HAL
open science

Diabolo, une simulation pour l'apprentissage des métabolismes

Catherine Bonnat, Viviane Gueraud, Anne Lejeune, Patricia Marzin-Janvier

To cite this version:

Catherine Bonnat, Viviane Gueraud, Anne Lejeune, Patricia Marzin-Janvier. Diabolo, une simulation pour l'apprentissage des métabolismes. Séminaire Inter Laboratoires sur l'Education Scientifique et Technologique :Education scientifique et technologique pour tous, Apr 2019, Patras, Grèce. pp.71-79. hal-02015408v2

HAL Id: hal-02015408

https://hal.science/hal-02015408v2

Submitted on 6 May 2019

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.

Diabolo, une simulation pour l'apprentissage des métabolismes

CATHERINE BONNAT[1], VIVIANE GUERAUD[1], ANNE LEJEUNE[1], PATRICIA MARZIN-JANVIER[2]

[1]Université Grenoble Alpes
CNRS
Grenoble INP, LIG, F-38000 Grenoble
France
Catherine.bonnat@univ-grenoble-alpes.fr
Viviane.gueraud@univ-grenoble-alpes.fr
Anne.lejeune@univ-grenoble-alpes.fr

[2]Université de Brest, Université de Rennes
CREAD
F-29200 Brest
France
patricia.marzin-janvier@espe-bretagne.fr

ABSTRACT
This paper presents an interactive web simulation (SimDiabolo), designed by education and computer education researchers. The activity, proposed to students from 15 to 17 years old, is about designing an experimental procedure to highlight alcoholic fermentation in biology. In order to help students in this complex task, fixed and adaptive scaffolds have been designed and implemented in the simulation. The anthropological theory of the didactic has been used for modeling errors and designing scaffolds. The simulation can also be connected to present software FORMID, which can modify the actual script implemented in SimDiabolo and offer different scripts with different scaffolds. Experimentations will take place this year in biology class in high school (France).

KEYWORDS
Web simulation, experimental design, adaptive scaffolds, biology, high school

RÉSUMÉ
Nous proposons dans cette communication le résultat de la co-construction entre didacticiens des sciences et informaticiens, d'une simulation web interactive (SimDiabolo) à destination d'élèves de 15-17 ans. Elle propose actuellement une activité de conception expérimentale sur le thème de la fermentation alcoolique. Pour aider les élèves dans cette tâche complexe nous avons intégré des étayages fixes et adaptatifs. Les différentes aides ont été conçues à partir d'une analyse didactique de l'erreur selon le cadre de la théorie anthropologique du didactique. Grâce à la connexion avec la suite logicielle FORMID, il est possible de scénariser différentes situations d'utilisation de SimDiabolo et notamment de proposer des niveaux d'étayage différenciés. Les différents scénarios seront testés in situ dans des classes de lycée en France cette année.

MOTS-CLÉS
Simulation interactive, conception expérimentale, étayages adaptatifs, biologie, lycée

CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Cette communication présente une recherche sur l'étayage par un EIAH (Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain) de l'activité de conception expérimentale en biologie. L'activité de conception expérimentale est une étape d'une démarche expérimentale pour laquelle il existe différents modèles. Selon Pedaste et al. (2015) elle est composée de différentes phases dont une phase d'investigation durant laquelle les élèves peuvent concevoir et réaliser des expériences. De nombreuses études ont mis en lumière les enjeux et l'intérêt de cette démarche (Calmette & Boilevin, 2014; Etkina, Karelina & Ruibal-Villasenor, 2010) dans l'enseignement des sciences à l'école. En effet, la conception d'un protocole expérimental permet aux élèves de s'impliquer davantage dans la démarche et de faire les liens entre les activités pratiques et les concepts en jeu (Coquidé, 2000). Cependant, cela reste une tâche complexe car les élèves perdent de vue le problème posé (Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007) et rencontrent des difficultés dans l'écriture du protocole (Marzin-Janvier, 2013). Ces difficultés méthodologiques et épistémologiques nécessitent des aides qui peuvent être conçues à partir de l'identification des difficultés des élèves (Quintana, et al., 2004). Ces aides peuvent être fixes, c'est-à-dire identiques pour tous les élèves, ou adaptatives, c'est-à-dire délivrées au moment approprié pour répondre à un besoin d'un élève (Azevedo, Cromley & Seibert, 2004). L'efficacité de ces aides apportées par un environnement informatique a fait l'objet de nombreuses études. Nous retiendrons que, selon McManus (2000) l'étayage fixe est insuffisant pour aider individuellement les élèves, ce qui rejoint les travaux de Puntambekar & Kolodner (2005) dans lesquels ils ont montré la nécessité de combiner plusieurs formes d'étayages pour aider les élèves dans ce type d'activité. Enfin, Azavedo et al. (2004) précisent que l'étayage adaptatif aide davantage les élèves car ils activent leurs acquis antérieurs et s'investissent davantage dans la tâche qui leur ait proposée.

