

Modèle de construction d'un EIAH pour une activité de conception expérimentale

Building model of an EIAH for an experimental design activity

Isabelle Girault ¹

Université Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LIG, F-38000 Grenoble,
France

<https://orcid.org/0000-0002-6618-3079>

Claire Wajeman ²

Université. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LIG, F-38000 Grenoble,
France

<https://orcid.org/0000-0002-9864-2567>

Cédric D'ham ³

Université. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LIG, F-38000 Grenoble,
France

<https://orcid.org/0000-0002-7313-7097>

Résumé

Nous présentons et discutons l'utilisation de modélisations praxéologiques dans une activité de conception d'expériences en sciences expérimentales. Nous avons modélisé la tâche de l'élève de production d'un protocole expérimental en couplant des « types de tâche de conception » au modèle praxéologique de la manipulation. Ce modèle enrichi nous a servi pour concevoir un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH), TitrAB, dédié à la conception d'expériences de titrage en chimie, à la fois dans la sélection des tâches de l'activité travaillées dans TitrAB ainsi que dans la production de rétroactions automatiques.

Mots-clés : Protocole expérimental, Environnement Informatique pour l'apprentissage Humain, Rétroactions automatiques.

¹ isabelle.girault@imag.fr

² claire.wajeman@imag.fr

³ cedric.dham@imag.fr

Abstract

We describe and discuss the use of the praxeological model in an experimental design activity in experimental science. We model the student's task in the production of an experimental procedure, by introducing "Conception Task Types" to the praxeological model of the experiment. This extended model was used to design TitrAB, a software dedicated to an experimental design situation in Chemistry, in two ways: the selection of the activity tasks in TitrAB and the production of automatic feedback to the student's protocol.

Keywords: Experimental procedure, Software dedicated To an experimental design situation, Automatic feedback.

Modèle de construction d'un EIAH pour une activité de conception expérimentale

Les spécificités d'une activité de conception expérimentale

Notre recherche se situe dans le champ de l'apprentissage des sciences expérimentales, biologie, chimie et physique, au lycée et dans l'enseignement universitaire. Ces disciplines comportent des activités expérimentales, désignées traditionnellement par le terme de travaux pratiques (TP). Nous nous intéressons spécifiquement à la conception des expériences par les élèves en TP. Les recherches sur les activités de conception expérimentale montrent que la conception expérimentale permet aux élèves de donner du sens aux activités expérimentales, de mieux relier les aspects expérimentaux et théoriques, d'acquérir des compétences proches de celles de scientifiques professionnels, en particulier concernant la construction de connaissances et la résolution de problèmes expérimentaux (Etkina et al., 2010 ; Wajeman et al, 2016).

Ce type d'activité entre dans la catégorie des démarches d'investigation, préconisées dans les programmes du secondaire français et dans la catégorie des pédagogies actives.

Suivant une pratique pédagogique bien établie en TP, les élèves travaillent en petites équipes et en "autonomie" à partir de consignes écrites sous la tutelle d'un enseignant. Ces consignes prescrivent, entre autres tâches, une manipulation expérimentale. Dans ce type de TP, parfois qualifié dans la littérature de "recette de cuisine", la tâche des élèves est de mettre en œuvre la manipulation en suivant un protocole expérimental qui leur est fourni sous forme écrite.

Le protocole expérimental décrit et ainsi formalise la manipulation à mettre en œuvre pour réaliser l'expérience. Le protocole expérimental est un objet scientifique authentique, caractéristique des pratiques de laboratoire des sciences expérimentales.

Dans une activité de conception expérimentale, le protocole n'est pas fourni aux élèves qui doivent concevoir tout ou partie de l'expérience et produire le protocole.

Nous nous intéressons depuis plusieurs années au protocole expérimental et à sa production par les élèves. Nous considérons la production du protocole expérimental comme un élément central de la démarche d'investigation, en ce qu'elle prend sa source dans une définition précise des objectifs expérimentaux, passe par la mise au point (l'expérience doit être exécutable) et la description minutieuse de l'expérimentation (le protocole doit être communicable) et doit faire la preuve de son adéquation avec les objectifs scientifiques initialement fixés (l'expérience doit être pertinente) (Girault et al, 2012). Au cours de leur scolarité, les élèves développent une familiarité avec cet objet qui accompagne toute activité de manipulation en classe. La conception expérimentale et l'écriture d'un protocole apparaissent explicitement dans les programmes actuels de lycée, en particulier dans la rubrique des compétences expérimentales. Toutefois, les documents de TP fournis aux élèves altèrent fréquemment la forme du protocole pour des raisons didactiques et la perception des élèves de ce qu'est un protocole peut être ainsi modifiée (Girault et al, 2012).

