

Titrage acidobasique en TP de première année d'université

Étude du discours enseignant et des interactions enseignant-étudiants

Résumé Cet article décrit une étude du discours enseignant et des interactions enseignant-étudiants à l'occasion d'un titrage acidobasique en première année de licence lors de neuf séances de TP dans trois universités. Après avoir caractérisé les propos tenus au cours des séances comme manipulateur, théorique ou méthodologique, l'analyse de ces derniers montre que la plupart ne renferment pas d'argument théorique justifiant un choix ou un geste manipulateur.

Mots-clés **Méthodologique, travaux pratiques, acide-base, indicateur coloré, discours.**

Abstract **Acid-base titration in first year university lab: study of teacher discourse and teacher-student interactions**
This paper describes the study of the teacher discourse and of the teacher-students interactions during nine acid-base titration labwork sessions at three French universities in first year undergraduate. The analysis of the methodological statements selected in this study shows that most of them do not contain a theoretical argument justifying a practical choice or gesture.

Keywords **Methodological, labwork session, acid-base, coloured indicator, discourse.**

Les travaux pratiques (TP) de chimie sont un dispositif d'enseignement très répandu, notamment en première année de licence (L1) à l'université. De nombreux enseignants s'interrogent sur la façon de les rendre plus efficaces au sens où il s'agit de favoriser la réflexion des étudiants, souvent en introduisant des situations où ceux-ci doivent imaginer la démarche à suivre ou concevoir une partie de celle-ci [1-3]. Pour un certain nombre d'universitaires, le laboratoire de chimie est le lieu dédié où l'étudiant peut confronter le domaine théorique et le domaine expérimental et tisser des liens [4-5]. Pour Laszlo, la manipulation au laboratoire « *recuse le dualisme théorie-pratique* » [6, p. 3] parce que le chimiste est constamment en train d'évaluer ce qu'il voit et fait à l'aune de ce qu'il sait déjà. Cet article rapporte les résultats d'une étude de cas menée dans trois universités de taille moyenne, lors d'un TP classique de titrage acidobasique en présence d'un indicateur coloré. Elle vise à déterminer la réalité de l'articulation entre théorie et pratique qui est faite en séance par les enseignants.

Étudier les propos et les échanges verbaux en séance de TP

Des recherches ont montré que les enseignants interagissent beaucoup plus avec les étudiants lors des TP qu'en cours ou travaux dirigés (TD) [7] et qu'une grande majorité d'entre eux font un discours introductif lors d'un TP ou d'un TD [8]. Il paraît donc pertinent d'étudier les propos tenus par les enseignants lors de ce discours introductif et lors des échanges verbaux qu'ils ont avec les étudiants en séance. En appui sur la distinction savoirs théoriques/savoirs pratiques, nous choisissons de caractériser les propos tenus en séance selon trois catégories : théorique, manipulateur et méthodologique.

Un propos est dit **théorique** s'il met en jeu un raisonnement conceptuel et/ou l'utilisation de modèles sans référence à des procédures expérimentales ; l'établissement de la relation à l'équivalence à partir de l'équation de réaction et d'un tableau d'avancement est un représentant typique de cette catégorie.

Un propos est dit **manipulateur** s'il concerne des gestes comme l'usage de la verrerie et des appareils de mesure selon les bonnes pratiques de laboratoire qui fixent la façon de les utiliser ; par exemple, la description de l'utilisation d'une pipette jaugée relève de cette catégorie. Les bonnes pratiques de laboratoire ont un fondement théorique, mais dans la mesure où ces aspects théoriques n'ont aucun rapport avec les savoirs chimiques en cours d'acquisition et ne font pas l'objet d'apprentissage ou de discussion, nous ne nous attendons pas à ce qu'ils soient évoqués. Par exemple, on ne s'attend pas à ce qu'un enseignant invoque des concepts de mécanique des fluides (viscosité et tension superficielle) pour justifier la lecture au bas du ménisque⁽¹⁾ du volume à la burette graduée pour une solution aqueuse. Ainsi des propos autour de la lecture du volume à la burette graduée relèvent de la catégorie manipulateur. De même, la façon d'utiliser une pipette jaugée est identique quelle que soit la contenance de la pipette, et aucun enseignant a priori ne justifiera les positions respectives de la pointe de la pipette et de la paroi du récipient lors de l'expulsion du liquide par des considérations théoriques. Ces deux exemples relèvent de ce qui est communément appelé les bonnes pratiques de laboratoire.

