avons fait le choix d'imposer aux élèves les cinq étapes du protocole afin de leur donner la structure du protocole qu'ils doivent décrire (figure 6).

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.**

Figure 6 • Les 5 étapes du protocole

Il revient aux élèves d'ajouter les actions qu'ils estiment nécessaires pour réaliser chacune des étapes.

5.2.2. Pré-structuration des actions du protocole

Pour l'ajout d'actions, les élèves disposent d'une liste de dix actions sélectionnables par leurs titres (figure 7).

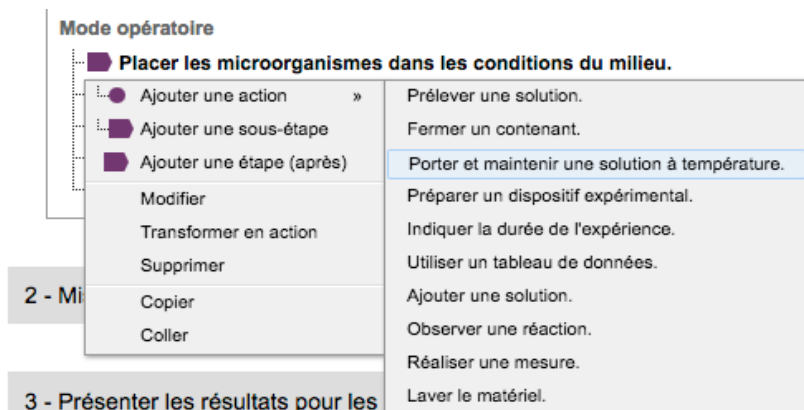


Figure 7 • Actions proposées pour l'ensemble des étapes

Nous expliquons à présent les écarts de formulation constatés entre les éléments praxéologiques de la modélisation et les éléments du protocole de la situation. Lors de la conception des actions pré-structurées, nous avons parfois fait le choix de regrouper des types de tâches de la praxéologie de référence dans une même action, comme « prélever et verser une solution dans un contenant ». Nous le discutons en 6.1. De plus, nous avons adapté les intitulés des types de tâches correspondants de la praxéologie. En effet, les titres des actions doivent être suffisamment génériques pour être utilisés dans différentes étapes. Par exemple, les actions « prélever une solution » ou « fermer un contenant » peuvent être utilisées dans plusieurs étapes du protocole. L'élève choisit dans cette liste d'actions celle(s) qu'il souhaite faire apparaître dans son protocole.

5.2.3. Pré-structuration des paramètres de l'action

Une fois l'action sélectionnée, l'élève la complète en remplissant les champs laissés à sa charge. Les valeurs de paramètres peuvent être fixées ou laissées à la charge de l'élève. 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 certaines valeurs de paramètres en lien avec le matériel disponible en classe, comme le contenant « tube à essai de 40 mL », car c'est le seul contenant disponible en grande quantité.

Les propositions de choix de valeurs de paramètres, pour les actions laissées à la charge des élèves, se réfèrent à des difficultés *a priori* identifiées dans la littérature. Ces propositions sont présentées sous la forme de menus déroulants. Nous en présentons un exemple en figure 8.

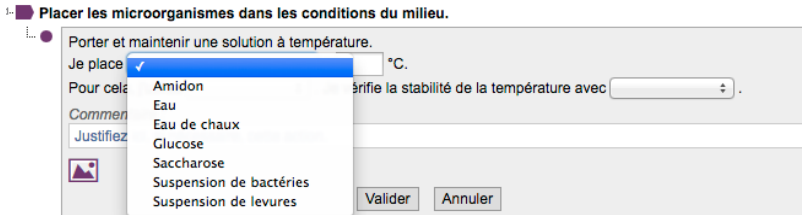


Figure 8 • Exemple de valeurs du paramètre « nature de la solution », proposées pour l’action “porter et maintenir une solution à température”

Dans la figure 8, l’action «porter et maintenir une solution à température» contient un menu déroulant pour le choix de la solution (a). Les valeurs mises à disposition sont en lien avec des difficultés recensées dans la littérature (tableau 1). En effet nous proposons deux types de suspensions, l’une contenant des levures (réponse attendue), l’autre des bactéries. Cette dernière proposition fait référence à une confusion chez les élèves entre les microorganismes, relevée notamment dans les travaux de Schneeberger et Rodriguez (1999). Nous proposons aussi des solutions dépourvues de microorganismes, ce qui fait référence cette fois-ci à un obstacle épistémologique sur la nature du vivant (Schneeberger et Rodriguez, 1999 ; Simard, Harvey et Samson, 2014).