Étayage de la conception expérimentale par un environnement informatique : le logiciel TitrAB

La conception expérimentale est une tâche complexe qui nécessite un accompagnement des élèves de manière à rendre la tâche réalisable. L'objectif de nos travaux est de développer des outils qui accueillent l'activité de conception expérimentale des élèves et peuvent alléger la tâche de l'enseignant. L'accompagnement des élèves est partagé entre l'enseignant et l'Environnement Informatique d'Apprentissage Humain (EIAH). Nous nous intéressons ici à deux types d'accompagnement par l'EIAH, le premier étant un étayage fixe qui structure la tâche de l'élève. Le second est un étayage adaptatif,

consistant à produire des rétroactions vers un élève suite à un diagnostic effectué sur son activité dans l'EIAH (Hmelo-Silver et al., 2007 ; Girault & d'Ham, 2014).

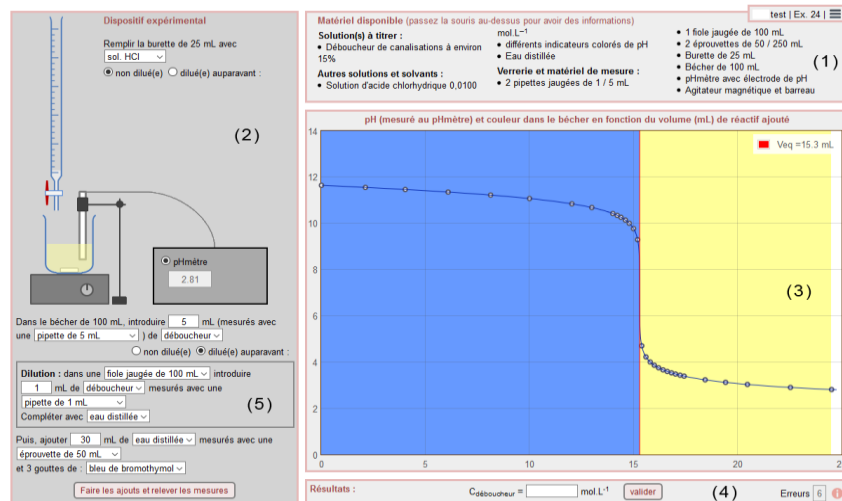
Cet article sera illustré par un exemple expérimental en chimie, le titrage, pour lequel nous avons développé un EIAH (Titrab, <http://titrab.imag.fr/>) qui s'adresse à des élèves de terminale et de formations post bac. Actuellement TitrAB est utilisé avec environ 600 étudiants à l'université. Il permet à des élèves de s'entraîner à concevoir une expérimentation de titrage acide-base et à l'exploiter. Seize situations de niveaux différents sont proposées. Dans chacune d'elles, l'élève doit déterminer avec précision la valeur de la concentration d'une solution (qui dépend de la situation). Pour cela, il doit fixer les différents paramètres du titrage avant de le faire exécuter par une simulation intégrée. Un tuteur intelligent fournit aux élèves des messages de rétroaction personnalisés en fonction des erreurs commises.

L'interface du logiciel comporte plusieurs parties ayant chacune une fonction (figure 1). Le cadre (1) indique le matériel et les solutions disponibles.

La conception de l'expérience se fait par l'intermédiaire du cadre (2). Une forte structuration est proposée pour aider l'élève dans cette activité. L'élève doit notamment indiquer les solutions à introduire dans la burette graduée et le bécher, leur volume ainsi que la verrerie utilisée. S'il choisit d'effectuer une dilution sur une des solutions, l'utilisateur fait apparaître un cadre (5) pour paramétrer la réalisation de cette dilution. Ces choix nécessitent d'avoir bien compris ce qu'est l'équivalence d'un titrage et comment est réalisé, en pratique, un titrage pH-métrique.

