

## Caractérisation des difficultés rencontrées par des élèves concevant une expérience de chimie

Girault, Isabelle<sup>(1)</sup>, Berthet, Agnès<sup>(2)</sup>, d'Ham Cédric<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Laboratoire LIG, équipe MeTAH (LIG-METAH), Université Grenoble Alpes - France.

<sup>(2)</sup>Lycée les Eaux Claires, Ministère de l'éducation nationale, Grenoble - France.

Résumé : Nous avons proposé une situation dans laquelle des élèves de terminale S doivent concevoir une expérimentation en chimie sur le thème des titrages acido-basiques. Lors de travaux précédents, nous avons proposé un modèle pour la conception expérimentale composé de 6 clés devant être appréhendées par les élèves pour venir à bout de leur tâche. Nous avons effectué une expérimentation en 2014-2015 avec des élèves de terminale S, dont l'objectif était d'identifier précisément les difficultés rencontrées par les élèves et de voir si ces difficultés pouvaient être caractérisées par une (ou plusieurs) clé(s) de notre modèle de conception expérimentale. Nous avons effectué une analyse praxéologique fine de la tâche de conception expérimentale. Les résultats de cette étude montrent que les élèves rencontrent des difficultés sur quelques tâches, notamment en lien avec le choix du volume de la prise d'essai. Les élèves réussissent à surmonter ces difficultés grâce à des aides apportées par l'enseignante. Nous montrons que les 6 clés de la conception expérimentales sont suffisantes pour expliquer les origines de ces difficultés.

Mots-clés : Conception expérimentale, titrage acido-basique, praxéologie, méthodes expérimentales, matériel expérimental.

### Contexte

L'apprentissage de la démarche scientifique tient une place importante dans les nouveaux programmes du lycée, notamment dans le programme de terminale S (Bulletin officiel, 2011). L'enseignement de la physique et de la chimie doit favoriser l'acquisition de compétences variées, particulièrement lors des activités expérimentales qui ne consistent pas seulement à réaliser « *des protocoles "clés en mains"* » (Vigneron, 2013). Les élèves doivent savoir concevoir un protocole ou un dispositif expérimental puisque l'item « Proposer et/ou justifier un protocole » figure dans la grille des compétences expérimentales pouvant être évaluées lors de l'épreuve pratique du baccalauréat S et du baccalauréat STL. Ainsi, les élèves doivent savoir concevoir un protocole ou un dispositif expérimental. Des études ont montré que la tâche de conception expérimentale impose aux élèves de mettre en œuvre des activités cognitives élevées : ils doivent gérer des problèmes qui ne sont généralement pas à leur charge, mais acquièrent en retour de nouvelles méthodes scientifiques (Neber & Anton, 2008) (Etkina et al., 2010).

Nous avons proposé une situation dans laquelle des élèves de terminale S doivent concevoir une expérimentation en chimie sur le thème des titrages acido-basiques. Une première expérimentation réalisée durant l'année scolaire 2013-2014 avait fait apparaître de nombreuses difficultés pour des élèves de terminale S. A l'issue de cette expérimentation, nous avons proposé un modèle pour la conception expérimentale composé de 6 clés devant être appréhendées par les élèves pour venir à bout de leur tâche (Berthet et al., 2015).

Prendre en compte le contexte :	l'objectif de l'expérience ou la question à résoudre et les hypothèses à tester
	les données disponibles du problème (éventuellement approximatives)
	le matériel disponible
Activer des connaissances générales sur :	les méthodes expérimentales
	les modèles scientifiques
	les caractéristiques de l'objet « protocole »

Tableau 1 : les six clés de la conception expérimentale

## La tâche proposée aux élèves

L'objectif donné aux élèves est le suivant : « On peut lire sur l'étiquette d'un vinaigre présent dans le laboratoire du lycée : "degré d'acidité :  $8,0^\circ \approx 1,3 \text{ mol.L}^{-1}$ ". On se propose de vérifier cette indication à l'aide d'un titrage pH-métrique de l'acide éthanoïque contenu dans le vinaigre. »

Les élèves peuvent trouver diverses informations dans des documents donnés au début de la fiche de TP. Ces documents sont intitulés « Degré d'acidité d'un vinaigre », « Principe du titrage pH-métrique de l'acide éthanoïque », « Obtention et exploitation de la courbe de titrage pH-métrique » et « Matériel disponible ».