Ainsi, à chaque difficulté identifiée *a priori*, correspond une ou des actions pré-structurées, comportant 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 plus fin des erreurs sur les difficultés identifiées *a priori*.

Par ailleurs, pour certains choix de valeurs de paramètres qui mobilisent des connaissances non requises, nous proposons un étayage fixe à travers quatre documents ressources que l’élève peut consulter à tout moment et qui proposent différents niveaux d’information, selon la méthodologie présentée en 4.2.

5.2.4. Pré-structuration de la justification de l'action

Les technologies, c'est-à-dire les savoirs en jeu, ne sont pas uniquement apportées sous la forme d'informations à disposition des élèves dans les documents ressources, mais sont également mobilisées par les élèves pour justifier des choix d'action ou de valeur de paramètre.

En effet, pour certaines actions, une justification est demandée. Dans l'interface, elles se distinguent 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 élèves, 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.

Nous avons fait le choix de proposer entre parenthèses des éléments de savoir qui traduisent des connaissances mobilisées par les élèves, ou bien des conceptions identifiées *a priori* (cf. tableau 2). Par exemple, l'action (3) présentée en figure 9, « Porter et maintenir une solution à température », propose de fixer la valeur de la température sous la forme d'un champ libre à compléter. Il ne s'agit pas d'une connaissance requise, nous mettons à disposition de l'élève la valeur du paramètre température dans les documents ressources. Néanmoins, nous demandons à l'élève 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) ». Après avoir spécifié la température, l'élève devra choisir l'un des mots proposés dans la justification (létale ou optimale). Nous faisons donc l'hypothèse que la pré-structuration des justifications inciterait les élèves à faire du lien entre les connaissances et participerait à la production d'un protocole pertinent.

Mode opératoire

- Placer les microorganismes dans les conditions du milieu.
- 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 :

J'ai choisi cette température car il s'agit de la température (létale / optimale).

Valider Annuler

**Figure 9 • Exemple de justification pré-définie pour l'action
« porter et maintenir une solution à température »**

6. Discussion

Nous discutons les résultats obtenus au regard de la question principale de recherche : l'utilisation du modèle praxéologique nous aide-t-il à élaborer une situation de conception expérimentale étayée par un EIAH ?

6.1. Utilisation du cadre de la praxéologie pour la conception d'une situation

L'objectif de notre recherche était de proposer une situation d'apprentissage dans LabNbook afin d'aider les élèves à concevoir une expérience en biologie. Nous nous sommes appuyés pour cela sur une modélisation praxéologique des connaissances, novatrice dans ce domaine. Nous avons fait l'hypothèse qu'il s'agit d'un modèle compatible pour décrire l'activité de conception expérimentale et transposable dans l'EIAH choisi. Les résultats de notre étude ont montré la pertinence de ce modèle pour concevoir une situation d'apprentissage étayée par l'EIAH. En effet, ce cadre permet de décrire finement l'activité, ce qui rend possible l'identification des tâches destinées aux élèves au sein d'une institution. L'analyse croisée des conceptions et des obstacles avec la modélisation praxéologique rend compte des possibles difficultés des élèves, ce qui participe à la réalisation d'étayages ciblés sur certains concepts. Même si nous avons centré notre étude uniquement sur la mise en évidence du métabolisme de la fermentation alcoolique, nous envisageons d'étendre la praxéologie de référence au secteur afin de prendre en compte l'ensemble des métabolismes étudiés, ce qui permettrait un meilleur diagnostic des difficultés rencontrées par les élèves.