Le travail présenté poursuit le travail de thèse de Bonnat (2017) dont un des objectifs visait à aider les élèves de lycée (15-17 ans) à concevoir une expérience pour dégager les caractéristiques du métabolisme de la fermentation alcoolique des levures dans le cadre de l'enseignement des sciences de la vie et de la terre au lycée en France. La réaction se caractérise par une consommation de glucose et une production d'alcool et de dioxyde de carbone, et est dépendante de la teneur en dioxygène du milieu (anaérobie stricte) et de sa température. Les élèves ont conçu leurs expériences en utilisant la plateforme LabNbook dotée d'étayages fixes (documents ressources et pré-structuration du protocole). Les résultats obtenus ont montré l'efficacité de ce type d'étayage sur la communicabilité (structuration du protocole en étapes et actions paramétrées) et la pertinence des protocoles produits par les élèves, mais ont aussi fait ressortir des erreurs conceptuelles récurrentes identifiées dans la littérature (Bonnat et al., 2018). Par exemple, les élèves ont fait des erreurs en lien avec les concepts d'anaérobie et de dissolution des gaz, en ne choisissant pas des volumes de solutions pertinents. Or, ils disposaient d'une aide fixe sur le concept d'anaérobie dans les documents ressources.

Ainsi, à partir de ces résultats et des éléments issus de la littérature sur l'étayage de l'activité de conception expérimentale par un EIAH, nous faisons l'hypothèse que la mise en place d'étayages adaptatifs complémentaires aideraient davantage les élèves en ciblant au moment approprié les erreurs détectées.

Dans ce but, nous avons développé une simulation en ligne autonome, dédiée à la conception d'un protocole expérimental sur le thème de la fermentation alcoolique. Cette simulation serait dotée d'étayages fixes au moins équivalents à ceux proposés par LabNBook, ainsi que d'étayages adaptatifs suffisants pour que les élèves ne soient pas entravés par des erreurs liées à des concepts non objet d'apprentissage. Parallèlement, nous avons projeté d'augmenter le potentiel d'étayage adaptatif de cette simulation en l'interfaçant avec la suite logicielle FORMID (Lejeune & Guéraud, 2012), dédiée à la scénarisation, à l'exécution et au suivi de situations d'apprentissage. Le faisant, nous pouvions envisager de modéliser dans des scénarios FORMID les erreurs liées aux concepts objets d'apprentissage et d'y associer des rétroactions délivrées lors de la détection de ces erreurs, au fil des interactions des élèves avec la simulation.

Cela nous a conduits à collaborer entre didacticiens et informaticiens pour d'une part concevoir la simulation SimDiablo et d'autre part assurer sa communication avec FORMID.

CADRE THÉORIQUE ET QUESTIONS DE RECHERCHE

Le travail didactique de modélisation des connaissances et des erreurs, pour concevoir la situation cible ainsi que l'ensemble des étayages, a été réalisé en amont. Nous avons pour cela utilisé le cadre de la théorie anthropologique du didactique et plus précisément l'approche praxéologique (Bosch & Chevallard, 1999) qui 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. Chevallard distingue trois praxéologies dont la praxéologie personnelle qui prend en considération les connaissances de l'apprenant. Ces dernières modélisent les écarts entre les attentes institutionnelles et les perceptions des élèves et peuvent également être décrites par des quadruplets (T, t, τ, θ) intégrant des techniques (savoir-faire) et des technologies (savoirs) qui ne sont pas nécessairement valides (Croset & Chaachoua, 2016).

