

## RESEARCH OUTPUTS / RÉSULTATS DE RECHERCHE

Étude des représentations dynamiques microscopiques d'une réaction chimique à l'aide de la technique du slowmation Étude transversale auprès d'élèves de grades 9 à 12 en Belgique francophone

Dehon, Jeremy; Snauwaert, Philippe; Simon, Justine

*Published in:*

Actes des Onzièmes Rencontres Scientifiques de l'Association pour la Recherche en Didactique des Sciences et Technologies

*Publication date:*

2021

*Document Version*

le PDF de l'éditeur

[Link to publication](#)

*Citation for published version (HARVARD):*

Dehon, J, Snauwaert, P & Simon, J 2021, Étude des représentations dynamiques microscopiques d'une réaction chimique à l'aide de la technique du slowmation Étude transversale auprès d'élèves de grades 9 à 12 en Belgique francophone. Dans Actes des Onzièmes Rencontres Scientifiques de l'Association pour la Recherche en Didactique des Sciences et Technologies. p. 291-298.  
<[https://ardist2020.sciencesconf.org/data/pages/ACTES\\_LAST.pdf](https://ardist2020.sciencesconf.org/data/pages/ACTES_LAST.pdf)>

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **ÉTUDE DES REPRÉSENTATIONS DYNAMIQUES MICROSCOPIQUES D'UNE RÉACTION CHIMIQUE À L'AIDE DE LA TECHNIQUE DU SLOWMATION ÉTUDE TRANSVERSALE AUPRÈS D'ÉLÈVES DE GRADES 9 À 12 EN BELGIQUE FRANCOPHONE**

Jérémy Dehon<sup>1, 2, 3</sup>, Justine Simon<sup>1, 2, 3</sup>, Philippe Snauwaert<sup>1, 2, 3</sup>

1 : Institut de Recherche en Didactique et Education de l'UNamur (IRDENa)

2 : Unité de recherche en didactique de la chimie (URDiC)

3 : Université de Namur (UNamur)

Résumé : La réaction chimique est l'une des notions-clés dans l'enseignement de la chimie en Belgique francophone. Or, la représentation dynamique de la réaction chimique au niveau microscopique est à la fois peu abordée dans les classes et constitue une difficulté majeure pour les élèves. À l'aide de l'outil slowmation, nous avons conçu une activité qui permet à des élèves de générer eux-mêmes des animations courtes rendant compte de leurs conceptions du mécanisme dynamique de réactions chimiques données. Les résultats montrent que les conceptions de la réaction chimique (rupture spontanée des liaisons, interprétation additive, etc.) sont très diversifiées et co-existent en classe. L'interprétation des signes composant l'équation chimique semble jouer également un rôle déterminant dans le choix de représentation des élèves.

Mots-clés : réaction chimique, niveau microscopique, conceptions alternatives, slowmation, équation chimique

## **INSIGHTS INTO STUDENT'S REPRESENTATIONS OF CHEMICAL REACTIONS AT THE SUBMICROSCOPIC LEVEL BY USING SLOWMATION TECHNIQUE A TRANSVERSAL STUDY WITH STUDENTS OF GRADE 9 TO 12 I N THE FRENCH-SPEAKING PARTS OF BELGIUM**

Abstract : Chemical reaction is one of the key topics in chemistry teaching in the French-speaking Parts of Belgium. However, dynamic representations of chemical reaction at the submicroscopic level are less used in classrooms. In fact, producing these types of representations is a major issue for many students. Using slowmation technique, we designed an activity allowing students to generate self-made brief animations representing their conceptions of dynamic mechanisms of targeted chemical reactions. Results show that various conceptions of chemical reactions co-exist in classrooms. Interpretations by students of the chemical equation signs seems to play an important role in the student's choice of representations.