Figure 1

Interface du logiciel TitrAB.



Une fois les renseignements du cadre (2) indiqués, l'utilisateur clique sur « Faire les ajouts et relever les mesures ». Si les paramètres choisis décrivent une expérimentation incluse dans le domaine modélisé par la simulation, le logiciel calcule les résultats expérimentaux et affiche, dans le cadre (3), la courbe $pH = f(V)$. L'élève exploite cette courbe pour calculer la concentration de la solution titrée, et la faire valider par le logiciel dans le cadre (4).

L'élève peut faire autant d'essais qu'il le souhaite, mais, pour éviter qu'il ne procède sans raisonner par « essais-erreurs », un score calculé à partir du nombre de tentatives infructueuses (ou erreurs) est indiqué dans le cadre (4).

Objectif de cet article

Nous souhaitons présenter et discuter ici l'utilisation des outils praxéologiques (Bosch & Chevillard, 1999) pour modéliser une activité de conception expérimentale. D'une part nous avons modélisé la tâche de l'élève dans la production d'un protocole expérimental en introduisant des types de tâches de conception. D'autre part, à travers l'exemple de TitrAB, nous illustrons en quoi la notion de praxéologie peut être utile pour la production de rétroactions automatiques.

Modélisation praxéologique de l'activité de conception expérimentale

L'exemple décrit dans cette partie est une activité de dilution lors d'un titrage, courante au lycée et à l'université et qui correspond à une partie de l'activité dans TitrAB (cadre 5). Nous donnerons ici uniquement des exemples simples permettant d'illustrer l'utilisation de la praxéologie, sans entrer dans la complexité d'un problème de dilution. Le protocole de dilution correspond à un ensemble de tâches. Nous avons construit un protocole générique, désigné sous le terme de protocole de référence. C'est un outil de recherche dont le rôle est de servir de référence pour analyser l'activité proposée aux élèves, ainsi que les protocoles produits par les élèves. Voici, ci-dessous, un extrait de ce protocole de référence pour la dilution, instancié avec un facteur de dilution $f = 10$:

- Rincer une pipette de 10 mL avec la solution d'acide citrique 1M.
- Rincer une fiole jaugée de 100 mL avec de l'eau distillée.
- Prélever 10 mL de la solution d'acide citrique 1 mol.L⁻¹ avec la pipette jaugée de 10 mL,
- Délivrer ces 10 mL dans la fiole jaugée de 100 mL.
- Compléter la fiole jaugée avec de l'eau distillée.
- Boucher et agiter par retournement.

Le Tableau 1 met en parallèle le protocole et la praxis de manipulation correspondante, soulignant la proximité entre les deux. Une technique de manipulation peut ainsi être aisément décrite. Le protocole, en décrivant précisément la succession des tâches à effectuer, constitue une instance de la technique de dilution. Les types de tâches de cette technique de dilution sont décrits par un verbe d'action et un complément comme le protocole. Ils ont le statut de type de tâche élémentaire. Cette praxis, qui modélise la manipulation, fait appel à des types de tâches que nous dénommerons T_m , « types de tâches de manipulation ». Par exemple, la tâche du protocole de dilution « Prélever 10 mL

de la solution d'acide citrique 1 mol.L^{-1} avec une pipette jaugée de 10 mL » relève du type de tâche de manipulation T_{m3} « Prélever un volume V de solution à diluer S avec une verrerie de prélèvement P ».

Tableau 1

Correspondance entre tâches et types de taches de manipulation

Protocole de référence	Types de tâche de manipulation
<p>Protocole : préparation par dilution de 100 mL de solution d'acide citrique de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ à partir d'une solution mère de concentration 1 mol.L^{-1}</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rincer une pipette jaugée de 10 mL avec la solution d'acide citrique 1 mol.L^{-1} - Rincer une fiole jaugée de 100 mL avec de l'eau distillée - Prélever 10 mL de solution d'acide citrique 1 mol.L^{-1} avec une pipette jaugée de 10 mL - Délivrer ces 10 mL dans la fiole jaugée de 100 mL - Compléter la fiole jaugée avec de l'eau distillée - Boucher et agiter par retournement 	<p>T_m : Préparer par dilution un volume V_D de solution S_D de concentration C' à partir d'une solution mère S_M de concentration C</p> <p>T_m :</p> <ul style="list-style-type: none"> - T_{m1} Rincer la verrerie de prélèvement (type G_P ; volume V_P) avec la solution à diluer S_M - T_{m2} Rincer la verrerie de préparation de la dilution (G_C ; V_C) avec le solvant s - T_{m3} Prélever le volume V_M de la solution à diluer S_M avec la verrerie de prélèvement (G_P, V_P) - T_{m4} Délivrer la solution prélevée (V_M) dans la verrerie de préparation de la dilution (G_C ; V_C) - T_{m5} Compléter à V_D avec le solvant s dans la verrerie de préparation de la dilution (G_C ; V_C) - T_{m6} Mélanger la solution S_D

