



HAL
open science

Comportement d'étudiants effectuant un titrage acide-base, à partir des traces d'activité du logiciel **TitrAB**

Isabelle Girault, Cédric d'Ham, Claire Wajeman

► **To cite this version:**

Isabelle Girault, Cédric d'Ham, Claire Wajeman. Comportement d'étudiants effectuant un titrage acide-base, à partir des traces d'activité du logiciel TitrAB. Rencontres scientifiques de l'ARDiST, Mar 2021, Bruxelles, Belgique. hal-03285881

HAL Id: hal-03285881

<https://hal.science/hal-03285881>

Submitted on 13 Jul 2021

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.

Comportement d'étudiants effectuant un titrage acide-base, à partir des traces d'activité du logiciel TitrAB

Isabelle Girault*, Cédric d'Ham et Claire Wajeman

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

*isabelle.girault@univ-grenoble-alpes.fr

Résumé : L'utilisation d'un logiciel dédié à la conception d'une expérience de titrage par des étudiants nous permet d'accéder à des traces informatiques sur l'activité de ces étudiants. Les diagnostics et rétroactions implémentés dans le logiciel TitrAB ne permettant pas à tous les étudiants de résoudre les exercices demandés, nous avons recherché dans les traces des informations pouvant expliquer leur échec. Il s'agit de traces se déroulant sur une fenêtre temporelle. L'analyse des traces de l'activité de 409 étudiants d'université permet d'accéder à des comportements d'étudiants sur l'ensemble de leur activité. La récurrence de certaines erreurs dans une séquence temporelle d'actions a indiqué la présence d'une difficulté et le besoin d'un étayage complémentaire.

Mots-clés : Titration acide-base ; diagnostic ; étayage ; comportements ; protocole expérimental ; environnement d'apprentissage

Behavior of students performing an acid-base titration, from Logiciel TitrAB Software activity traces

Abstract : The use of a software dedicated to the design of a titration experiment by students allows us to access activity traces of these students. The diagnostic and feedback implemented in TitrAB are not sufficient for all the students to succeed in the problem solving activity. We have been looking for information in the traces to explain this failure. It corresponds to traces spread over a time window. The analysis of these traces of 409 university students has made it possible to detect behaviors on all their activities. The recurrence of some errors in a temporal sequence of actions indicated the presence of a difficulty and the need for extra scaffold.

Keywords : Acid-base titration; diagnostic; scaffold; behavior; experimental protocol ; learning environment

ELABORER DES PROTOCOLES DE TITRAGE AVEC LE LOGICIEL TITRAB

Le titrage acide-base est une situation pédagogique courante en chimie. Dans les séances traditionnelles d'activités expérimentales sur les titrages, les étudiants doivent suivre un protocole établi afin de déterminer la concentration d'une solution à titrer. Les solutions titrantes, les indicateurs colorés éventuels et les appareils de mesure sont en général fournis. Les étudiants se posent rarement la question du choix des réactifs titrants, de leur concentration et du volume prélevé de la solution à titrer. Le travail des étudiants consiste essentiellement à exploiter le résultat du titrage. Ainsi beaucoup d'études se sont focalisées sur les stratégies employées par les élèves lorsqu'ils effectuent des calculs pour exploiter le résultat d'un titrage et déterminer la concentration de la solution à titrer (Anamuah-Mensah, 1986) ; (Ouertatani & Dumon, 2008).

Néanmoins, dans des situations où les étudiants ne sont pas aussi guidés dans les choix des réactions, volumes et concentrations, d'autres problèmes apparaissent. Dans un article de Bataille et al. (2010), des problèmes et des doutes sont apparus du côté des étudiants quand ils ont dû faire des choix. « Habituellement tout est connu (...). Une liberté totale dans le choix du matériel a déstabilisé beaucoup d'étudiants ». La confrontation à des problèmes concrets révèle que les étudiants n'ont pas forcément assimilés de simples calculs de dilution (Bataille et al., 2010). Widarti et al. (2017) ont identifié des difficultés de la part d'étudiants dans le choix du matériel et le rinçage associé lors de situations de titrage.

Etkina et al. (2010) ont montré que les activités où les étudiants conçoivent une expérience, favorisent la réflexion et les apprentissages. Néanmoins, il s'agit d'une activité complexe pour laquelle il est nécessaire d'accompagner les étudiants. Nous avons déjà caractérisé les difficultés rencontrées par des élèves pour élaborer un protocole expérimental de titrage (Berthet, et al., 2015) et proposé des étayages pour les aider dans leur tâche (Berthet et al., 2017 ; d'Ham et al., 2019). Une des difficultés majeures pour les étudiants est de faire un calcul préalable afin de déterminer la quantité de matière adaptée de solution à titrer, et éventuellement de faire une dilution. Il est nécessaire de faire un calcul par anticipation : il faut prendre en compte le matériel disponible tout en effectuant un raisonnement à l'aide de la valeur approximative de la concentration de la solution titrée.