Keywords : chemical reaction, chemical equation, submicroscopic level, slowmation, student-generated animations

## INTRODUCTION

La réaction chimique constitue l'une des idées-clés (« big ideas ») de la chimie, tant dans le cadre de sa pratique professionnelle que dans le cadre éducatif (Talanquer, 2015). L'idée générale que la matière se transforme peut être décrite selon les trois niveaux de savoir constituant le « chemistry triplet » de Johnstone (1982,1991). Or, il s'avère que la représentation de la réaction chimique au niveau microscopique constitue une tâche complexe pour les apprenants au cours de chimie (Tasker & Dalton, 2008 ; Talanquer, 2009 ; Dehon & Snauwaert, 2015). Plus particulièrement, les représentations dynamiques impliquant le mouvement des particules lors de réactions chimiques font rarement l'objet de leçons dédiées au cours de chimie dans l'enseignement secondaire. Il en ressort une lacune importante dans le réseau cognitif des élèves : si l'écriture symbolique (équations chimiques, formules chimiques) est parfois maîtrisée par les élèves, le contenu microscopique qu'elle représente est parfois limitée à des représentations statiques qui ne permettent pas de proposer un mécanisme satisfaisant. Comme d'autres chercheurs (Hoban, 2007 ; Kamp & Deaton, 2013 ; Nielsen & Hoban, 2015 ; Wishart, 2017, Berg et al., 2019), nous avons souhaité utiliser la technique du slowmation afin que des élèves puissent générer leur propre animation. D'une part, nous vérifions si les représentations alternatives de la réaction chimique issues de la littérature scientifique (interprétation additive, interprétation de type agent/action/patient, etc.) sont repérables dans les animations générées par les élèves. D'autre part, nous portons notre regard sur la capacité des élèves à utiliser une équation chimique (niveau symbolique) pour proposer une première visualisation statique de la réaction chimique au niveau microscopique.

## CONTEXTE ET CADRES THEORIQUES

Le « chemistry triplet » de Johnstone (1982, 1991) constitue l'un des cadres théoriques les plus féconds de ces trente dernières années (figure 1.). Le triangle permet de représenter les trois niveaux de pensée ou « niveaux de savoir » selon lesquels on peut discuter, enseigner, apprendre les phénomènes, les objets et les concepts associés à la chimie. Malgré quelques critiques et réajustements (Talanquer, 2011), le triangle de Johnstone reste d'actualité dans l'enseignement de la chimie en Fédération Wallonie-Bruxelles (FWB). En effet, dans les programmes de chimie de l'enseignement secondaire, le phénomène chimique est décrit différemment en fonction des trois niveaux de savoir : selon une transformation chimique au niveau macroscopique, selon une réaction chimique au niveau microscopique et selon une équation chimique au niveau symbolique. Notre recherche porte ainsi sur la capacité des élèves à construire une représentation microscopique, statique ou dynamique, de la réaction chimique (niveau microscopique) à partir d'une équation chimique (niveau symbolique). Nous n'envisagerons pas, dans cette étude, les aspects relatifs à la transformation chimique et aux liens qu'elle entretient avec la réaction chimique et l'équation chimique.

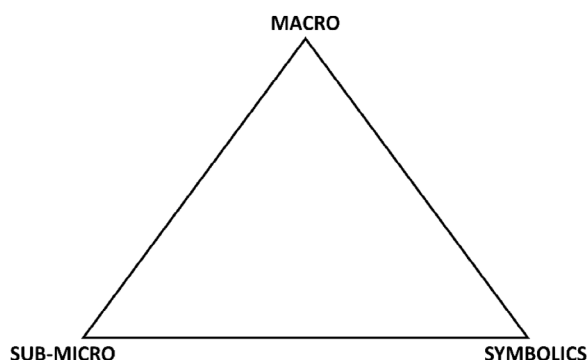


Figure 1. : Triangle de Johnstone (ou « chemistry triplet ») représentant les trois niveaux de pensée (« levels of thought ») en chimie : macroscopique, submicroscopique et symbolique (Johnstone, 1991). Ces « niveaux de pensée » sont appelés « niveaux de savoir » dans la littérature francophone.

