

Modélisation praxéologique des connaissances en biologie, pour réaliser un diagnostic automatique, de la conception de protocoles par les élèves, avec la plate-forme LabBook¹.

Bonnat, Catherine⁽¹⁾, Marzin, Patricia⁽¹⁾, Girault, Isabelle⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratoire LIG, équipe MeTAH (LIG-METAH), Université Grenoble Alpes - France

Résumé : Cet article s'inscrit dans un travail de modélisation des connaissances pour effectuer un diagnostic automatique des erreurs dans une situation expérimentale en biologie, et plus précisément sur la mise en évidence de la fermentation alcoolique chez les levures. Le cadre théorique utilisé est celui de la Théorie Anthropologique du Didactique et plus spécifiquement dans l'approche praxéologique. Nous proposons un modèle de pré-structuration de protocole afin qu'il puisse être implémenté dans une plate-forme informatique de conception de protocoles expérimentaux, LabBook. La pré-structuration s'appuie sur une analyse épistémologique des connaissances et des difficultés relatives aux concepts liés à la fermentation alcoolique. Notre modélisation sera par la suite testée en classe de terminale scientifique de spécialité, afin d'anticiper un diagnostic des erreurs, qui sera réalisé dans un deuxième temps.

Mots-clés : TAD, EIAH, protocole expérimental, pré structuration, difficultés.

Contexte de la recherche

Ce sujet s'inscrit dans un travail de thèse dont le but est de modéliser des connaissances pour effectuer un diagnostic automatique des erreurs d'élèves de Terminal S, spécialité SVT, et de prévoir des rétroactions. Nous modélisons les connaissances mises en jeu lors d'une activité de conception expérimentale sur le thème des métabolismes cellulaires, et plus particulièrement la fermentation alcoolique, en utilisant le cadre de la Théorie Anthropologique du Didactique (Chevallard, 1992, 1999). Les élèves doivent structurer un protocole sous forme d'étapes et d'actions avec l'éditeur de protocole Copex de la plate-forme LabBook (d'Ham et *al.*, 2014). Nous proposons une pré-structuration de ce protocole, qui prend en compte les difficultés des élèves identifiées *a priori*. Une expérimentation suivra afin de tester l'efficacité de la prise en charge par le logiciel de ces difficultés.

Etat de l'art, cadre théorique et questions de recherche

La modélisation des connaissances s'inscrit dans le cadre de la TAD (Chevallard, 1992, 1999) et plus spécifiquement dans l'approche praxéologique (Bosch et Chevallard, 1999). Elle 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 . Cela met en œuvre une organisation que Chevallard (1999) note $[T/t/\tau/\theta/\Theta]$ et qu'il nomme praxéologie, ou organisation praxéologique. Dans sa théorie il en distingue trois types: la praxéologie de référence, la praxéologie institutionnelle et la praxéologie

¹ labbok.imag.fr. Cette plateforme est développée au sein de l'équipe MeTAH du LIG, par des chercheurs informaticiens et didacticiens des sciences.

personnelle. Nous utiliserons, dans cette étude, la praxéologie de référence qui prend en compte les dimensions épistémologique, didactique et cognitive. Elle se construit à partir d'une analyse épistémologique des savoirs et des attentes institutionnelles.

Enfin, nous utilisons dans cette modélisation la notion de variable définie dans la théorie des situations (Brousseau, 1998), et qui est actuellement reprise dans les recherches de l'équipe MeTAH pour le développement du cadre de référence T4TEL (Chaachoua et *al.*, 2013) (*T4* renvoie au quadruplet praxéologique et *TEL* pour Technology Enhanced Learning). Ce cadre permet une modélisation informatique des objets de savoirs à enseigner et des connaissances d'un sujet, dans le cadre de la TAD, afin de produire des diagnostics automatiques et des rétroactions.

La modélisation informatique se fait sous la forme d'une pré-structuration de protocole (d'Ham et *al.*, 2014) dans le logiciel Copex de la plate-forme LabBook. Cela consiste à proposer une liste finie de paramètres pour certaines actions du protocole. Ces actions sont prévues *a priori* en fonction d'une analyse épistémologique et didactique de la tâche. Certaines propositions correspondent à des erreurs repérées (possibles) d'élève. Cette pré-structuration permet de mettre en place un diagnostic automatique par l'analyse des traces de l'activité des élèves, comme la sélection par eux des paramètres des actions. Cette analyse permettra de produire une rétroaction personnalisée à l'élève que nous pourrions nous même proposer, mais qui ne sera pas encore automatique dans mon étude.

Ainsi, à partir des résultats de la modélisation des connaissances dans le cadre de T4TEL et de l'analyse épistémologique des savoirs, l'objectif de nos recherches est de concevoir un protocole pré-structuré qui puisse être implémenté dans la plate-forme LabBook. Ce qui nous amène aux questions de recherche suivantes :

- Comment les différents niveaux de pré-structuration peuvent être implémentés dans la plate-forme LabBook ?
- La pré-structuration permet-elle de prendre en compte les difficultés des élèves identifiées *a priori* ?