Le logiciel TitrAB (titrab.imag.fr) permet à des étudiants de s'entraîner à concevoir une expérimentation de titrage et à l'exploiter pour déterminer une concentration, avant de faire des expériences similaires au laboratoire. Seize situations de titrage acide-base de niveaux progressifs sont proposées. Dans chacune d'elles, l'étudiant conçoit l'expérience en fixant les différents paramètres expérimentaux du titrage, puis fait exécuter le protocole correspondant par une simulation intégrée à TitrAB. La simulation permet à l'étudiant de tester rapidement son protocole et facilite le travail de conception de l'expérience. TitrAB permet aux étudiants de mener librement une investigation et l'opportunité de pratiquer ce type d'approche scientifique (Donnelly et al., 2013).

Le diagnostic automatique et les rétroactions dans TitrAB

Lorsque l'étudiant valide son protocole, un diagnostic automatique est effectué. Selon le résultat obtenu, la rétroaction fournie à l'étudiant est soit un message décrivant une erreur dans le protocole, soit la courbe de titrage simulée. La courbe de titrage n'est fournie que si aucune erreur n'a été détectée. Les erreurs sont diagnostiquées par un système de doubles contraintes appliquées sur le protocole (Ohlsson, 1992). Chaque contrainte a une condition

de satisfaction (qui détermine si l'erreur est présente dans la procédure) et une condition de validité (qui détermine pour quel état de la procédure une contrainte doit être vérifiée). Ce diagnostic est effectué sur l'état du protocole au moment où il est soumis par l'étudiant.

Le diagnostic par contraintes permet de pointer les difficultés liées au choix des solutions et de la verrerie, difficultés qui ont été identifiées dans les travaux précédents (Berthet et al., 2015). Ces auteurs décrivent une autre difficulté des élèves non gérée par le système de diagnostic par contraintes : le calcul des quantités de matières de titré et titrant à faire réagir au cours du titrage. Dans le cas de TitrAB, une burette de 25 mL est utilisée et il est indiqué dans les consignes que les quantités de matière des réactifs doivent permettre d'obtenir un volume équivalent (V_{eq}) compris entre 8 et 20 mL (problèmes de précision en deçà de 8 mL et d'exploitation de la courbe au-delà de 25 mL). Uniquement dans ce cas, la courbe simulée est accompagnée de la valeur expérimentale du V_{eq} extraite de l'exploitation de la courbe. Cette valeur permet de répondre au problème posé. Si les quantités de matière des solutions utilisées ne sont pas adaptées, les étudiants obtiennent donc une courbe non exploitable.

QUESTION DE RECHERCHE

Malgré les rétroactions fournies par TitrAB, beaucoup d'étudiants ne parviennent pas à résoudre les exercices proposés (par exemple, 203 étudiants ont réussi l'exercice 1 sur 379 étudiants qui ont fait cet exercice ; résultat issu de l'étude présentée dans la méthodologie décrite ci-après). L'objectif de cette étude est de comprendre pourquoi ces étudiants ne réussissent pas dans TitrAB. A partir des traces des étudiants, nous pouvons effectuer un autre type de diagnostic qui analyse l'activité de l'étudiant sur une fenêtre temporelle choisie. Ceci est différent du diagnostic par contraintes qui analyse l'état du protocole à un instant donné. Ce nouveau diagnostic doit pouvoir permettre d'obtenir des informations sur les comportements des utilisateurs dans l'objectif de détecter les difficultés des étudiants vis à vis de concepts de chimie.

A partir des études précédentes, nous avons anticipé trois comportements que nous souhaitons rechercher dans les traces : (i) modifier un protocole sans réussir à obtenir une courbe exploitable, (ii) ne pas proposer une concentration après avoir obtenu une valeur de V_{eq} et (iii) ne pas prendre en compte la dilution du titrant ou du titré pour le calcul de la concentration de la solution titrée.

METHODOLOGIE

Le corpus de données est constitué de 409 étudiants de licence 1^{ère} année qui ont utilisé TitrAB en 2017 dans un enseignement de méthodes expérimentales qui inclut une séquence sur les titrages acide-base. Les étudiants doivent faire individuellement des exercices sur TitrAB hors de la classe. Chaque enseignant d'un groupe de travaux dirigés (TD) a fait au préalable une démonstration du logiciel en classe. Les étudiants doivent faire trois exercices de difficulté croissante (nommés ici exercices 1, 2 et 3).