Dans le cadre d'une activité de conception expérimentale, l'élève met au point l'expérience et rédige le protocole avant de réaliser la manipulation au laboratoire. La praxis de manipulation (T_m/τ_m) modélise l'activité manipulative de l'élève, qui est l'activité principale de l'élève dans un TP de type « recette de cuisine ». En revanche, dans une activité de conception expérimentale, la praxis de manipulation ne suffit pas pour décrire l'activité de l'élève, en particulier l'activité de conception expérimentale qui

produit le protocole. En effet pour être capable de décrire les tâches de son protocole, l'élève doit effectuer un travail cognitif souvent complexe, qui peut reposer par exemple sur des calculs.

Nous avons modélisé cette activité par des types de tâches que nous appelons types de tâche de conception (T_C). En nous appuyant sur le modèle praxéologique du protocole de référence, nous examinons ainsi tout ce qui demande une décision de la part de l'élève dans le protocole : un type de tâches de conception interroge soit la technique à laquelle appartient le type de tâches de manipulation considéré (décision d'inclure ce type de tâche de manipulation dans la technique), soit le type de tâche de manipulation lui-même. Dans ce cas, le type de tâche de conception explore les décisions pour chaque paramètre apparaissant dans le complément du type de tâche de manipulation.

Le Tableau 2 détaille l'exemple T_{m3} , « Prélever le volume V_M de la solution à diluer S_M ». Les types de tâches de conception concernent le choix des paramètres suivants : volume de solution V_M , nature de solution S_M , type de verrerie G_P et volume de la verrerie V_P .

Tableau 2

Description de différents types de taches de conception en lien avec un type de tâche de manipulation.

Types de tâche de manipulation (T_m)	Types de tâche de conception (T_C)
T_{m3} Prélever le volume V_M de la solution à diluer S_M avec la verrerie de prélèvement (G_P, V_P)	T_C : Concevoir T_{m3} $\mathfrak{T}_C = \{T_{C1}; T_{C2}; T_{C3}; T_{C4}\}$ <ul style="list-style-type: none"> - T_{C1} Choisir la nature S_M de la solution à prélever - T_{C2} Choisir le volume V_M de la solution S_M - T_{C3} Choisir le type de verrerie G_P utilisé pour prélever S_M - T_{C4} Choisir le volume de la verrerie V_P

Les types de tâches de conception sont justifiés par un logos qui relie l'activité expérimentale et des notions théoriques. Ainsi l'activité de conception expérimentale

permet à l'élève de mobiliser ou d'établir ces liens entre théorie et expérience, ce qui n'est pas nécessaire quand l'élève doit juste mettre en œuvre un protocole. Le Tableau 3 donne la praxéologie du type de tâches de conception T_{C3} . Il s'agit d'un exemple facile à aborder mais nous sommes conscients que du point de vue de la chimie, T_{C2} est plus riche d'un point de vue apprentissage et correspond au point central de la conception expérimentale dans le cas d'un titrage (Berthet, Girault & d'Ham, 2015).

Si l'élève mobilise correctement ses connaissances, il sait que la pipette jaugée est le type de matériel adapté pour prélever avec précision.

Tableau 3

Exemple de praxéologie pour un type de tâche de conception.