Prenons l'exemple d'un des types de tâches de notre situation cible *T : « placer les microorganismes en anaérobie »*. La technique *τ : supprimer le dioxygène* relative à cette tâche et conforme aux attentes institutionnelles, se décrit en trois sous types de tâches :

t_0 : prélever x ml de suspension de levures et les verser dans un contenant (y mL)
t_1 : ajouter z mL de glucose dans la suspension de levures
t_2 : fermer le tube à essai avec bouchon hermétique
(x + z = y)

Elle est justifiée par une technologie du domaine de la chimie *« les gaz présents dans un milieu se dissolvent dans les liquides »*.

La description de l'activité dans ce cadre croisée avec l'analyse des conceptions et obstacles, nous a permis de modéliser et de transposer une situation d'apprentissage dans l'EIAH, et de proposer des étayages fixes ciblés à la fois sur les difficultés de rédaction du protocole avec la proposition d'une pré-structuration en étapes et actions paramétrées, mais aussi sur les difficultés conceptuelles en lien avec la fermentation alcoolique. Par exemple, l'analyse de la littérature nous a permis d'identifier des conceptions et des obstacles chez les élèves liées à la matérialité du gaz (Laugier & Dumont, 2004) qui pourraient être à l'origine d'erreurs.

Nous avons pris en compte ces difficultés pour élaborer des praxéologies personnelles (Bonnat, 2018) qui traduisent les possibles erreurs portant sur la technique de résolution de la tâche, et pour lesquelles nous avons modélisé des technologies invalides.

Pour le type de tâches précédent, il existe, entre autres, une technique invalide où le volume total de la solution créée est inférieur à la capacité du contenant ($x + z < y$).
La technologie invalide qui justifie cette technique invalide, exprime la non prise en compte des gaz présents et leur dissolution dans la suspension, ce qui a été identifié dans les travaux de Laugier & Dumont (2004) comme étant la conséquence de l'obstacle aperceptif des gaz.

Les difficultés récurrentes des élèves ayant été identifiées, il devenait possible de les formaliser à des fins de détection dynamique. Il nous restait à répondre aux questions de recherche suivantes : Quels étayages adaptatifs peuvent aider les élèves dans l'activité ciblée ? Parmi ces étayages, lesquels intégrer à la simulation et lesquels laisser à la charge de scénarios FORMID ?

CONCEPTION DE L'ENVIRONNEMENT

SimDiabolo peut être utilisée en mode autonome ou en mode connecté à FORMID. La situation d'apprentissage a été élaborée à partir de résultats antérieurs (Bonnat, 2017, 2018) : modélisation praxéologique de la tâche croisée avec une analyse *a priori* des difficultés des élèves, étayage à l'aide de documents ressources et par pré-structuration des actions du protocole (Figure 1A/B). Elle comporte 4 phases : introduction / collecte du matériel / conception du protocole / simulation de l'expérience. L'élève peut effectuer des allers retours d'une phase à l'autre.

L'analyse didactique réalisée en amont a permis l'élaboration de praxéologies personnelles (Figure 1C), qui modélisent *a priori* les erreurs des élèves pour lesquelles nous proposons des étayages adaptatifs (Figure 1D). Ces étayages sont notamment matérialisés par des rétroactions délivrées à l'élève lors de la détection d'erreurs.

Nous avons réparti la prise en charge des rétroactions selon les concepts en jeu :

(a) *Concepts qui ne sont pas objectif d'apprentissage au lycée (NOA)* : nous avons intégré dans la simulation les rétroactions associées aux erreurs relatives à ces concepts ; l'enseignant ne peut pas en modifier la teneur, mais elles constituent un degré minimum d'étayage destiné à aider l'élève à concevoir un protocole pertinent.