La fiche de TP structure le travail à effectuer en trois temps : élaboration du protocole de titrage, réalisation du titrage, exploitation du titrage. Dans cet article, nous nous intéressons uniquement à l'élaboration du protocole.

En choisissant le matériel disponible, nous avons pris des décisions didactiques qui établissent la complexité de la tâche d'élaboration du protocole.

- Notre situation ne comporte qu'une solution de concentration inconnue (vinaigre) et une solution de concentration connue et de nature opposée à la solution titrée (solution d'hydroxyde de sodium  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ ), ce qui simplifie le problème.
- Une pipette jaugée de 10 mL et trois fioles jaugées de 50, 100 et 250 mL sont mises à disposition. Cela ne permet qu'une seule prise d'essai possible (10 mL) mais 3 facteurs de dilution possibles (5, 10 et 25) pour laisser plusieurs possibilités aux élèves.
- Le rapport des concentrations du titrant et du titré est d'environ 0,08. Dans ces conditions, les élèves doivent faire une dilution préalable de facteur 10 avant de pouvoir réaliser le titrage du vinaigre.

## Analyse praxéologique

Nous avons réalisé une analyse praxéologique fine de la tâche de conception expérimentale (Chevallard, 1999). Pour chaque tâche de manipulation constitutive du protocole, nous avons identifié les types de tâches de manipulation et de conception qui s'y rapportent. Le tableau 2 donne un exemple (les questions de rinçage du matériel ont été omises pour ne pas surcharger l'exemple). Les types de tâche de conception correspondent au travail cognitif que l'élève doit mener pour être capable de réaliser la tâche de manipulation. Ces types de tâches de conception se rapportent à un type de tâche de manipulation donné.

<b>Tâche de manipulation du protocole</b>	Prélever avec une pipette jaugée, une prise d'essai de 10 mL de vinaigre
<b>Type de tâche de manipulation</b>	Prélever une prise d'essai de solution à titrer
<b>Type de tâche de conception</b>	Choisir la nature de la solution à doser Choisir la verrerie de prélèvement (type) Choisir la valeur du volume de la prise d'essai (en sachant quel matériel est disponible) Vérifier que le volume choisi pour la prise d'essai est compatible avec le volume de la burette et la concentration de la solution titrante.

Tableau 2 : Exemple des types de tâche de manipulation et conception se rapportant à une tâche de manipulation constitutive du protocole.

Pour les types de tâches de conception identifiées comme potentiellement difficiles lors de l'expérimentation précédente (soit treize types de tâches) (Berthet et *al*, 2015), nous avons conçu une série d'aides progressives sur la base suivante : l'aide de niveau 1 fait réfléchir les élèves au niveau de la connaissance visée (niveau technologique) ; l'aide de niveau 2 donne des éléments qui amènent l'élève à réfléchir sur la technique à mettre en œuvre pour réussir la tâche de conception. L'aide de niveau 3 donne le résultat de la tâche de conception, ce qui revient à donner (une partie de) la tâche de manipulation.

### Questions de recherche et méthodologie

- QR1 : quelles sont les difficultés rencontrées par les élèves qui conçoivent le titrage ?
- QR2 : les 6 clés de la conception expérimentales sont-elles suffisantes pour permettre d'expliquer les origines de ces difficultés ?

Nous avons testé la situation avec une classe d'élèves de terminale S (14 groupes d'élèves travaillant en binôme) au printemps 2015.

Pour répondre à la première question de recherche, nous avons compté, pour chacune des treize tâches identifiées, le nombre d'aides de chaque niveau demandées par les binômes. Ceci nous a permis de calculer un score de difficulté moyen par binôme pour chaque type de tâche, en divisant le nombre d'aides distribuées (nb aides) pondérées par leur niveau, par le nombre de binômes :  $\text{difficulté} = (1 \cdot \text{nb aides niv1} + 2 \cdot \text{nb aides niv2} + 3 \cdot \text{nb aides niv3}) / 14$ . Ce score de difficulté est compris entre 0 (aucune aide n'a été distribuée) et 3 (toutes les aides ont été distribuées à tous les binômes).

Pour répondre à la seconde question de recherche, nous avons cherché à accéder aux raisonnements des élèves en utilisant les fichiers audio des discussions de chaque binôme d'élèves pendant leur travail et des entretiens complémentaires réalisés avec huit élèves, quelques jours après l'exercice, afin d'approfondir les raisonnements utilisés.