Un propos est dit **méthodologique** s'il concerne la réalisation de gestes nécessitant des choix effectués à partir d'un raisonnement théorique préalable demandé à l'étudiant et mettant en jeu les savoirs de chimie nécessaires et attendus à ce niveau d'enseignement. Expliquer comment choisir la verrerie de prélèvement pour réaliser une dilution est un propos de nature méthodologique au niveau universitaire, comme dans l'exemple suivant :

« Vous devez préparer 200 mL de solution d'acide chlorhydrique à $0,010 \text{ mol L}^{-1}$ à partir d'une solution à $0,20 \text{ mol L}^{-1}$. Pour cela, vous devez calculer le volume de solution concentrée à prélever en utilisant la conservation de la quantité de matière de soluté. Avec la valeur obtenue, vous allez pouvoir choisir la pipette jaugée adéquate. »

Un propos méthodologique articule ainsi nécessairement théorie et pratique.

D'autres catégories ont été utilisées pour rendre compte de la totalité de la nature des propos, mais elles sont beaucoup moins fréquentes et ne correspondent pas à l'objet de cet article. Elles ne seront donc pas évoquées ici, mais cela explique que la somme des pourcentages dans les différents graphiques ci-après ne soit pas égale à cent.

Présentation de l'étude de cas

Trois séances dans chacune des trois universités (U1, U2 et U3) comportant toutes un titrage acidobasique avec indicateur coloré ont été observées (enregistrements audio et vidéo). À U1, il s'agit du titrage d'une solution d'hydroxyde de sodium (base forte) par une solution d'acide oxalique (acide faible); l'indicateur coloré, la phénolphthaléine, est à choisir parmi trois. À U2, une eau minérale contenant des ions hydrogéné-carbonates (comportement de base faible) est titrée par une solution d'acide chlorhydrique (acide fort) en présence de vert de bromocrésol. À U3, le titrage d'une solution de borate de sodium (base faible) s'effectue par une solution d'acide chlorhydrique (acide fort) en présence de rouge de méthyle. Ces titrages sont précédés par la préparation de la solution titrante par dissolution de solide à U1 et par dilution à U2. Dans chaque université ont été observés deux enseignants confirmés – le concepteur du fascicule de TP et un titulaire expérimenté – et un enseignant novice (doctorant). Les propos tenus par les neuf enseignants ont été catégorisés pour évaluer la part de propos de nature méthodologique, et ceux-ci ont été analysés pour déterminer si leur contenu permettait aux étudiants de percevoir le lien théorie-pratique en jeu.

Comment catégoriser les propos tenus ?

Pour catégoriser les propos tenus lors des discours introductifs et des échanges verbaux, notamment méthodologiques, nous nous sommes appuyées sur le savoir savant pour déterminer le raisonnement à tenir. Les échanges ont été catégorisés dans un premier temps en reconstituant le raisonnement valide qu'aurait pu tenir l'enseignant, même si les propos tenus ne le suivaient pas entièrement ou le

suggéraient seulement, voire étaient partiellement erronés dans quelques cas. Par exemple, dans l'échange qui suit, le binôme d'étudiants questionne l'enseignant sur le repérage de l'équivalence (solution initialement jaune et devenant rouge à l'équivalence) :

- Étudiant : « *Monsieur, pourquoi en fait c'est rouge et que ça redevient jaune très vite ?* »

- Enseignant : « *Alors c'est que pour l'instant, tu n'as pas encore atteint l'équilibre. Il faut que la couleur persiste.* »

- Étudiant : « *Encore ?* » (l'étudiant semble demander s'il faut alors encore verser de la solution titrante à la burette dans le vase à réaction).

