

Difficultés d'apprentissage du concept de concentration en chimie : impact de remédiations impliquant des conflits cognitifs

Willame, Bénédicte

Unité de didactique de la chimie, Département de chimie, Université de Namur - Belgique

En chimie, la concentration d'un soluté est un concept central qui intervient tout au long du cursus scolaire. Après son apprentissage, la conception que l'élève s'est construite n'est pas toujours en adéquation avec la conception experte transposée à l'école. Lors d'une première phase, notre recherche a mis en évidence les principales préconceptions erronées des apprenants. Un outil d'auto-évaluation a été créé afin d'orienter l'élève possédant une conception erronée vers une remédiation adaptée. Deux activités visant à remédier à deux conceptions erronées récurrentes ont été conçues et soumises aux apprenants en difficulté. Les résultats obtenus montrent que des conflits cognitifs ont lieu et qu'ils aboutissent dans la majorité des cas à un changement conceptuel positif. Les perspectives de notre recherche sont de s'appuyer sur les recherches en neurosciences qui proposent d'ajouter une approche métacognitive centrée sur le contrôle inhibiteur des conceptions erronées.

Mots-clés : Concentration chimique – Préconceptions – Conflit cognitif – Changement conceptuel – Neurosciences

Introduction

Le chimiste travaille notamment, à partir de solutions réalisées par la dissolution d'un soluté dans un solvant. La concentration chimique en tant que mesure d'une quantité de soluté rapportée au volume de solution est une grandeur indispensable au scientifique qui manipule ces solutions. Dès le début de l'enseignement de la chimie en Belgique francophone (élèves de 14-15 ans, grade 9), l'apprentissage de la grandeur concentration est introduit mais de réels obstacles empêchent l'apprenant de se familiariser avec ce concept central en chimie.

Dans une précédente publication (Willame et Snauwaert, 2015) nous avons présenté un outil didactique d'auto-évaluation qui permet de révéler très rapidement à un élève les erreurs qu'il commet lorsqu'il utilise le concept de concentration chimique. Cette présente communication propose les remédiations conçues pour deux erreurs récurrentes. L'objectif est de provoquer un changement conceptuel chez l'apprenant. Les résultats de ces remédiations sont également présentés et une discussion permet ensuite de donner les étapes suivantes de la recherche.

Cadre théorique

« L'apprentissage ne se fait pas à partir de rien : l'élève a des façons de penser les questions scientifiques et des connaissances avant enseignement, de sorte que celui-ci ne vise pas simplement à apporter des connaissances mais à changer les conceptions des élèves. Ces conceptions ont une résistance au changement car elles sont, dans une certaine mesure, cohérentes et efficaces (...) » (Orange et Orange-Ravachol, 2013, p.49).

Christian et Denise Orange (2013) résumant ainsi le fait que le cerveau contient un bagage de préconceptions qui constituent de réels obstacles à l'apprentissage.

Selon les auteurs, il existe des divergences de vue sur l'origine des préconceptions :

Vosniadou (1992) propose les conceptions des élèves comme faisant partie d'un référentiel théorique cohérent dans lequel ils chercheront à inscrire les nouveaux apprentissages. Il serait formé d'un certain nombre de croyances ou «cadres théoriques naïfs» comme : « *Ce qui ne se voit plus, n'existe plus* ». Un autre courant s'oppose assez radicalement au précédent et selon son principal défenseur, diSessa (2008), les élèves ne formulent pas leurs conceptions à partir de théories bien élaborées, mais à partir d'habitudes interprétatives intuitives et élémentaires (p-prims). La causalité proportionnelle en est un exemple classique : « *Si la valeur de A augmente alors celle de B augmente aussi* ».

D'autres auteurs proposent des variantes de ces modèles mais toutes convergent toutefois vers une idée commune : pour permettre à l'apprenant de modifier sa conception erronée en conception experte, il doit se rendre compte par lui-même de l'incompatibilité de sa conception et construire une conception nouvelle plus adaptée. Ainsi un conflit cognitif doit avoir lieu et c'est lui qui permettrait le changement conceptuel (Astolfi *et al.*, 2008).