Ceci nous a permis d'établir une correspondance entre les difficultés des élèves et les clés de la conception expérimentale et de vérifier si ce modèle, qui a été établi empiriquement lors d'une expérimentation précédente, fonctionne ou a besoin d'évoluer.

## Résultats et discussion

Le tableau 3 indique les cinq types de tâches ayant un score de difficulté non nul sur les treize types de tâches pour lesquelles des aides progressives avaient été prévues.

Types de tâche de conception	Difficulté (score sur 3)
T1 : Choisir une valeur du volume de la prise d'essai ( $V_{\text{prise d'essai}}$ ) en sachant quel matériel est disponible	1,29
T2 : Calculer la valeur du volume de réactif titrant versé à l'équivalence ( $V_E$ ) correspondant à une prise d'essai de volume $V_{\text{prise d'essai}}$	0,64
T3 : Chercher les facteurs de dilution $F_i$ de la solution titrée permettant d'obtenir une valeur de $V_E$ adapté au matériel	0,29
T4 : Ecrire la relation entre la quantité de matière ( $n_{\text{titré}}$ ) approximative de réactif titré dans la prise d'essai de volume $V_{\text{prise d'essai}}$ et la quantité de matière ( $n_{\text{titrant}}$ ) de réactif titrant versé à l'équivalence	0,25
T5 : Ecrire les expressions de $n_{\text{titré}}$ et $n_{\text{titrant}}$ en fonction des concentrations et volumes des solutions	0,14

Tableau 3 : score de difficulté moyen par élève pour les types de tâches les plus difficiles

Le score de difficulté le plus élevé est de 1,29 sur 3, ce qui montre que globalement pour toutes les tâches les élèves réussissent avec peu d'aides. Le score le plus élevé correspond au choix de la valeur du volume de la prise d'essai. C'est la tâche qui a nécessité le plus d'aides : 5 groupes ont réussi sans aide, 4 groupes ont réussi avec l'aide de niveau 1 (« Est-il nécessaire de connaître avec précision le volume de la prise d'essai ? »), 4 groupes avec l'aide de niveau 2 (« Quelle verrerie disponible est utilisée pour prélever un volume avec précision ? ») et 1 groupe a eu besoin de l'aide de niveau 3.

Nous avons tenté de comprendre l'origine des difficultés des élèves. Les enregistrements audio et les entretiens nous ont permis de caractériser les difficultés par rapport aux six clés. Toutes les difficultés que nous avons identifiées se rapportent à 4 des 6 clés proposées.

### Prendre en compte le contexte

*Prendre en compte les données disponibles → difficultés pour la tâche T2*

Pour savoir si la valeur du volume de réactif titrant versé à l'équivalence ( $V_E$ ) correspond à la prise d'essai, il faut effectuer un raisonnement utilisant la valeur approximative de la concentration en acide éthanoïque dans le vinaigre. Or 9 groupes d'élèves n'ont pas su quelle valeur utiliser pour la concentration de réactif titré dans ce calcul. Des élèves pensaient ne pas avoir le droit d'utiliser la valeur approximative de  $C_{\text{vinaigre}}$  indiquée dans l'objectif du TP, car l'expérience a comme objectif de déterminer cette valeur : « On ne savait pas si on avait le droit de prendre la valeur de l'introduction puisqu'on disait qu'on voulait vérifier la valeur de l'étiquette. D'habitude, quand on veut vérifier une valeur, on l'utilise à la fin du TP. » ou bien « On n'a pas le droit d'utiliser cela car on veut le vérifier. Sinon, ce serait facile. » ou encore « on fait le TP à l'envers ! ».

*Prendre en compte le matériel disponible : Utilisation d'une « coutume » sans faire de contrôle → difficultés pour la tâche T3*