- Enseignant : « *C'est pas encore bon. Là, c'est bon là.* »

Afin d'expliquer la raison pour laquelle un changement de couleur temporaire de la solution est observé et justifier de continuer à verser la solution titrante à la burette, il pourrait être attendu que l'enseignant explique le lien d'une part entre le pH de la solution et la nature des espèces présentes – avant équivalence, à l'équivalence et après l'équivalence, localement (au moment de l'ajout d'une goutte de solution titrante) et après homogénéisation de la solution par agitation –, et d'autre part entre le pH de la solution et la couleur de la solution selon la nature de l'indicateur coloré choisi. Cet échange est donc, selon notre catégorisation, de nature méthodologique puisque les arguments évoqués sont théoriques.

Une fois les propos classés comme manipulatoire, méthodologique ou théorique, les propos méthodologiques ont été repris pour repérer les liens théorie-pratique opérés par les enseignants. Nous avons analysé le type d'argument fourni par l'enseignant, en recherchant d'abord la présence d'un argument théorique valide (même incomplet) qui permettrait aux étudiants de justifier le geste à effectuer et de transposer tout ou partie de la manipulation associée aux propos de l'enseignant à une autre situation expérimentale. En l'absence d'argument théorique, la présence d'un argument manipulatoire permettant à l'étudiant de reproduire le même geste a été recherchée. En l'absence d'argument théorique ou manipulatoire, deux types de propos ont été relevés, ceux pour lesquels aucun argument n'est donné (« sans » dans le *tableau*) et ceux contenant un argument inutilisable par les

Tableau - Types et nombres d'arguments dans les échanges catégorisés comme méthodologiques.

Type d'argument des échanges méthodologiques		Théorique	Manipulatoire	D'autorité	Sans	Pourcentage d'échanges catégorisés méthodologiques dans un premier temps	Pourcentage d'échanges catégorisés méthodologiques dans un deuxième temps (contenant un argument théorique réel)
U1	Concepteur	2	7	4		11 %	1,5 %
	Expérimenté	3	3	4	2	14 %	3,5 %
	Novice	2	5			14 %	5,5 %
U2	Concepteur	1	19	1	1	22 %	1 %
	Expérimenté	3	14		2	19 %	3 %
	Novice	6	9		1	16 %	6 %
U3	Concepteur	3	2		1	6 %	3 %
	Expérimenté		7	4		10 %	0 %
	Novice		4			5 %	0 %

étudiants dans une autre situation. Nous qualifions ce dernier cas d'argument d'autorité. Dans l'exemple ci-dessus sur le repérage de l'équivalence lors de la réalisation du titrage, l'enseignant (novice U3) donne un argument théorique partiel (puisqu'il ne mobilise pas les liens susmentionnés) et en partie erroné (« équilibre » au lieu d'« équivalence »). Nous considérons que cela ne constitue pas un argument théorique valide. Les échanges indiquent que l'étudiant s'interroge sur le fait de continuer, ou pas, à verser la solution contenue dans la burette. L'enseignant lui indique qu'« il faut que la couleur persiste ». Nous classons alors l'argument en « manipulateur ». Si l'étudiant refait le dosage, il sait alors expérimentalement quand il doit arrêter de verser la solution. L'enseignant conclut les échanges avec l'étudiant par « C'est pas encore bon. Là, c'est bon là ». En l'absence de l'argument manipulateur, cela aurait constitué selon nous, un argument d'autorité. En effet, dans ce cas, l'étudiant n'aurait eu aucune information pour savoir quand arrêter de verser.

Place des propos méthodologiques

Dans les discours introductifs

Les durées, exprimées en pourcentage, des propos de nature théorique, méthodologique ou manipulateur dans les discours introductifs sont présentées dans la figure 1. Un enseignant, novice U1, n'a pas fait de discours introductif. Le discours théorique est prépondérant chez la plupart des enseignants observés, à l'exception notable du concepteur U1 pour lequel le discours est essentiellement manipulateur. Des propos méthodologiques sont relevés uniquement chez les enseignants de U2. Il s'agit de la seule université où une réunion de présentation des TP est organisée par le concepteur à l'intention des enseignants et pendant laquelle la consigne est donnée de lire le fascicule de TP où figurent de nombreux passages méthodologiques.