(b) *Concepts objectifs d'apprentissage au lycée (OA)* : nous avons laissé à la charge de scénarios FORMID (Figure 1E) les rétroactions associées aux erreurs relatives à l'un de ces concepts ; l'enseignant et/ou le chercheur peut alors déterminer le niveau d'étayage désiré. Selon le concept visé et les difficultés qu'il suscite, différents types de messages peuvent être proposés (question ou information visant la mobilisation par l'élève d'une technologie (savoir) ou d'une technique (savoir-faire).

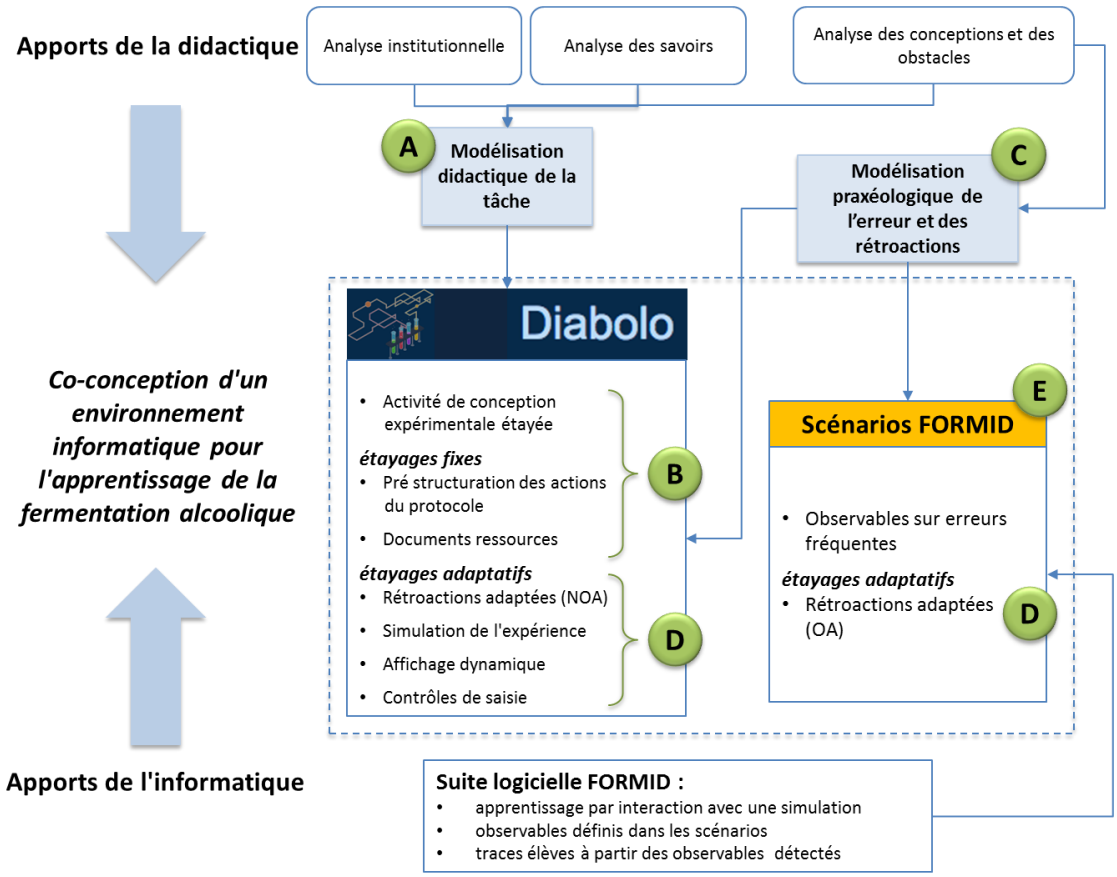
À cela nous ajoutons la détection d'erreurs qui ne sont pas en lien avec l'analyse didactique, comme les erreurs de saisie, mais pour lesquelles nous proposons également des rétroactions.

Nous détaillons ci-dessous les étayages adaptatifs que nous avons mis en place.