Les résultats de la transposition de la modélisation praxéologique en une situation d'apprentissage ont cependant mis en avant certaines limites. Nous avons pointé en 5.2.2 des écarts entre le modèle praxéologique et la situation implémentée, ce qui révèle une des limites de la méthodologie de transposition proposée. En effet, la praxéologie décrit précisément l'activité sous la forme de types de tâches « simples », correspondant à un geste manipulateur indépendant (par exemple, T : fermer le contenant). La transposition stricte de ce modèle aurait dû nous conduire à proposer une liste à choix d'actions « simples ». Or dans notre situation nous avons proposé une action « double » qui résulte de la transposition de deux types de tâches distincts (T : prélever une solution et T : verser une solution dans un contenant). Nous justifions ce choix par une contrainte liée au type d'activité proposée. En effet, la conception

**Catherine BONNAT, Patricia MARZIN-JANVIER,
Isabelle GIRAULT, Cédric d'HAM**

expérimentale peut traduire des gestes manipulateurs dépendant des contraintes du milieu. Dans cet exemple, le geste qui consiste à prélever avec une pipette un certain volume de solution est couplé au geste qui consiste à verser ce volume dans un contenant. Concrètement en salle de travaux pratiques, la rétroaction du milieu (pipette remplie) associe implicitement deux gestes manipulateurs ce qui rend les deux actions dépendantes l'une de l'autre. Nous faisons l'hypothèse que les élèves ne décomposent pas ce geste qu'ils considèrent comme étant une seule et même action. Nous avons donc fait le choix, dans un premier temps, de regrouper et de transposer ces deux gestes manipulateurs dépendants sous la forme d'une seule action du protocole afin de donner davantage de sens à l'action. Cette limite de notre modèle de transposition a fait l'objet d'expérimentations en classe (Bonnat, 2017). Nous avons en effet testé deux types de transpositions : l'une avec des actions dites « simples » (une seule tâche) et l'autre avec des actions « multiples » (qui regroupent plusieurs tâches). Les résultats montrent que pour cette action (prélever une solution), les élèves s'approprient davantage l'action double pour produire des protocoles pertinents. Pour les autres actions, les résultats sont plus mitigés, ce qui ne nous permet pas actuellement de généraliser nos propos.

6.2. Étayages de l'activité de conception expérimentale dans LabNbook

À partir d'une modélisation didactique, nous avons conçu une situation d'apprentissage étayée dans l'outil Copex qui permet de rédiger un protocole expérimental.

Nous attribuons à la pré-structuration du protocole dans Copex, un premier rôle qui est d'amener les élèves à rédiger un protocole communicable, et plus spécifiquement nous nous intéressons à la structuration, selon les critères d'évaluation développés dans (Girault *et al.*, 2012). Il est à noter qu'il n'existe actuellement aucune référence institutionnelle, dans les programmes de SVT au lycée, permettant de définir ce qui est attendu des élèves. Nous nous posons donc la question de l'appropriation par les élèves d'une telle pré-structuration pour la production de leur protocole. Cette question est discutée dans (Hmelo-Silver *et al.*, 2007 ; Kirschner, Sweller et Clark, 2006). En effet, le type d'étayage proposé, qui ferme la situation, pourrait nuire à la créativité et à la réflexion recherchées dans ce type d'activité (Arce et Betancourt, 1997).

Toujours en rapport avec l'interface proposée, mais cette fois-ci au niveau de la structuration des actions, nous pourrions aussi nous poser la question de la surcharge cognitive. En effet, l'élève doit mobiliser des connaissances à la fois pour choisir des valeurs de paramètres et pour rédiger des justifications. Nous avons proposé cette activité dans le but d'aider les élèves à faire des liens entre les savoirs pour donner du sens à l'activité (Etkina *et al.*, 2010 ; Tiberghien, 2000), mais ce niveau de pré-structuration aide-t-il les élèves dans cette tâche complexe qui sollicite la matrice cognitive (Coquidé, 2000) ?

À la suite de cette remarque, nous étudions un deuxième rôle des étayages fixes mis en place, qui est d'aider les élèves à concevoir un protocole pertinent qui permette de répondre aux objectifs de la situation. Nous faisons l'hypothèse que la liste de choix des actions et de certains paramètres les aide à mobiliser des connaissances et ainsi à proposer un protocole pertinent.

Enfin, la prise en compte des difficultés *a priori* dans la pré-structuration, sous la forme de propositions de valeurs de paramètre, pourrait, par le choix de certaines valeurs erronées, faire apparaître des conceptions d'élèves. En effet, comme le montrent les résultats de travaux en biologie (Azevedo *et al.*, 2004) et en chimie (Girault et d'Ham, 2014), les étayages fixes n'aident pas suffisamment les élèves dans leurs démarches de résolution, contrairement aux étayages adaptatifs. Cela conforte la mise en place d'un étayage complémentaire sous la forme de rétroactions personnalisées dans Copex. L'analyse des erreurs récurrentes permettrait alors de cibler ces étayages adaptatifs, afin de décharger l'enseignant qui pourrait se focaliser sur d'autres aspects non pris en charge par la plateforme.