Nous avons utilisé les traces informatiques des actions effectuées par les étudiants sur TitrAB enrichies par les diagnostics automatiques. Les actions analysées sont : soumettre

une expérience au simulateur ou proposer une valeur de concentration pour la solution titrée. Une trace est marquée temporellement et contient les valeurs des paramètres de l'action choisis par l'étudiant. Elle est enrichie par les éléments de diagnostic automatique effectués par le système sur cette action : le nombre et la nature des erreurs effectuées par l'étudiant et la rétroaction faite à l'étudiant (messages, tracé d'une courbe, V_{eq}). L'analyse automatique actuelle ne concerne que l'action que vient d'effectuer l'étudiant, et donc ne tient pas compte des actions passées de l'étudiant. L'exploitation des traces présentée ici vise à prendre en compte l'historique des actions d'un étudiant.

Les traces informatiques ont subi un cycle de traitement de contrôle, nettoyage, sélection et agrégation (voir la méthode présentée par Mandran et al. (2014)). Nous avons réalisé ensuite un codage des actions des étudiants qui intègre un niveau de réussite de l'action : la soumission d'un protocole est codée E si elle est infructueuse, T si elle produit un tracé de courbe inexploitable, V si elle produit une courbe exploitable et un volume équivalent. La soumission d'une valeur de concentration est codée c si elle est erronée et C sinon. Le chemin de résolution d'un exercice par un étudiant est ensuite représenté très simplement par la succession temporelle de ces codes d'actions. Ces séquences sont de longueur très variables, entre 1 et 76 actions pour un exercice. Une séquence permet donc d'interpréter, dans une certaine mesure, le cheminement de résolution d'un étudiant. Voici quelques exemples facilement interprétables :

- Une séquence d'actions qui conduit de façon optimale à la réussite : VC. L'étudiant a soumis une expérience qui produit une courbe exploitable et une valeur de V_{eq} (V) ; l'étudiant a ensuite proposé directement la bonne concentration (C).
- La séquence VcCEEET peut être interprétée comme la résolution rapide de l'exercice. La première soumission de protocole est fructueuse (V) suivi d'une soumission infructueuse puis fructueuse de concentration (cC). Le problème est donc rapidement résolu, mais l'étudiant continue par une exploration d'autres protocoles (EEET), ce qui ne relève pas de difficultés mais illustre une stratégie d'exploration. Dans ce dernier exemple, le cheminement VcC n'est pas problématique car l'étudiant est immédiatement capable de corriger son erreur. Un étayage complémentaire est donc inutile.
- Par contre un cheminement du type VccccVcccEETVccc traduit un étudiant en difficulté quant à la détermination de la concentration ; le repérage de ce comportement et l'identification de la nature de l'erreur permettront de fournir un étayage adapté.

Nous étudions les séquences de façon qualitative, pour repérer des comportements au cours du temps, que nous avons anticipés. Nous avons ensuite déterminé le nombre d'occurrence des comportements d'étudiants repérés.

RESULTATS

Le tableau 1 résume les résultats pour les trois comportements que nous avons anticipé, avec pour chacun la séquence d'actions que nous avons recherchée dans les traces. Nous donnons le nombre d'étudiants associés à chaque comportement, avec le nombre d'étudiants total qui pourraient avoir ce comportement. Nous avons centré l'étude présentée ici sur deux des trois exercices réalisés : l'exercice 1 qui ne nécessite pas de dilution d'une des solutions utilisées (titrée ou titrante) et l'exercice 2 qui inclut une dilution. 380 étudiants ont travaillé sur l'exercice 1 et 324 étudiants sur l'exercice 2.

Comportements observés	Séquences d'actions correspondantes	Nombre d'étudiants repérés	Nombre d'étudiants total
A- Ne pas réussir à passer d'une courbe non exploitable à une courbe exploitable.	Présence de T (sans aucun V)	Exercice 1 : 55 Exercice 2 : 66	306* 298*
B- Ne pas proposer une concentration immédiatement après avoir obtenu une courbe exploitable.	Présence de V mais ni Vc ni VC	Exercice 1 : 37 Exercice 2 : 46	251** 232**
C- Ne pas prendre en compte le facteur de dilution	V...c Avec des valeurs de concentrations correctes, au facteur de dilution près.	Exercice 2 : 74 (pas de dilution dans l'exercice 1)	211***

Tableau 1 : Comportements d'étudiants utilisant le logiciel TitrAB.