Étayages adaptatifs intégrés à la simulation SimDiabolo (concepts NOA)

Pour concevoir leur protocole avec SimDiabolo (Figure 2), les élèves disposent d'une liste d'actions qu'ils « glissent » dans leur « protocole ». Pour chaque action, ils doivent compléter un texte à trous avec des valeurs de paramètres. Ces derniers peuvent être des valeurs numériques à saisir (ex : volume prélevé) ou des valeurs à choisir dans une liste dépendant des matériels collectés (ex : ballon de 100 ml).

FIGURE 1



Méthodologie de co-construction de la simulation SimDiabolo

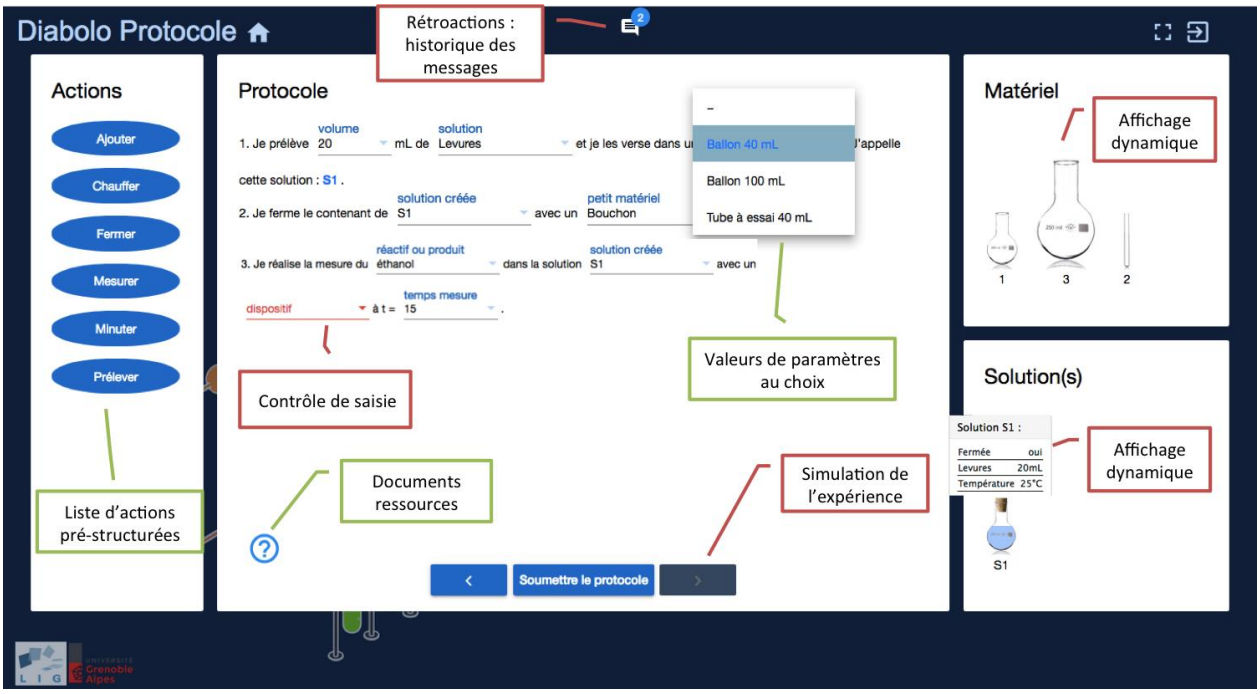
Les différents types d'étayage adaptatifs proposés sont :

- un contrôle de saisie aidant à identifier les champs non remplis mais néanmoins nécessaires pour la simulation de l'expérience ;
- l'enrichissement du milieu au fur et à mesure de la complétion/modification du protocole par l'affichage dynamique des caractéristiques des solutions créées ;
- des rétroactions textuelles (message) suite au choix d'une valeur de paramètre d'action inappropriée. Par exemple, si l'élève choisit de mesurer l'éthanol présent dans une solution avec un glucotest, il reçoit alors le message « *Quelle est la fonction du glucotest ? Consultez les documents ressources* » ; ce type de rétroaction vise la mobilisation par l'élève qui la reçoit d'une technologie valide afin de corriger son erreur.
- la simulation de l'expérience