Type de tâche de conception	T_{C3} Choisir le type de verrerie G_P utilisé pour prélever S_M
Technique	Choisir le type de matériel de prélèvement le plus précis parmi la verrerie disponible (<i>choix attendu : pipette jaugée</i>)
Technologie	Connaissance de la verrerie : une pipette jaugée permet de prélever un volume donné avec précision. Le problème à résoudre (titrage) nécessite d'obtenir une valeur de concentration de la solution diluée la plus précise possible.
Théorie	Notion de concentration Incertitude de mesure

Modélisation praxéologique de l'étayage dans un EIAH

Sélection des tâches dévolues à l'élève dans TitrAB.

L'élève peut avoir à charge de concevoir tout ou partie d'un type de tâche de manipulation. La praxéologie de référence et les types de tâches de conception associés permettent de choisir les types de tâche de manipulation dont la conception est dévolue aux élèves dans TitrAB. Dans cet EIAH, l'activité de conception de l'élève va s'exprimer dans les éléments des types de tâche dont la conception est à sa charge, parce qu'il doit les exprimer dans un protocole. Les éléments à concevoir sont sélectionnés par rapport aux objectifs d'apprentissage. La praxéologie détaillée dans le Tableau 3 indique des

technologies et des théories qui sont des objectifs importants d'apprentissage en classe de terminale et en première année universitaire, en lien avec la connaissance de la verrerie et la gestion des incertitudes de mesure. Dans la tâche « Prélever 10 mL de la solution d'acide citrique 1 mol.L⁻¹ avec une pipette jaugée de 10 mL », il est du ressort de l'élève de spécifier le paramètre verrerie G_P en choisissant la pipette jaugée comme valeur de ce paramètre. La conception de certaines tâches de manipulation ne sont pas dévolues aux élèves dans TitrAB : c'est le cas du rinçage du matériel (T_{m1} et T_{m2} dans le Tableau 1) pour lequel les connaissances en jeu sont considérées comme non prioritaires au regard des objectifs d'apprentissage dans TitrAB.

Praxéologies personnelles dans TitrAB.

Par ailleurs, nous avons modélisé les erreurs possibles des élèves grâce au cadre T4TEL (Chaachoua et al., 2013), qui a permis d'introduire la notion de praxéologie personnelle (Croset, Chaachoua, 2016). Ainsi, si on reprend le type de tâche de conception T_{C3} « Choisir le type de verrerie G_P utilisé pour prélever S_M », le logiciel propose dans la liste de matériel, différentes valeurs pour le paramètre « verrerie » qui obligent l'élève à faire un choix. Les valeurs de paramètres disponibles pour les élèves dans TitrAB ont été choisies avec une intention didactique, à partir de la praxéologie de référence et des praxéologies personnelles. Le Tableau 4 détaille les praxéologies personnelles pour T_{C3} .

Tableau 4

*Praxéologies personnelles pour un type de tâche de conception (T_C). *une fiole jaugée permet de contenir un volume précis mais pas de le délivrer*

T_C	Technique personnelle	Technologie personnelle
T _{C3} Choisir le type de verrerie G _P utilisé pour prélever S _M	Prendre un bécher ou une éprouvette graduée	Absence des technologies de référence (cf. tableau 3) Ou La précision n'est pas nécessaire pour prélever la prise d'essai Ou Toutes les verreries ont la même précision.
	Prendre une fiole jaugée	La fiole jaugée est une verrerie adaptée pour un prélèvement*

Les valeurs de paramètres disponibles dans TitrAB évoluent dans les 16 situations proposées, suivant une augmentation progressive de la complexité de la tâche de l'élève. Par exemple, le choix de la solution à prélever S_M (T_{C1}) n'est pas à la charge de l'élève dans les situations les plus simples.

Utilisation du modèle praxéologique pour produire les rétroactions à l'élève

La production d'une rétroaction fait suite à un diagnostic portant sur un protocole proposé par l'élève.

Diagnostic par contraintes. Une fois qu'il a conçu son protocole expérimental, l'élève met en œuvre virtuellement l'expérimentation. Avant de simuler les résultats du titrage, TitrAB utilise un moteur de diagnostic qui évalue la proposition de l'élève. Ce moteur de diagnostic est basé sur un système de doubles contraintes (contrainte de validité et contrainte de satisfaction), tel que décrit par Ohlsson (1992). Si toutes les contraintes sont respectées, le système simule l'expérimentation, sinon il renvoie un message à l'élève lui donnant des informations sur les erreurs détectées.