Dans les échanges verbaux

Les pourcentages des propos catégorisés comme théorique, méthodologique ou manipulateur échangés dans les neuf séances sont présentés dans la figure 2. À l'inverse de ce qui a été noté pour les discours introductifs, ce sont les propos de nature manipulateur qui sont prépondérants, à l'exception des novices U1 et U3. Les propos méthodologiques apparaissent dans toutes les séances, mais moins fréquemment que les propos théoriques ou manipulateurs.

Contenu des propos de nature méthodologique

Analyse des discours introductifs

Les discours introductifs des enseignants ont été étudiés pour déterminer si les passages catégorisés comme méthodologiques comportaient effectivement des arguments théoriques justifiant des gestes expérimentaux. Comme indiqué précédemment, ces passages sont notables seulement à U2 et parfois inexistant à U1 (concepteur et novice) et à U3 (novice). Cependant, l'analyse des propos tenus révèle peu d'arguments théoriques développés au regard de ce qui aurait pu être mobilisé. Ils n'ont en outre été relevés qu'au sujet de la préparation de la solution titrante, par dilution à U2 et par dissolution à U1, comme en témoigne l'exemple ci-après (seul passage à U1 pouvant être considéré de nature méthodologique).
Expérimenté U1 : « Alors 0,472. Voilà ce qui est important, c'est qu'une fois que vous avez fait votre calcul de masse, lorsque vous

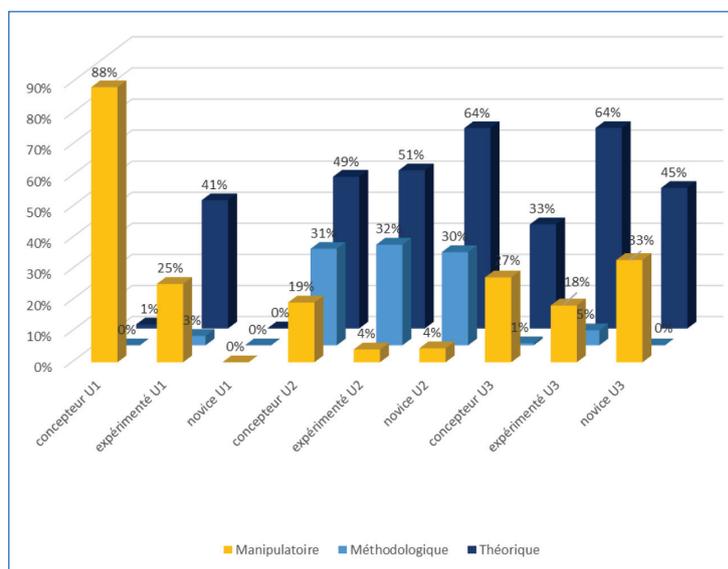


Figure 1 - Le graphique indique les durées exprimées en pourcentage des propos théorique, méthodologique ou manipulateur dans les discours introductifs.

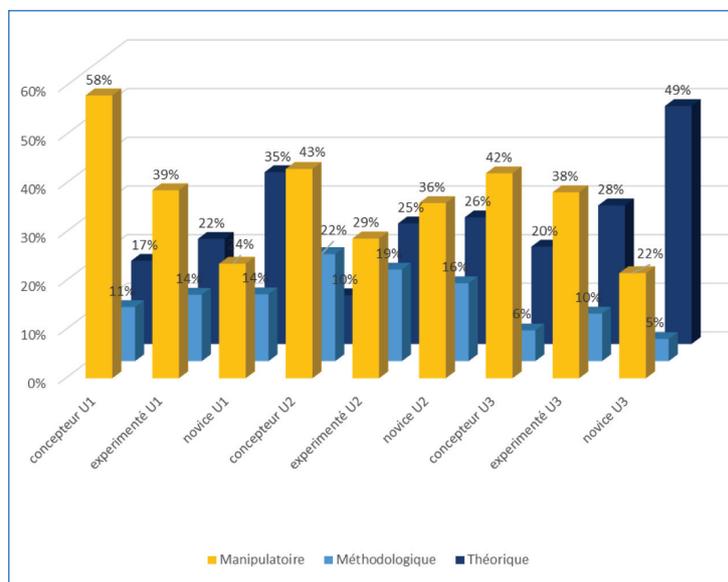


Figure 2 - Le graphique indique la catégorisation exprimée en pourcentage des échanges verbaux durant les séances.