Les points de suspension indiquent la possibilité d'une séquence d'actions.

**Nombre d'étudiants qui obtiennent une courbe (T et/ou V) dans l'exercice concerné.*

***Nombre d'étudiants qui obtiennent une courbe exploitable (V) dans l'exercice concerné.*

****Nombre d'étudiants obtenant une courbe exploitable (V) puis proposent une concentration (c ou C).*

DISCUSSION

Chaque comportement est discuté en essayant de comprendre les éventuelles causes. Notre volonté est de proposer un étayage, une modification du logiciel, pour remédier à ces comportements et aider les étudiants à progresser dans leurs apprentissages.

Comportement A : ne pas réussir à modifier un protocole pour obtenir une courbe exploitable

Des étudiants n'arrivent pas à modifier leur protocole avec succès pour passer d'une courbe non exploitable à une courbe permettant d'obtenir un V_{eq} . La difficulté sous-jacente est de déterminer les quantités de matière mises en jeu dans le titrage. Elle est spécifique de la conception de cette expérience, en raison du calcul par anticipation nécessaire. Le protocole de l'expérience 1 est plus facile que celui de l'exercice 2 car il n'y a pas de dilution à effectuer, néanmoins 18% (55/306) des étudiants présentent ce comportement. Ce chiffre augmente un peu pour l'exercice 2 (22% soit 66/298) avec la complexité du protocole à écrire. Nous avons cherché à comprendre ce que font les étudiants ayant ce comportement. Pour cela, nous avons compté le nombre d'actions faites par chacun après avoir eu une courbe non exploitable. Par exemple, pour l'exercice 1, les étudiants font beaucoup d'actions : la médiane se situe à 5 actions avec 29/55 étudiants au-dessus de la médiane. Cela montre que des étudiants semblent perdus et font des tentatives infructueuses. Pour

les accompagner dans ce raisonnement complexe, la courbe inexploitable est désormais accompagnée d'un texte : « La valeur du volume équivalent n'a pas été déterminée par le système. Pour minimiser les incertitudes, la valeur du volume équivalent doit être suffisamment grande : au minimum 8 mL pour une burette de 25 mL. Un peu d'aide ? ». L'aide conduit à des questions pour aider l'étudiant à interpréter sa courbe sans lui donner la réponse.

Comportement B : ne pas proposer une concentration immédiatement après une courbe

Des étudiants ont des difficultés à exploiter leur courbe de titrage pour donner une concentration exacte alors qu'ils ont obtenu un V_{eq} entre 8 et 20 mL. Dans l'exercice 2, 46 étudiants (20%) ne proposent pas de concentration directement après avoir obtenu une valeur de V_{eq} . Une analyse plus détaillée de leurs séquences d'action montre deux profils : 21 étudiants ne proposent aucune concentration, tandis que 25 vont d'abord retourner sur leur protocole et le modifier avant de proposer une concentration. Si les premiers semblent ne pas savoir comment exploiter le V_{eq} obtenu, il est difficile d'interpréter le deuxième profil : veulent-ils explorer le modèle avant de proposer une concentration et terminer leur exercice ? De nombreux travaux ont mis en évidence les difficultés d'élèves ou étudiants à comprendre le principe de point d'équivalence et les concepts de chimie sous-jacents (Sheppard, 2006); (Supatmi et al., 2019). Il est nécessaire de mieux comprendre les raisons de ces comportements avec TitrAB pour pouvoir proposer une adaptation du logiciel. Nous pourrions ajouter une rétroaction vers un étudiant qui effectue plusieurs actions de soumission d'expérience après avoir obtenu un V_{eq} au lieu de proposer une concentration. La difficulté est de distinguer le cas de l'étudiant perdu qui modifie son protocole, de celui qui retourne explorer les paramètres du protocole avant de terminer son exercice en proposant une concentration. Un travail plus approfondi est nécessaire en interrogeant par exemple des étudiants.