Cependant, la question de la place respective des étayages informatiques et des étayages proposés par l'enseignant dans ce type de situation de conception expérimentale se pose. Nous nous demandons en effet comment l'activité de conception expérimentale pourrait être étayée par l'environnement informatique en tenant compte des rétroactions apportées par la manipulation et par l'enseignant.

7. Perspectives

Les questions soulevées dans cette discussion, notamment sur l'appropriation de la pré-structuration et les apprentissages, ont été traitées lors de la mise en œuvre de la situation en classe en 2016. En effet,

**Catherine BONNAT, Patricia MARZIN-JANVIER,
Isabelle GIRAULT, Cédric d'HAM**

ce travail a permis l'élaboration de trois situations proposant des niveaux d'étayages différents portés sur la pré-structuration des étapes, des actions et des justifications. Nous avons testé ces trois situations dans des classes de terminale scientifiques de spécialité SVT, avec comme objectifs de valider l'utilisation par les élèves des pré-structurations proposées, de montrer leur impact sur les apprentissages, sur la pertinence et la communicabilité des protocoles produits par les élèves (Bonnat et Marzin, 2017). Les résultats ont également permis de repérer des erreurs tenaces identifiées dans la littérature et qui nécessitent la mise en place d'un étayage complémentaire.

Le cadre de la praxéologie utilisé permettrait également la mise en place d'un étayage adaptatif. Pour cela, nous nous appuyons sur le modèle de praxéologies personnelles décrit en mathématiques dans Croset et Chaachoua (2016). En effet, il prend en compte les erreurs *a priori* des élèves en modélisant, pour un type de tâches, les techniques et les technologies alternatives que pourraient proposer des élèves. Nous avons par ailleurs réalisé ce travail pour la situation d'apprentissage sur la fermentation alcoolique (Bonnat, 2018). Ce travail participera à l'élaboration d'un diagnostic automatique des erreurs, à partir des traces de l'activité de l'élève correspondant à un choix de valeur de paramètre erronée, et à l'élaboration de rétroactions personnalisées.

L'ensemble de ces résultats a conduit à l'élaboration d'une nouvelle simulation en ligne développée dans le cadre d'un projet de recherche et en cours de réalisation. La simulation propose à l'élève une activité de conception expérimentale sur la fermentation alcoolique. L'élève choisit son matériel et rédige son protocole expérimental, les résultats expérimentaux correspondant au protocole de l'élève étant fournis par la simulation. Nous avons implémenté des étayages adaptatifs complémentaires aux étayages fixes. Les étayages adaptatifs sous la forme de rétroactions personnalisées à l'élève sont proposés à partir d'un diagnostic automatique des erreurs des élèves issu de l'analyse des traces de l'activité, comme les choix des actions et des paramètres d'actions. Cette simulation sera mise prochainement à l'épreuve dans des classes de lycée. Cela permettra de valider la modélisation didactique utilisée. Nous avons également le projet d'élargir les situations proposées à l'ensemble des métabolismes cellulaires en nous basant sur la même méthodologie.