A partir des années 2000, les recherches en neurosciences ont permis de proposer un nouveau modèle : il ne s'agirait pas « d'effacer » les réseaux neuronaux en place, mais d'apprendre à inhiber ceux menant à la formulation de réponses inappropriées et activer ceux conduisant à la conception experte (Houdé, 2004 ; Potvin, 2011 ; Masson, 2012).

Question de recherche

L'un des rôles du didacticien est de montrer à l'apprenant le chemin pour arriver à la conception experte. Pour ce faire, il doit connaître à quel « endroit » cognitif de départ se trouve l'élève. Une stratégie de travail pour le didacticien est d'étudier les erreurs commises par les apprenants dans le sens où elles sont le témoin des écarts entre la conception de l'élève et la conception experte à laquelle l'apprenant doit aboutir. Astolfi les présente comme des « *symptômes intéressants d'obstacles auxquels la pensée des élèves est affrontée* » (Astolfi, 1997, p. 15).

Nos questions de recherche sont : « Sur base des erreurs commises par l'apprenant et de leur(s) origine(s), quelles activités de remédiation concevoir de façon à créer un conflit cognitif chez l'apprenant ? Leur mise en œuvre permet-elle d'amener l'apprenant à une conception plus experte du concept de concentration chimique ? ».

Méthodologie

Lors de la première phase de la recherche (2013 et 2014), nous avons réalisé une évaluation diagnostique des connaissances et des processus acquis par les élèves sur le concept de concentration chimique. Des questionnaires ont ainsi été proposés à 70 élèves du secondaire supérieur belge (grades 10 à 12). Cette évaluation diagnostique a permis de mettre en évidence les cinq principales erreurs commises par les apprenants qui utilisent le concept de concentration en chimie dont : « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* » et « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* ». Sur base de ces résultats, nous avons construit un outil d'auto-évaluation constitué d'un questionnaire à proposition multiple et choix unique (Willame et Snauwaert, 2015, p. 203-205) et d'une grille de correction que l'élève remplit lui-même (*ibid.*, p. 196). Des entretiens d'explicitation ont ensuite été menés en 2014 avec 13 élèves de grade 10 de façon à mettre en évidence des dysfonctionnements à l'origine des deux erreurs commises (*ibid.*, p. 192-194).

Sur base des résultats obtenus, une remédiation a été conçue pour chacune des deux erreurs. L'objectif de ces activités est de provoquer chez l'apprenant un conflit perceptivo-cognitif qui l'oblige à remettre en question sa conception erronée et provoquer un changement conceptuel.

De mars à mai 2015, l'outil d'auto-évaluation et les deux activités ont été proposés à 40 élèves de grade 10 de deux écoles belges francophones. La fréquence des conflits cognitifs ayant abouti à la conception experte a été calculée. Des questions post-remédiation similaires (questions identiques mais valeurs différentes) à celles posées lors de l'auto-évaluation ont permis de mesurer l'augmentation de fréquence des réponses correctes.

Les activités de remédiations proposées

Remédiation 1 à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* »

La phase diagnostique a mis en évidence que plus de la moitié des élèves interrogés (37 sur 70) ne considèrent pas la concentration comme un rapport. Pour de nombreux élèves, il y a confusion entre la concentration en soluté et la quantité de matière de ce soluté. L'objectif de la remédiation est de permettre à l'apprenant de se rendre compte que la concentration correspond à une proportion de soluté dans un volume de solution. L'outil numérique a été choisi : une application interactive¹ permet de créer virtuellement une solution aqueuse et d'en connaître à tout moment la concentration. L'élève est invité à prévoir la valeur de la concentration en soluté après trois étapes successives : l'ajout de solvant, la vidange d'une partie de la solution, l'évaporation de solvant. Pour chacune des étapes, l'élève écrit sa prévision de concentration et manipule ensuite l'application numérique de façon à réaliser les modifications proposées. L'objectif est qu'il confronte sa prévision à la concentration lue à l'écran. Lorsque les valeurs ne sont pas identiques, un conflit perceptivo-cognitif devrait avoir lieu obligeant l'apprenant à modifier sa conception erronée. Il est finalement demandé à l'élève d'explicitement par écrit la conception à laquelle il aboutit.