Tous les groupes d'élèves ont proposé un facteur de dilution de 10, ce qui était la valeur attendue. D'après les enregistrements audio, un seul binôme a vérifié la disponibilité du matériel pour diluer 10 fois. Il se trouve qu'une dilution par 10 est très habituelle dans les situations d'enseignement au lycée. C'est pourquoi, dans un exercice proposé après le TP, nous avons voulu tester les élèves dans une situation où un facteur de dilution de 10 n'était pas possible avec le matériel proposé. Seulement 1 élève sur 27 a proposé le facteur de dilution de 8 attendu. 19 élèves ont proposé de prendre un facteur égal à 10. Il se trouve que parmi eux, certains ont fait un contrôle puisqu'ils ont précisé le matériel utilisé, mais ils ont utilisé du matériel non pertinent (burette ou éprouvette), ce qui se rapporte à la méconnaissance du matériel décrite ci-après. Les travaux de Jordan et al. (2011) ayant montré que les protocoles élaborés par les étudiants étaient influencés par le matériel disponible, nous pensions que les élèves allaient s'aider de la verrerie pour préparer la solution titrée. Cependant, il semble que l'utilisation de « coutume » a été prépondérante. Une difficulté similaire a déjà été montrée dans le cas des rinçages en chimie où les élèves ne raisonnent pas mais appliquent une technique automatique de rinçage du matériel à l'eau (Girault et al., 2011).

#### Activer des connaissances générales

*Activer des connaissances sur les méthodes expérimentales : méconnaissance de l'utilisation du matériel et de sa précision et/ou pas de conscience de la précision demandée pour le résultat → difficultés pour la tâche T1*

Seulement 5 groupes d'élèves utilisent la pipette jaugée de 10 mL pour prélever la prise d'essai. Les autres utilisent soit l'éprouvette graduée dont la précision est insuffisante, soit la fiole jaugée. Deux groupes d'élèves disent qu'ils considèrent que la fiole jaugée est une verrerie de précision adaptée. Or la fiole jaugée est un élément de verrerie qui permet de contenir et non pas de délivrer un volume précis de liquide.

*Activer des connaissances sur les modèles scientifiques → difficultés pour la tâche T4 et T5*

Un rappel de la relation entre quantités de matière des espèces titrante et titrée à l'équivalence ou de la relation entre quantité de matière, concentration et volume a permis de débloquer quelques groupes.

#### Conclusion et perspectives

Si les programmes demandent que les élèves proposent des protocoles, il faut avoir conscience que cette activité est complexe et nécessite des prérequis. Les résultats de notre étude montrent que les élèves rencontrent des blocages à différents niveaux qui ont nécessité une intervention de l'enseignant. Toutes les difficultés identifiées ont pu être mises en relation avec quatre des six clés proposées et il n'y a pas eu besoin d'enrichir notre modèle avec d'autres clés. Les élèves n'ont pas eu, dans l'expérimentation menée, des difficultés liées à l'objectif de l'expérience. Quant aux caractéristiques de l'objet protocole, elles n'ont pas été étudiées dans cette expérimentation. La prise en compte, par l'enseignant, des 6 clés de la conception expérimentale pourrait être une aide pour mettre en place des situations expérimentales où les élèves doivent concevoir une expérience et la décrire sous forme d'un protocole. Par exemple, l'enseignant pourrait organiser la fiche de

TP, en structurant les informations selon des sections correspondant aux clés de la conception expérimentale.

## Références bibliographiques

- Berthet, A., Girault, I., & d'Ham, C. (2015) Difficultés d'élèves pour élaborer un protocole expérimental. Un exemple en classe de terminale S. *Bulletin de l'Union Des Professeurs de Physique Chimie*, n°978, 1395-1408.
- Bulletin officiel (2011) Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie – Classe terminale de la série scientifique. *Bulletin officiel spécial* n°8 du 13 octobre 2011.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, 19(2), 221–266.
- Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. E. (2010). Design and Reflection Help Students Develop Scientific Abilities: Learning in Introductory Physics Laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 54–98. <http://doi.org/10.1080/10508400903452876>
- Girault, I., d'Ham, C., Alturkmani, M., & Chaachoua, H. (2011). An anthropological approach to analyse a chemical knowledge during experimental design (p. 44). Presented at the ESERA Conference, Lyon: <http://www.esera.org/publications/esera-conference-proceedings/science-learning-and-citizenship/strand-1/>.
- Jordan, R. C., Ruibal-Villasenor, M., Hmelo-Silver, C. E., & Etkina, E. (2011). Laboratory materials: Affordances or constraints? *Journal of Research in Science Teaching*, 48(9), 1010–1025. <http://doi.org/10.1002/tea.20418>
- Neber, H., & Anton, M. (2008). Promoting pre-experimental activities in high-school chemistry: focusing on the role of students' epistemic questions. *International Journal of Science Education*, 30(13), 1801–1821.
- Vignerot, M. (2013). « À propos des nouveaux programmes de chimie au lycée », Ateliers JIREC 2012, *Act. Chim.*, n° 374,1-12.