allez à la pesée, vous savez que vous n'allez pas pouvoir peser exactement 0,472 grammes, donc il faut absolument que la masse expérimentalement pesée soit comprise entre plus ou moins 10 % de la valeur théorique.» Cet extrait illustre une démarche méthodologique où une contrainte expérimentale (la difficulté de peser exactement 0,472 g) induit un calcul théorique (encadrement) conditionnant le geste expérimental (la pesée).

Quel que soit le discours introductif, la nature des indicateurs colorés (i.e. couple acidobasique participant aux réactions acidobasiques lors des titrages) n'est jamais mentionnée, ce qui ne permet pas de justifier le nombre limité de gouttes à verser dans le vase à réaction. Le lien entre la couleur de la solution et l'espèce prédominante de l'indicateur coloré selon le pH de la solution n'est pas évoqué non plus, ce qui ne permet pas de justifier le changement de couleur à l'équivalence. Les arguments donnés sont principalement de nature manipulateur, comme par exemple l'arrêt de l'ajout de la solution titrante lorsque la solution dans le vase à réaction

change de couleur, avec indication des couleurs avant et après équivalence.

Nous avons relevé des arguments d'autorité lors de l'indication du nombre d'essais à effectuer pour ensuite calculer le volume équivalent moyen. Les enseignants parlent de volumes concordants ou précis, voire « à peu près équivalents » ou encore « de trop grand écart », mais sans jamais fournir de critères théoriques ou manipulateurs aux étudiants.

Analyse des échanges méthodologiques

Tous les échanges de nature méthodologique ont été analysés une deuxième fois pour repérer le type d'argument utilisé (voir *tableau*). La majorité des échanges verbaux que nous avons qualifiés de méthodologiques ne comportent en réalité que très peu d'arguments théoriques, voire aucun. L'argument le plus fréquemment utilisé par les enseignants est de nature manipulateur.

Lorsque les interactions verbales comportent des arguments théoriques valides, ceux-ci sont peu développés ou incomplets. Dans le cas précis de l'ajout de l'indicateur coloré, comme pour les discours introductifs, nous n'avons relevé aucun argument théorique et seulement des arguments manipulateurs. Quant au repérage de l'équivalence par changement de couleur de la solution, ce sont essentiellement des arguments d'autorité qui ont été repérés.

Les TP pour travailler le théorique autrement

Les séances de TP sont le cadre privilégié pour travailler l'articulation théorie-pratique, ou aspect méthodologique, comme lors d'un titrage acide-base avec indicateur coloré à l'occasion des thèmes suivants : dilution ou dissolution éventuelle avant le titrage, quantité de l'indicateur, repérage de l'équivalence, nombre d'essais à effectuer. Malgré ces nombreuses possibilités, l'étude du discours enseignant et des interactions verbales enseignant-étudiants réalisée pour neuf séances montre que très peu de propos relevés sont de nature méthodologique et, quand nous les catégorisons comme tels, bien souvent l'argument théorique attendu fait défaut. Il est donc très vraisemblable que les étudiants ne parviennent pas à tisser les liens attendus entre domaine théorique et domaine expérimental. Les arguments les plus fréquents étant manipulateurs, on peut faire l'hypothèse que les étudiants acquièrent des automatismes sans avoir conscience de leurs conditions d'application. Le risque est qu'ils ne parviennent pas à transposer correctement ces automatismes dans un autre contexte ou qu'ils les utilisent à mauvais escient.