Remédiation 2 à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de solution* »

Lors de la phase diagnostique, notre recherche a montré que plus d'un élève sur cinq (21%) considèrent le volume de solvant et non de solution pour le calcul de la concentration en soluté dans la solution. Les entretiens d'explicitation ont mis en évidence que le dysfonctionnement serait lié à la non considération par certains apprenants de la place supplémentaire occupée par le soluté. Pour certains, « *Le soluté se dissout et donc il disparaît* » (cadre théorique naïf), pour d'autres « *Le soluté comblerait les espaces entre les molécules de solvant* ». La remédiation proposée s'appuie sur ces résultats. Elle fait appel à une manipulation simple : deux tubes à essai sont présentés à l'élève. Le premier contient de l'eau dont le niveau est marqué par un trait et le second contient du sel de cuisine (chlorure de sodium). Selon le même principe que la remédiation 1, il est demandé à l'apprenant de prévoir ce que va devenir le niveau de solution suite à l'ajout du sel dans l'eau. L'élève réalise ensuite la manipulation et confronte sa prévision à son observation. Si une différence est observée, un conflit perceptivo-cognitif devrait se réaliser.

¹ Application interactive de « PhET », conçue à l'Université du Colorado Boulder - téléchargeable gratuitement à l'adresse : <https://phet.colorado.edu/fr/simulation/legacy/concentration>

Résultats

Remédiation 1 à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* »

L'outil d'auto-évaluation propose 7 questions qui nécessitent, pour répondre sans erreur, d'assimiler la grandeur concentration à une proportion. Sur les 40 élèves évalués, 12 répondent de façon erronée à au moins 3 questions. La remédiation utilisant l'outil numérique leur a été proposée.

Pour la présentation des résultats, nous appellerons « *conflit cognitif positif* », un conflit qui aboutit à une explicitation correcte de l'élève.

Le tableau 1 présente le nombre et la fréquence de prévisions incorrectes et de conflits cognitifs positifs au terme des trois étapes de la manipulation de l'application numérique.

Ajout de solvant	Vidange de la moitié de solution	Evaporation de solvant
5 prévisions incorrectes (42%)	5 prévisions incorrectes (42%)	7 prévisions incorrectes (58%)
3 conflits cognitifs positifs (60%) <i>1 conflit cognitif non explicité</i> <i>1 conflit cognitif non abouti</i>	5 conflits cognitifs positifs (100%)	4 conflits cognitifs positifs (57%) <i>2 conflits cognitifs non explicités</i> <i>1 conflit cognitif non abouti</i>

Tableau n°1 : Fréquences de conflits cognitifs provoqués par la remédiation 1

Le test post-remédiation proposait 4 questions similaires (questions identiques mais valeurs différentes) à 4 questions de l'outil d'évaluation pré-remédiation. Les résultats obtenus pour les 12 élèves sont présentés dans le tableau 2.

Questions	Fréquence d'erreurs avant remédiation	Fréquence de réponses correctes après remédiation	
Q1	9/12	7/9	78%
Q6	11/12	8/11	73%
Q10	4/12	3/4	75%
Q15	9/12	7/9	78%

Tableau n°2 : Résultats des tests post-remédiation 1

Remédiation 2 à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de solution* »

L'outil d'auto-évaluation propose 4 questions qui nécessitent, pour répondre sans erreur, de considérer le volume de solution (et non de solvant) pour calculer la concentration. Sur les 40 élèves évalués, 26 répondent de façon erronée à au moins 2 questions. Ils ont été soumis à la remédiation utilisant la manipulation d'ajout de sel dans de l'eau.

Le tableau 3 présente le nombre et la fréquence d'élèves par catégorie de réponses et de conflits cognitifs ayant aboutis (« *conflits cognitifs positifs* »).