RÉFÉRENCES

- Arce, J. et Betancourt, R. (1997). Student-designed experiments in scientific lab instruction. *Journal of College Science Teaching*, 27(2), 114-118.
- Azevedo, R., Cromley, J. G. et Seibert, D. (2004). Does adaptive scaffolding facilitate students' ability to regulate their learning with hypermedia? *Contemporary Educational Psychology*, 29, 344-370.
- Bonnat, C. (2017). Etayage de l'activité expérimentale par un EIAH pour apprendre la notion de métabolisme cellulaire en terminale scientifique (thèse de doctorat, Université Grenoble-Alpes, France).
- Bonnat, C. (2018). Modélisation de praxéologies personnelles a priori dans une situation de conception expérimentale en biologie. Dans *Préactes du 6ème Congrès International de la Théorie Anthropologique du Didactique* (p. 467-481).
- Bonnat, C. et Marzin, P. (2017). Pré-structuration dans un EIAH d'un protocole expérimental en biologie. Dans *Actes de la 8ème édition de la conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH)* (p. 376-378).
- Bonnat, C., Marzin, P. et Girault, I. (sous presse). Analyse des conceptions d'élèves sur le vivant, dans une situation de conception expérimentale avec un environnement informatique. *Recherche en didactique des sciences et technologies, Varia*.
- Bosch, M. et 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. et Gascon, J. (2004). La praxéologie comme unité d'analyse des processus didactiques. Dans A. Mercier (dir.), *Balises pour la didactique des mathématiques. Actes de la 12e Ecole d'été de didactique des mathématiques*. Grenoble, France : La Pensée Sauvage.
- Castela, C. (2008). Travailler avec, travailler sur la notion de praxéologie mathématique pour décrire les besoins d'apprentissages ignorés par les institutions d'enseignement. *Recherches en didactique des mathématiques*, 28(2), 135-182.
- Chaachoua, H. (2018). T4TEL, un cadre de référence didactique pour la conception des EIAH. Dans J. Pilet et C. Vendeira (dir.), *Préactes du séminaire national de l'ARDM* (p. 5-22). Récupéré du site de l'ARDM : <https://ardm.eu/wp-content/uploads/2018/10/Pr%C3%A9actes-ARDM-fevrier2018.pdf>
- 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. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique de mathématiques*, 19(2), 221-265.
- Coquidé, M. (2000). Le rapport expérimental au vivant (Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Paris-Sud, Orsay, France).
- Croset, M. C. et 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).

**Catherine BONNAT, Patricia MARZIN-JANVIER,
Isabelle GIRAULT, Cédric d'HAM**

Etkina, E., Karelina, A. et 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.

Girault, I. et 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., Ney, M., Sanchez, E. et 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.

Girault, I., Wajeman, C. et d'Ham, C. (2018). Modèle de construction d'un EIAH pour une activité de conception expérimentale. Dans *Préactes du 6^e Congrès International de la Théorie Anthropologique du Didactique* (p. 442-455).

Hmelo-Silver, C., Duncan, R. G. et 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.

Kirschner, P.A., Sweller, J. et Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.

Laugier, A. et Dumont, A. (2004). L'équation de réaction : un nœud d'obstacles difficilement franchissable. *Chemistry education: Research and practice*, 5(1), 51-68.

Marzin-Janvier, P. (2013). Comment donner du sens aux activités expérimentales ? (Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Joseph-Fourier, Grenoble I, France).

Marzin, P. et De Vries, E. (2008). How can we take into account student conceptions of the facial angle in a palaeontology laboratory work? Dans *Proceedings of the 8th International Conference on learning science*, 567.

McElhaney, K. W. et Linn, M. C. (2011). Investigations of a complex, realistic task: Intentional, unsystematic, and exhaustive experimenters. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(7), 745-770. <https://doi.org/10.1002/tea.20423>

Morgan, K. et Brooks, D. W. (2012). Investigating a method of scaffolding student-designed experiments. *Journal of Science Education and Technology*, 21(4), 513-522. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9343-y>

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., ... Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>

Puntambekar, S. et Kolodner, J. L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: Helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 185-217.

Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E. et Duncan, R., G. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 337-386.

Reiser, B. J. (2004). Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 273-304.

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, France).

Schneeberger, P. et Rodriguez, R. (1999). Des lycéens face à une investigation à caractère expérimental : un exemple de première S. *Aster*, 28, 79-105.

Séré, M. G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8(4), 413-425.

Simard, C., Harvey, L. et Samson, G. (2014). Regard multidimensionnel des conceptions du vivant : situation en contexte québécois. *Recherche en didactique des sciences et technologies*, 9, 79-102.

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.

Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. Dans R. Millar, J. Leach et J. Osborne (dir.), *Improving science education: The contribution of research* (p. 27-47). Buckingham, UK : Open university press.

van Riesen, S. A. N., Gijlers, H., Anjewierden, A. et de Jong, T. (2018). The influence of prior knowledge on experiment design guidance in a science inquiry context. *International Journal of Science Education*, 66(2), 1-18.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1477263>

Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., de Jong, T., Pedaste, M., van Riesen, S., ...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.
<https://doi.org/10.1007/s11423-015-9370-0>