L'utilisation de l'indicateur coloré est un exemple typique de raisonnement méthodologique transposable d'un TP à un autre, la connaissance de son fonctionnement étant nécessaire à une transposition réussie. L'absence d'argument théorique dans les échanges portant sur ce thème nous conduit à faire l'hypothèse que l'indicateur coloré est considéré par les enseignants comme un outil au service de la détermination du volume équivalent. Si l'indicateur coloré n'est pas considéré comme un objet d'étude à d'autres occasions, il est à craindre que plus tard les étudiants ne sachent pas davantage expliquer son fonctionnement que

ceux préparant le CAPES de physique-chimie interrogés par Ganaras et Dumon [9].

En L1, le nombre parfois réduit de séances de TP implique des choix de la part des enseignants les conduisant alors à se focaliser sur le manipulateur qui ne peut se travailler qu'en TP. Cette contrainte institutionnelle pourrait expliquer la faible importance du méthodologique que montre notre étude, que ce soit dans les discours introductifs ou lors des échanges avec les étudiants.

Dans leurs échanges avec les étudiants, partie non préparée des propos tenus durant la séance, les enseignants n'ont peut-être pas le réflexe d'apporter un argument théorique lorsqu'une question d'ordre méthodologique leur est posée. Cela expliquerait qu'un grand nombre d'interactions méthodologiques comportent uniquement un argument manipulateur. Le TP est certes le lieu privilégié pour acquérir des savoir-faire pratiques, mais aussi un lieu où faire de l'expérimental permet de travailler le théorique autrement (le théorique pour justifier le manipulateur). Au regard de notre étude, il semble nécessaire de sensibiliser les enseignants des universités au lien à opérer entre théorie et pratique par le biais de formations qui porteraient sur les interactions enseignant-étudiants.

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet LAECU (Langages et activités expérimentales en chimie à l'université), avec le soutien de la mission recherche de l'Institut national supérieur du professorat et de l'éducation (Inspé) de Créteil.

Note et références

(1) Sauf pour une solution très foncée et une burette à bande photophore.

[1] S. Haurat, Une activité expérimentale d'investigation en trois séances pour découvrir les titrages acido-basiques, *L'Act. Chim.*, **2015**, 392, p. 29-32.

[2] L. Heinrich, M. Benaskar, Étude cinétique en TP d'investigation, *L'Act. Chim.*, **2018**, 433, p. 49-51.

[3] X. Bataille, E. Beauvieux, N. Cheymol, V. Mas, M. Vigneron, Un TP de chimie analytique en séquence d'investigation, *L'Act. Chim.*, **2009**, 333, p. 42-47.

[4] N. Reid, I. Shah, The role of laboratory work in university chemistry, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2007**, 8, p. 172-185.

[5] A. Tiberghien, L. Veillard, J.-F. Le Maréchal, C. Buty, R. Millar, An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries, *Sci. Educ.*, **2001**, 85, p. 483-508.

[6] P. Laszlo, *La parole des choses*, Hermann, Paris, **1993**.

[7] J. Clanet, Étude des organisateurs des pratiques enseignantes à l'université, *Revue des sciences de l'éducation*, **2001**, 27, p. 327-352.

[8] A. Duguet, S. Morlaix, Le numérique à l'université : facteur explicatif des méthodes pédagogiques ?, *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, **2018**, 34(3), <https://journals.openedition.org/ripes/1682>

[9] K. Ganaras, A. Dumon, Intégration conceptuelle des équilibres acide-base par les étudiants français préparant le CAPES, *Didaskalia*, **2009**, 35, p. 59-80.

**Sandra JAVOY^{1,2}, Sophie CANAC^{3,2} et Isabelle KERMEN^{4,2},
maîtresses de conférences.**

¹Université d'Orléans.

²LDAR, Universités de Paris, Artois, CY Cergy-Université Paris, Paris Est Créteil, Rouen.

³Université Paris Est Créteil, Bonneuil.

⁴Université d'Artois, Lens.

* sandra.javoy@univ-orleans.fr ; sophie.canac@u-pec.fr ;
isabelle.kermen@univ-artois.fr