Méthodologie

L'analyse épistémologique nous a permis d'identifier les difficultés relatives aux concepts associés au métabolisme fermentaire. Nous avons pu ainsi, en nous appuyant sur des travaux sur la démarche expérimentale (Coquidé et *al.*, 1999 ; Schneeberger et Rodriguez, 1999 ; Beaufils et Larcher, 1999), classer ces difficultés *a priori* en différentes catégories : les concepts fondamentaux, les techniques de laboratoire, la démarche expérimentale.

Pour construire la pré-structuration du protocole, nous nous sommes également appuyés sur la praxéologie de référence afin de dégager des types de tâches qui pourront être à la charge de l'élève et qui présentent des difficultés identifiées. En effet, le croisement des résultats de l'analyse des difficultés *a priori* et des difficultés réelles identifiées lors d'une pré-expérimentation en classe, nous a permis d'en sélectionner certaines, comme celles liées à la non distinction entre respiration et fermentation cellulaire (Flores et *al.*, 2003 ; Songer et Mintzes, 1994), à l'utilisation d'un organisme unicellulaire comme la levure (Schneeberger et Rodriguez, 1999 ; Flores et *al.*, 2003), et celles relatives au concept de réaction chimique (Barlet et Plouin, 1994 ; Carretto et Viovy, 1994).

Puis, nous avons transposé l'organisation praxéologique obtenue après modélisation dans le logiciel Copex. Pour cela, nous avons extrait des types de tâches génériques que nous

avons définis comme étant des étapes du protocole dans Copex. Ces étapes sont imposées à l'élève dans le logiciel et ne peuvent être modifiées. Enfin, pour chacune d'elles nous avons défini des actions génériques qui, une fois sélectionnées, donnent accès au détail de l'action dont les paramètres prédéfinis pourront être choisis par les élèves. Les propositions de choix de paramètres des actions laissées à la charge des élèves ont été proposées en fonction des difficultés *a priori* auxquelles les paramètres se réfèrent. Il sera ainsi possible de réaliser des diagnostics en fonction des différentes combinaisons de choix de paramètres. Afin d'affiner le diagnostic, nous avons proposé un deuxième niveau de pré-structuration qui permet de justifier les choix 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.

Résultats

Nous avons construit un protocole pré-structuré (Tableau n°2) sur la fermentation alcoolique qui répond aux contraintes de l'implémentation dans la plate-forme LabBook. Nous l'avons réalisé à partir de la praxéologie de référence (Tableau n°1), dont voici l'extrait correspondant à la pré-structuration présentée dans le tableau n°2.

Tableau n°1 : Extrait de la praxéologie de référence du type de tâche « placer les microorganismes dans les conditions du milieu »

<ul style="list-style-type: none"> • T'₂₁₁ : prélever une quantité x de suspension de levure nécessaire à l'expérimentation • T'₂₁₂ : placer la suspension de levures dans les conditions du milieu <ul style="list-style-type: none"> T'₂₁₂₁ : placer la suspension à tester en anaérobie τ'_{2121} : suppression des apports en dioxygène <ul style="list-style-type: none"> ○ t'_{21211} : maintenir l'agitation au minimum ○ t'_{21212} : supprimer le bulleur ○ t'_{21213} : placer un bouchon hermétique 'percé' θ_{2121} : l'agitation réglée au minimum permet de maintenir les levures dans une suspension homogène qui les mettra au contact des réactifs. Cependant la diminution de l'agitation et la mise en place d'un bouchon hermétique permettent de supprimer les apports en dioxygène tout en laissant la possibilité d'injecter le réactif

Le type de tâche « placer les microorganismes dans les conditions du milieu » se réalise selon une technique τ' [T'_{211} ; T'_{212}]. Le sous type de tâche T'_{2121} s'exécute selon une technique τ'_{2121} qui regroupe trois tâches [t'_{21211} ; t'_{21212} ; t'_{21213}]. Elle se justifie par la technologie θ_{2121} . A partir de ces éléments de la praxéologie de référence, et afin de construire une pré-structuration de protocole dans le cadre de l'institution, nous allons sélectionner certains types de tâches ou tâches, afin de nous replacer dans les contraintes de l'institution, et plus précisément dans celle d'un établissement (on parlera ainsi de praxéologie institutionnelle). Ainsi, les tâches t'_{21211} et t'_{21212} n'apparaîtront pas dans les actions du protocole pré-structuré, car elles sont peu réalisables en classe en terme de disponibilité de matériel. Ainsi, pour l'extrait de l'organisation praxéologique présenté dans le tableau n°1, nous proposons la pré-structuration correspondante dans le tableau n°2.