« <i>Le niveau de solution reste identique</i> »	« <i>Le niveau de solution monte</i> » (réponse correcte)	« <i>Le niveau de solution baisse</i> »
20 élèves (77%)	5 élèves (19%)	1 élève (4%)
17 conflits cognitifs positifs (85%) <i>2 conflits cognitifs non explicités</i> <i>1 conflit cognitif non abouti</i>		1 conflit cognitif positif (100%)

Tableau n°3 : Prévisions et fréquences des conflits cognitifs - Remédiation 2

Le test post-remédiation proposait 4 questions similaires (questions identiques mais valeurs différentes) à 4 questions de l'outil d'évaluation pré-remédiation. Les résultats obtenus pour les 26 élèves sont présentés dans le tableau 4.

Questions	Fréquence d'erreurs avant remédiation	Fréquence de réponses correctes après remédiation	
Q1	17/26	14/17	82%
Q4	14/26	8/14	57%
Q9	26/26	4/26	15%
Q13	20/26	8/20	40%

Tableau n°4 : Résultats des tests post-remédiation 2

Discussion et perspectives

Chacune des remédiations créées a permis de provoquer des conflits cognitifs positifs chez la majorité des apprenants en difficulté. Globalement, la progression de la fréquence de réponses correctes à des questions nécessitant d'utiliser la conception experte est également positive. Toutefois, malgré un conflit cognitif positif, tous les apprenants ne répondent pas correctement aux questions post-remédiation. Les préconceptions semblent évoluer vers des conceptions plus expertes mais au moment de répondre à des questions demandant la maîtrise du concept de concentration chimique, il semble que tous les interrogés n'utilisent pas la conception experte induite suite au conflit cognitif. Comme le propose les neuroscientifiques, les apprenants oscilleraient entre leur conception erronée et celle experte : l'échec serait lié à un défaut d'inhibition d'une heuristique erronée.

L'étape suivante de notre recherche est de proposer une suite à chacune des remédiations étudiées en y ajoutant une approche métacognitive centrée sur le contrôle inhibiteur des conceptions erronées. Les apprentissages à l'inhibition proposés dans des études chez des élèves du primaire (Lubin et *al.*, 2012) pourraient être testés afin de vérifier leur performance dans le cadre de l'apprentissage du concept de concentration chimique.

Références bibliographiques

- Astolfi, J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Issy-les-Moulineaux : ESF.
- Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. & Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences (2è éd.)*. Bruxelles : De Boeck.
- diSessa, A. A. (2008). A Bird's-Eye View of the "Pieces" vs. "Coherence" Controversy (From the "Pieces" Side of the Fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp.35-60). New York : Routledge.
- Houdé, O. (2004). *La psychologie de l'enfant (6è éd.)*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Lubin, A., Lanoë C., Pineau A. & Rossi S. (2012). Apprendre à inhiber : une pédagogie innovante au service des apprentissages scolaires fondamentaux (mathématiques et orthographe) chez des élèves de 6 à 11 ans. *Neuroéducation*, 1(1), 55-84.
- Masson, S. (2012). *Etude des mécanismes cérébraux liés à l'expertise scientifique en électricité à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle*. Thèse en didactique des sciences, Service des bibliothèques, Université de Montréal, Québec. En ligne <http://www.archipel.uqam.ca/4876/1/D2287.pdf>

- Orange, C. & Orange-Ravachol, D. (2013). Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en éducation*, 17, 46-61.
- Potvin, P. (2011). *Manuel d'enseignement des sciences et de la technologie : pour intéresser les élèves du secondaire*, 207-225. Québec : Multi Mondes.
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood. *Cognitive psychology*, 24(4), 535-585.
- Willame B. & Snauwaert P. (2015). Les difficultés rencontrées dans l'apprentissage du concept de concentration en chimie. *Spirale, Revue de Recherches en Education*, 55(supplément électronique), 177-205. Disponible en ligne : <http://spirale-edu-revue.fr/spip.php?article1238> (consulté le 15/12/2015).