Étayages adaptatifs configurables ou définis via des scénarios FORMID (concepts OA)

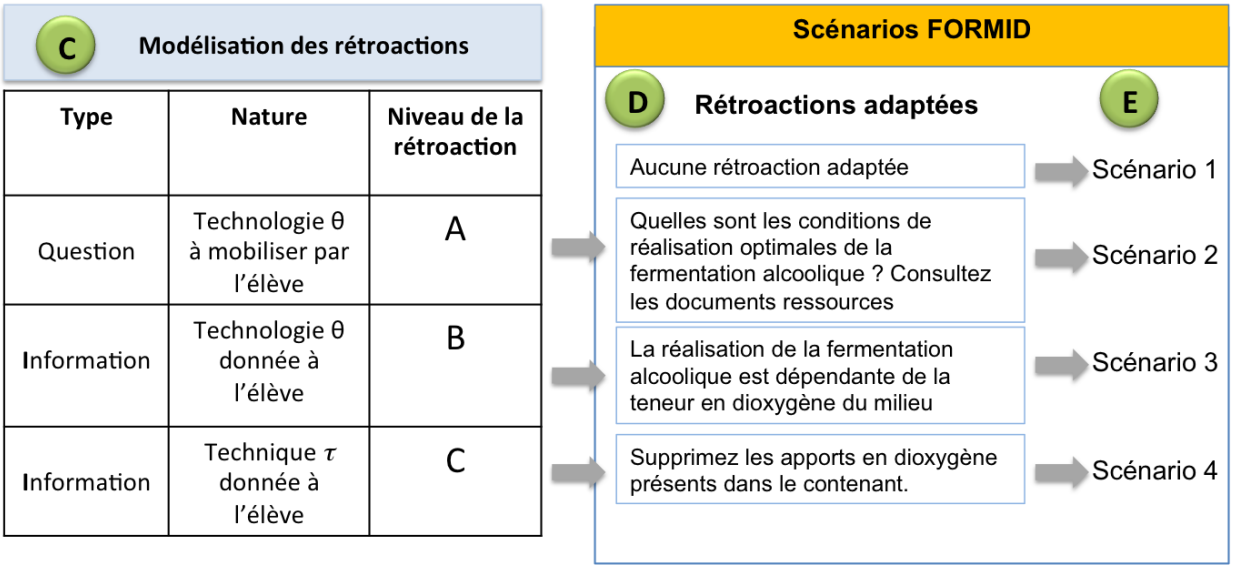
Lors de la conception d'un scénario FORMID pour SimDiabolo, il est possible de configurer la simulation (matériel disponible / nombre de messages différents suite à détection d'une erreur, résultats de l'expérience qualitatifs et/ou quantitatifs). La mise en place d'étayages adaptatifs portant sur des concepts OA, dépend des composants du scénario. Les erreurs que l'on souhaite étayer sont modélisées par des observables, et donneront lieu lors de leur détection à la délivrance d'une rétroaction textuelle (mécanisme "observable/observé").

FIGURE 2



Étayages de la conception de protocole dans SimDiabolo

FIGURE 3



C — Modélisation des rétroactions

Type	Nature	Niveau de la rétroaction
Question	Technologie θ à mobiliser par l'élève	A
Information	Technologie θ donnée à l'élève	B
Information	Technique τ donnée à l'élève	C

Scénarios FORMID

D — Rétroactions adaptées — E

- Aucune rétroaction adaptée → Scénario 1
- Quelles sont les conditions de réalisation optimales de la fermentation alcoolique ? Consultez les documents ressources → Scénario 2
- La réalisation de la fermentation alcoolique est dépendante de la teneur en dioxygène du milieu → Scénario 3
- Supprimez les apports en dioxygène présents dans le contenant. → Scénario 4

Rétroactions adaptées et conception de scénarios : exemple de rétroactions adaptées à partir de la détection d'erreurs portant sur le concept d'anaérobie (cf. p2)