Tableau n°2 : Extrait d'une proposition de pré-structuration du protocole et de sa justification (étape 2) pour le type de tâche « placer les microorganismes dans les conditions du milieu »

Étapes	Actions	Paramètres proposés
Placer les microorganismes dans des conditions propices à la fermentation	<p>- prélever une solution : Prélever (a) mL de (b) à l'aide d'une éprouvette graduée et les placer dans un tube à essai de 40 mL : (c)</p> <p>- Fermer un contenant : (a) sur le tube à essai de la (b) afin (c) les apports en <u>O₂ : la suspension est en condition (d)</u></p>	<p>(a) : (10, 20, 30, 40) (b) : (glucose, alcool, suspension de levures, bactérie, eau de chaux, bichromate de potassium, eau) (c) : (suspension à tester n°1, suspension à tester n°2, suspension témoin)</p> <p>(a) : (Placer un bouchon, placer un bouchon percé, ne rien placer) (b) : (suspension à tester n°1, suspension à tester n°2, suspension témoin) (c) : (de limiter, de laisser) (d) : (aérobie, anaérobie)</p>

Ce protocole comporte trois niveaux. Le niveau étape (la colonne de gauche du tableau n°2 montre une des six étapes du protocole) reprend les types de tâches génériques de la praxéologie de référence. Pour chaque étape nous avons défini des actions à choisir dans une liste. Pour chaque action, des paramètres sont à choisir (lettres) dans une liste de propositions données dans la dernière colonne appelée « paramètres proposés ». De plus, nous retrouvons pour certaines actions, le deuxième niveau de pré-structuration concernant les justifications (soulignées) de choix de paramètre. Ces dernières fonctionnent sur le même principe que celui décrit précédemment. 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. L'élève choisit dans une liste d'actions génériques (en gras) celle qu'il souhaite faire apparaître dans son protocole et complète l'action pré-structurée détaillée qui lui est donnée. Par exemple l'élève qui souhaite utiliser l'action générique « fermer un contenant » dans son protocole complètera l'action pré-structurée « (a) sur le tube à essai de la (b) » en sélectionnant une proposition dans une liste de choix définis, qu'il justifiera en complétant la justification pré-structurée « afin de (c) les apports en O₂ : la suspension est en (d) ». Ceci est valable pour l'ensemble des actions proposées. Il s'agit là d'une proposition de protocole, et de justification entièrement pré-structurés.

Enfin, nous avons élaboré deux autres types de protocoles. Un protocole qui présente une pré-structuration uniquement par la présence des étapes, les actions étant libres. Et un protocole avec une pré-structuration au niveau des actions, mais qui laisserait la possibilité à l'élève de proposer des justifications par un texte libre.

De plus, l'extrait présenté dans le tableau n°2, permet de montrer comment la pré-structuration prend en charge une des difficultés identifiées *a priori*. En effet, le travail de Flores et al. (2003) a mis en évidence une difficulté relative à la nécessité de placer les microorganismes en anaérobie, afin de réaliser un métabolisme fermentaire. La pré-structuration proposée, permet de la prendre en charge, avec notamment l'action « fermer un contenant » de l'étape « placer les microorganismes dans les conditions propices à la fermentation ». Pour cela, nous proposons un choix de paramètres d'action (a), élaborés en

fonction des erreurs *a priori* des élèves, de même qu'un choix de paramètres de justification (c) (d) associé. Ainsi, à chaque difficulté identifiée *a priori*, correspond une ou des actions justifiées pré-structurées, comprenant des choix de paramètres choisis 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*.

Perspectives

Ce travail a permis d'identifier différents niveaux de pré-structuration du protocole et des justifications sur le métabolisme de la fermentation alcoolique. La pré-structuration permet de prendre en compte des difficultés identifiées *a priori* par le choix des actions pré-structurées, des paramètres des actions, et des justifications mis à disposition des élèves.

Ce travail s'inscrit néanmoins dans un questionnement plus large. En effet, dans un deuxième temps nous allons tester l'implémentation de ce modèle de protocole dans la plate-forme LabBook et le mettre à l'épreuve auprès d'élèves de terminale S. Pour cela, nous allons réaliser une expérimentation en classe de terminale scientifique de spécialité, afin d'identifier l'évolution des apprentissages selon les trois niveaux de pré-structuration de protocoles et de leur justification proposés, et effectuer un diagnostic des erreurs identifiées.

Références bibliographiques

- Barlet, R., Plouin, D. (1994) L'équation bilan en chimie un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *ASTER*, n° 18, 28-56.
- Beaufils, D., Larcher, C. (1999). L'expérimental en classe. *ASTER*, n° 28, 1-8.
- Bosch, M., Chevallard, Y. (1999) La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 19(1). Grenoble : La Pensée Sauvage. 77-124.
- Brousseau, G. (1998) *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Carretto, J., Viovy, R. (1994) Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique, *ASTER*, n°18, 12-26.
- Chaachoua, H., Ferraton, G., Desmoulins, C. (2013) Utilisation du modèle praxéologique de référence dans un EIAH. In *Actes du 4e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique*, Toulouse.
- 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., Bourgeois-Victor, P., Desbeaux-Salviat, B. (1999) Résistance du réel dans les pratiques expérimentales. *ASTER*, n° 28, 79-105.

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.

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.

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

Songer, C., Mintzes, J. (1994) Understanding cellular respiration: an analysis of conceptual change in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, n°31, 621-637