Dans l'exemple du choix de la verrerie de prélèvement, deux contraintes sont testées, l'une sur le type G_P (cela correspond à T_{C3}) et l'autre sur le volume de la verrerie

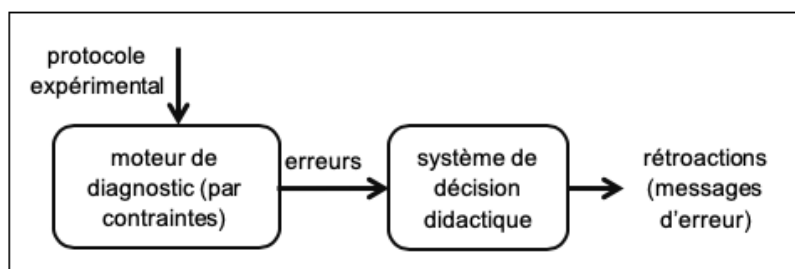
V_P (cf T_{C4}) uniquement si le type est le matériel adéquat, c'est à dire la pipette jaugée. La contrainte sur le type G_P est une contrainte de satisfaction simple, la dimension validité étant assurée par le fait qu'un champ est réservé à la verrerie de prélèvement, et la contrainte se limite alors à vérifier que le champ a bien été renseigné. C'est le cas pour une majorité des contraintes implémentées actuellement, dans TitrAB. Néanmoins, la contrainte de validité a été implémentée dans quelques cas comme celui du choix du volume V_P de la verrerie de prélèvement (T_{C4}) qui n'est pertinent que dans le cas d'une pipette jaugée. Si la contrainte de validité est respectée, alors la contrainte de satisfaction est mise en œuvre et vérifie que $V_P = V_M$ (pour des questions de précision, car utiliser plusieurs fois la même pipette conduit à une incertitude plus élevée sur la mesure qu'utiliser une seule fois une pipette de volume plus grand).

Décision didactique pour la rétroaction. Dans l'état actuel du logiciel, le système de décision didactique (voir Figure 2) est très basique. Il permet de déterminer quel message est renvoyé à l'élève lorsque des contraintes ne sont pas respectées, selon les deux règles de décision suivantes :

- à chaque contrainte correspond un unique message d'erreur qui localise dans le protocole le T_m qui contient l'erreur et qui propose quelques conseils pour la corriger,
- à chaque soumission du protocole par l'élève, est renvoyé le message d'erreur correspondant à la contrainte de plus haute priorité.

Figure 2

Système de production des rétroactions dans TitrAB.



Le tableau 5 indique pour T_{C3} et T_{C4} les contraintes mises en œuvre et les rétroactions qui sont délivrées aux étudiants.

Tableau 5

Contraintes de validité et satisfactions pour TC3 et TC4 ainsi que les rétroactions données par TitrAB à l'élève

T_C	Contrainte de validité	Contrainte de satisfaction	rétroaction niveau 1 (technique en général)	rétroaction niveau 2 (technologique en général)
T_{C3}	Aucune	$G_P = \text{"pipette jaugée"}$	Le matériel utilisé pour le prélèvement d'une dilution n'est pas adapté.	Pour le prélèvement d'une dilution, vous devez utiliser une verrerie jaugée qui permet de délivrer un volume précis de solution.
T_{C4}	Contrainte satisfaite : $G_P = \text{"pipette jaugée"}$	$V_P = V_M$ avec V_M volume de la solution à prélever	Le volume de votre prélèvement de dilution ne correspond pas au matériel utilisé.	Une pipette jaugée délivre le volume correspondant à son volume total et prélever plusieurs fois avec la même pipette diminue la précision du volume.

A l'heure actuelle, le message peut être délivré à plusieurs niveaux : à un premier niveau, le message est de nature technique et correspond à la violation de la contrainte de satisfaction (le message explicite la non-satisfaction de la contrainte) ; à un second niveau, le message est de nature technologique. L'enseignant décide si les rétroactions sont faites au niveau 1 ou au niveau 2 ou aux niveaux 1 et 2.

Ce système de décision didactique n'est pas totalement satisfaisant pour différentes raisons que nous explicitons ci-après. Nous discutons dans la partie suivante les pistes d'amélioration envisagées.