Par exemple, les erreurs relatives au concept d'anaérobie peuvent être détectables à partir d'observables modélisant des combinaisons de valeurs de paramètres d'actions du protocole (volume de l'ensemble des solutions du contenant < au volume du contenant). Les rétroactions générées peuvent relever de différents niveaux. En effet, nous avons modélisé des « niveaux » de

rétroaction (Figure 3C) en croisant les classifications développées dans les travaux de Shute (2008) et Zacharia et al. (2015) avec des éléments de la modélisation praxéologique des connaissances. Par exemple, si une erreur est détectée, la rétroaction de niveau A envoyée aux élèves consiste à poser une question qui vise à mobiliser la technologie relative au concept en jeu nécessaire à la résolution de la tâche. Le niveau B consiste à donner la technologie aux élèves, et le niveau C consiste à leur donner la technique de résolution de la tâche. Ces aides graduelles participent à la conception de différents scénarios selon le degré de prise en compte des difficultés des élèves (Figure 3E).

Le concepteur d'un scénario peut définir autant d'observables que désiré et pour chacun, choisir le type de message délivré (question, information) ainsi que sa nature (technologie ou technique).

Ce travail a été réalisé pour l'ensemble des concepts en jeu et des erreurs relatives modélisées *a priori*.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons développé un environnement informatique pour aider les élèves dans une activité de conception expérimentale sur les métabolismes, en croisant des travaux de didactique et d'informatique. La prise en compte des erreurs nous a conduits à proposer des étayages spécifiques. Nous avons fait le choix de développer une simulation web interactive SimDiabolo qui soit autonome, et connectable à FORMID de façon à enrichir la situation d'apprentissage par des étayages adaptatifs portant sur les concepts en jeu. Nous avons conçu des scénarios proposant des niveaux d'étayages différents que nous allons expérimenter en classes de 2nde et de terminale scientifique en SVT. Notre objectif est de montrer l'influence des étayages, et plus particulièrement les niveaux de rétroactions, sur les protocoles produits par les élèves. Pour cela, nous allons réaliser un groupe témoin (sans les rétroactions) et trois groupes tests relatifs aux trois niveaux de rétroaction. À partir des traces de l'activité des élèves, nous analyserons l'évolution des protocoles produits en fonction des aides apportées en temps réel aux élèves (rétroactions) lors de la détection d'une erreur, et des aides utilisées pendant la conception du protocole (documents ressources). L'analyse des résultats des expérimentations nous permettra à terme d'affiner nos étayages et d'étendre SimDiabolo à des activités sur l'ensemble des métabolismes cellulaires.

RÉFÉRENCES

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.

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. In *Préactes du 6e congrès international de la Théorie*

Anthropologique du Didactique (CITAD) (pp. 467-481). Retrieved from https://citad6.sciencesconf.org/resource/page/id/8.

Bonnat, C., Marzin, P., & Girault, I. (2018). Rapport au vivant et à l'expérimental, dans une situation d'apprentissage de la fermentation alcoolique avec un environnement informatique. Symposium « rapport au vivant et à l'expérimental ». *In ARDIST (éd.), Actes des dixièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST. ARDIST: Saint Malo,* (sous presse).

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.

Calmette, B., & Boilevin, J.-M. (2014). Le modèle investigation-structuration et l'actualité des tensions autour des constructivismes. *Recherche en Didactique des Sciences et Technologies, 9*, 103-128.

Coquidé, M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant.* Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Paris-Sud, France.

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), 1-34.

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.

Hmelo-Silver, C., 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.

Laugier, A., & Dumont, A. (2004). L'équation de réaction: Un nœud d'obstacles difficilement franchissable. *Chemistry Education: Research and Practice, (5)*1, 51-68.

Lejeune, A., & Guéraud, V. (2012). Embedding observation means into the learning scenario: Authoring approach and environment for simulations-based learning. In *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (ICALT) (pp. 273-275). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.

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

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.

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.

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.

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.

Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research, 78*(1), 153-189.

Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., Jong, T. de, Pedaste, M., Riesen, …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.