Comportement C : ne pas prendre en compte le facteur de dilution

Nous avons focalisé notre recherche sur l'exercice 2 qui comporte une dilution avec un facteur de dilution égal à 10. La séquence d'action permet de repérer qu'un étudiant rencontre une difficulté au niveau de la détermination de la concentration. Identifier que la difficulté provient du facteur de dilution nécessite d'introduire une information complémentaire sur la valeur de concentration proposée par l'étudiant. Parmi les 211 étudiants qui ont obtenu une courbe exploitable et proposé une concentration, 74 étudiants (35%) ont donné une concentration dix fois plus faible que celle attendue, ce qui montre qu'ils ne prennent pas en compte le facteur de dilution. 39 ont corrigé immédiatement après le retour du logiciel indiquant une concentration erronée ; 16 ont donné la bonne concentration après une ou plusieurs tentatives infructueuses et 19 étudiants n'ont pas réussi à trouver la bonne concentration. Pour accompagner ces étudiants, nous avons ajouté un diagnostic permettant de vérifier que la concentration proposée était correcte au facteur de dilution près. Il est facile d'ajouter une rétroaction sur le facteur de dilution pour alerter les étudiants sur ce point : « Avez-vous pris en compte la dilution ? ». Cependant ce type de rétroaction ne prend pas en compte le facteur temporel. Cet étayage n'est pas utile pour les étudiants qui avaient réussi à corriger directement leur erreur (séquence VcC). C'est la prise en compte de la récurrence de l'erreur dans une séquence temporelle d'actions qui indique la présence

d'une difficulté et le besoin d'un étayage complémentaire. La mise en place d'un tel étayage nécessite la détection automatique du comportement et du besoin en temps réel.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les traces informatiques permettent d'accéder à des informations sur l'activité des étudiants dans un logiciel, et sont complémentaires à ce qu'apporte un corpus plus classique en didactique des sciences (questionnaire, enregistrements audios et vidéos). Notamment ces traces donnent une information sur l'aspect temporel qui permet de voir des essais multiples. Les chercheurs et les enseignants via un tableau de bord dédié, peuvent obtenir des informations qu'ils ne pourraient obtenir sinon, avec comme finalité d'adapter le logiciel ou l'enseignement.

Les évolutions du logiciel tendent à guider davantage les étudiants, ce qui est le cas quand on pose des questions pour aider à interpréter une courbe non exploitable.

Désormais, nous voulons évaluer l'impact des modifications apportées au logiciel sur l'activité des étudiants et également ajouter des rétroactions du logiciel sur certains comportements jugés non profitables par rapport aux apprentissages.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Laure Piron pour son travail de master.

BIBLIOGRAPHIE

Anamuah-Mensah, J. (1986). Cognitive strategies used by chemistry students to solve volumetric analysis problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(9), 759-769. <https://doi.org/10.1002/tea.3660230902>

Bataille, X., Beauvineau, E., Vigneron, M., Cheymol, N., & Mas, V. (2010). Investigation et analyse chimique : Un TP-défi d'analyse qualitative et quantitative... Sans aucune solution préparée ! *L'Actualité Chimique*, 337, 45-50.

Berthet, A., d'Ham, C., & Girault, I. (2017). TitrAB : un logiciel pour apprendre à élaborer le protocole d'un titrage acido-basique. *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, 111(997), 999-1012.

Berthet, A., Girault, I., & d'Ham, C. (2015). Difficultés d'élèves pour élaborer un protocole expérimental. Un exemple en classe de terminale S. *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, 109(978), 1395-1408.

D'Ham, C., Girault, I., & Berthet, A. (2019). Modèles et étayages pour l'élaboration de protocoles par les élèves : Cas des titrages acide-base. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 19, 165-186. <https://doi.org/10.4000/rdst.2474>

Donnelly, D., O'Reilly, J., & McGarr, O. (2013). Enhancing the Student Experiment Experience : Visible Scientific Inquiry Through a Virtual Chemistry Laboratory. *Research in Science Education*, 43(4), 1571-1592. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9322-1>

Etkina, E., Karelina, A., & Ruibal-Villasenor, M. (2010). Design and reflection help students develop scientific abilities : Learning in introductory physics laboratories. *The Journal of the Learning Sciences*, 19, 54-98.

Mandran, N., Girault, I., & D'Ham, C. (2014). *DC_TEL: Framework for assisting the data production and analysis in TEL*. 2020. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02459494>

Ohlsson, S. (1992). Constraint-based student modelling. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 3, 429-447.

Ouertatani, L., & Dumon, A. (2008). L'appropriation des « objets de savoir » relatifs aux titrages acide-base par les élèves et les étudiants tunisiens. *Didaskalia*, 32, 9-40.

Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(1), 32-45. <https://doi.org/10.1039/B5RP90014J>

Supatmi, S., Setiawan, A., & Rahmawati, Y. (2019). Students' misconceptions of acid-base titration assessments using a two—Tier multiple-choice diagnostic test. *African Journal of Chemical Education*, 9(1). <https://www.ajol.info/index.php/ajce/article/view/183074>

Widarti, H. R., Permanasari, A., & Mulyani, S. (2017). Students' Misconceptions on Titration. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 812(012016).