- Il y a une correspondance entre les contraintes implémentées et la praxéologie de référence, cependant les praxéologies personnelles ne sont pas exploitées. Ainsi une contrainte peut correspondre à plusieurs techniques et technologies personnelles. Le message renvoyé à l'élève est identique, quelle que soit sa technique personnelle (voir l'exemple du tableau 4).

- L'analyse des traces d'utilisation des élèves montre que les messages renvoyés à l'élève ne constituent pas toujours une aide. Ainsi, si la rétroaction ne permet pas à l'élève de comprendre son erreur, il peut faire plusieurs tentatives de correction sans succès en recevant toujours le même message d'erreur qu'il ne comprend pas.

Discussion et perspectives de la décision didactique

Nous détaillons plusieurs propositions d'évolution du moteur de décision didactique de l'EIAH s'appuyant sur une modélisation praxéologique. Elles portent sur le diagnostic de la proposition de l'élève, et sur le choix de la rétroaction à émettre en conséquence.

Évolutions du diagnostic

Un diagnostic produit la liste des erreurs apparaissant dans un protocole proposé par un élève à un instant donné (une instance du protocole). Des pistes d'évolution sont :

- Affiner le diagnostic en s'appuyant sur les praxéologies personnelles : par exemple prendre en compte ces techniques personnelles (utiliser une fiole jaugée ou une éprouvette graduée à la place d'une pipette jaugée) permet de produire de nouvelles contraintes.

- Utiliser le modèle praxéologique pour identifier des erreurs similaires :
 - dans une instance du protocole. Lorsqu'il y a plusieurs erreurs dans le protocole, le modèle praxéologique de conception pourrait aider à identifier des contraintes qu'il serait pertinent de juxtaposer dans un ensemble de rétroactions ou d'associer dans une nouvelle rétroaction.
 - dans des protocoles différents ou dans des instances différentes d'un protocole donné. Il s'agit de prendre en compte l'historique de l'élève dans les couples {erreur, message envoyé} pour moduler la rétroaction suivante. Le modèle praxéologique permet d'identifier dans l'historique les couples pertinents à prendre en compte dans la décision, c'est à dire ceux qui portent sur les mêmes types de tâches.
 - en fait, les T_C peuvent être exprimés à différents niveaux de généralité, c'est à dire soit au niveau du T_C , soit au niveau d'un type de tâche plus générale. Par exemple, si dans le protocole, l'erreur est au niveau du prélèvement d'une solution à diluer, on peut soit évoquer le T_{C3} d'une technique de dilution « Choisir le type de verrerie GP utilisé pour prélever la solution à diluer SM », soit un type de tâche plus générale « Choisir la verrerie G_P pour prélever une solution S » de manière plus générale. Ce niveau plus générale est justifié dans TitrAB, parce que d'autres types de tâches de prélèvement sont dévolus à l'élève, c'est à dire hors d'un cas de dilution, donc correspondant à d'autres techniques.

Ainsi il n'y aura plus une seule rétroaction pour une contrainte donnée, et l'on produira une variété de messages, en fonction des différents cas de diagnostics énumérés précédemment.

Évolution de la décision didactique pour les rétroactions

En réalité la décision d'émettre un message donné va reposer sur un diagnostic plus élaboré mais aussi sur des règles de décision enrichies. La stratégie de décision didactique pourrait s'appuyer sur les éléments suivants :

- les caractéristiques du type de tâche contenant l'erreur : sa nouveauté et sa complexité dans l'apprentissage, les objectifs d'apprentissage associés ;
- l'historique des précédents messages reçus par l'élève.

Le moteur de décision didactique aura alors la charge de choisir quelles informations apporter dans le message de rétroaction. Ces informations peuvent relever des niveaux suivants :

- correction de l'erreur en indiquant les valeurs des paramètres de la tâche de manipulation,
- indication du type d'erreur au niveau manipulation (paramètre inadapté, T_m manquant ou T_m inutile),
- indications sur la ou les techniques de conception à mettre en œuvre,
- indication d'éléments technologiques et théoriques associés à la conception.

Nous venons d'évoquer les paramètres d'entrée à prendre en compte dans le moteur de décision didactique et les différentes sorties (messages d'erreur) possibles, il reste à mettre en place un algorithme de décision les reliant. Cet algorithme ne prendra pas forcément en compte tous les paramètres d'entrée et ne nécessitera pas que tous les messages d'erreur soient disponibles. Pour prendre l'exemple le plus simple, si une contrainte correspond à un type de tâche qui n'est pas objectif d'apprentissage, le système de décision didactique peut choisir d'envoyer un message permettant de (i) localiser dans

le protocole le T_m qui contient l'erreur et de (ii) corriger l'erreur en indiquant les valeurs des paramètres de la tâche de manipulation.

Conclusion

Nous avons complété la modélisation praxéologique d'une activité manipulative de laboratoire, par une modélisation praxéologique des types de tâches de conception afin de décrire l'activité de conception expérimentale. Il s'agit d'une activité de résolution de problème dans laquelle les élèves doivent détailler la technique de manipulation à mettre en œuvre sous la forme d'un protocole expérimental. L'intérêt pédagogique de cette activité est qu'elle oblige les élèves à prendre des décisions que nous avons modélisées avec des types de tâche de conception (T_c). Chaque T_c peut être modélisé par une praxéologie dont le logos correspond à des connaissances que l'élève doit mobiliser. Nous avons modélisé d'autre part les praxéologies personnelles des élèves qui correspondent à des erreurs dans le protocole et relèvent de techniques de conception erronées.

Dans cet article, nous avons donné un exemple de praxéologie de conception qui est relativement simple de par la technique à mettre en œuvre (T_{C3}). Cependant nous avons rencontré d'autres T_c dont la résolution est plus complexe. La production de certains éléments de protocole en apparence simple, exige une démarche de résolution complexe, donc une praxéologie de conception qui est invisible dans la production de l'élève. Par exemple, la valeur du volume V_M est produite par la technique de T_{C2} , particulièrement complexe. Dans ce cas l'identification d'une praxéologie personnelle à partir de la valeur de V_M donnée par l'élève peut s'avérer extrêmement difficile.

Pour accompagner les élèves dans la conception expérimentale, nous avons développé TitrAB, un EIAH qui structure cette tâche et qui produit des rétroactions vers un élève suite à un diagnostic effectué sur son activité dans l'EIAH. Aujourd'hui nous cherchons à améliorer et diversifier les rétroactions vers l'élève à partir de la modélisation

praxéologique que nous avons produite. Notamment, l'utilisation de praxéologies personnelles et la prise en compte de l'historique de l'élève dans le diagnostic devraient permettre d'améliorer la décision didactique conduisant aux rétroactions.

Références

- Berthet, A., Girault, I. & D'ham, C. Difficultés d'élèves pour élaborer un protocole expérimental. Un exemple en classe de terminale S. *Bulletin de l'Union des professeurs de physique chimie*. 109 (978), p. 1395-1408, 2015.
- Bosch, M. & Chevillard, Y. La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. *Recherche en Didactique des Mathématiques*. 19(2), p. 77-124, 1999.
- Chaachoua, H., Ferraton, G. & Desmoulins, C. Utilisation du modèle praxéologique de référence dans un EIAH. In *Actes du 4e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique*, Toulouse., 2013
- Croset, M-C. & Chaachoua, H. Une réponse à la prise en compte de l'apprenant dans la TAD : la praxéologie personnelle. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 36(2), 2016.
- Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. E. Design and reflection help students develop scientific abilities: learning in introductory physics laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, 19, p. 54-98, 2010.
- Girault, I., D'ham, C., Ney, M., Sanchez, E., Wajeman, C. Characterizing the Experimental Procedure in Science Laboratories: A preliminary step towards students experimental design. *International Journal of Science Education*, 34(6), p. 825–854, 2012.
- Girault, I., & D'ham, C. Scaffolding a Complex Task of Experimental Design in Chemistry with a Computer Environment. *Journal of Science Education and Technology*, 23(4), p. 514–526, 2014.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., Chinn, C. A. Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), p. 99–107, 2007.
- Ohlsson, S. Constraint-based student modelling. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 3(4), p. 429–447, 1992.
- Wajeman, C., Girault, I., D'ham, C. & Marzin, P. (2016). Students' reflection on experimental design during an innovative teaching sequence with LabBook. *Proceeding of ESERA 2015* (International Conference of the European Science Education Research Association), Helsinki, Finland, 2016.