Les représentations au niveau microscopique, qu'elles soient statiques ou dynamiques, restent étonnamment peu présentes dans le programme de chimie en FWB (2014). Face à un tel manque, il n'est dès lors pas surprenant que les élèves construisent leur propre modèle mental - souvent flou - de ce qui se déroule dans l'intimité des atomes lors d'une réaction chimique (Dehon & Snauwaert, 2015 ; Dehon, 2018). Des conceptions alternatives de la réaction chimique comme l'interprétation additive<sup>1</sup> (Yitbarek, 2011) ou l'interprétation agent-action-patient<sup>2</sup> (Gauchon, 2005) sont aussi décrites dans la littérature scientifique. Afin d'explorer les représentations des élèves, nous adoptons le modèle particulière de Cheng (2018). Dans le modèle particulière, on représente les atomes sous la forme de sphères, sans prise en compte des électrons, des protons, des neutrons ou le développement des types de liaisons dans une molécule. Enfin, les représentations dynamiques seront supportées par l'outil « slowmation ». Popularisée par Hoban au milieu des années 2000 (Hoban, 2005), la technique du slowmation, ou animation lente, est une technique simple et rapide qui permet de réaliser des vidéos destinées à l'enseignement. Pour réaliser des vidéos en slowmation, les élèves doivent réaliser des photos d'objets qu'ils positionnent différemment entre chaque photo. À l'aide d'une application ou d'un logiciel, ces photos défilent à une vitesse entre 2 à 10 images par seconde, ce qui donne une impression de mouvement.

## QUESTIONS DE RECHERCHE

Nous posons deux questions de recherche :

- Dans quelle mesure (notamment en termes de fréquence) les conceptions alternatives de la réaction chimique observées dans la littérature scientifique sont-elles relevées dans notre activité « slowmation » ?
- Quelles sont les significations liées à l'interprétation des symboles d'une équation chimique susceptibles d'influencer la visualisation d'un mécanisme dynamique de la réaction chimique au niveau microscopique ?

## METHODOLOGIE

Après un pré-test auprès d'étudiants en AES<sup>3</sup>Schimie afin d'affiner notre dispositif, nous avons défini 8 équations chimiques (4 équations chimiques principales et 4 équations-défis) à représenter selon une animation slowmation. Cette animation est supportée par l'application « Stop Motion Studio », disponible gratuitement, et téléchargée sur des tablettes fournies aux élèves/étudiants. Les équations sont choisies dans le but d'augmenter progressivement la difficulté des représentations microscopiques. Elles sont données aux élèves au fur et à mesure de l'activité, sans délai fixe entre équations chimiques. La consigne est de « représenter, sous forme d'une courte vidéo, la réaction chimique indiquée via l'équation chimique, à l'aide des aimants et de

---

1 Selon cette interprétation, les corps purs composés sont constitués de corps purs simples, dont l'intégrité est conservée. Par exemple, la molécule de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> est constituée d'un atome de carbone C et d'une molécule de dioxygène O<sub>2</sub>.

2 Selon cette interprétation, il existe toujours un réactif plus actif que l'autre dans une réaction chimique. Le protagoniste le plus actif est appelé « agent », alors que le protagoniste le moins actif est appelé « patient ». Par exemple, lors de la combustion du carbone, c'est le carbone qui est le patient alors que le dioxygène est l'agent.

3 Agrégation de l'Enseignement Secondaire Supérieur – L'AESS est un cycle de 30 crédits permettant à un détenteur d'un master en sciences chimiques (ou autres masters à caractère scientifique) d'enseigner au degré supérieur de l'enseignement secondaire en FWB.

l'outil d'animation ». Afin de réaliser ces vidéos, tous les élèves disposent du même matériel. Ils ont à leur disposition :

- une trentaine d'aimants, représentant chacun un atome, de cinq couleurs différentes ;
- un tableau blanc déposé horizontalement sur une table ;
- une feuille de consignes et une feuille vierge de description des vidéos ;
- une tablette placée sur un support.

L'étude a été réalisée avec la participation de cinq écoles secondaires en FWB, pour des élèves allant de la 3ème à la 6ème secondaire (N (élèves) = 93 ; N (groupes) = 38). Ces écoles font partie soit du réseau de la FWB, soit du réseau libre subventionné. Nous avons recueilli et analysé un total de 233 vidéos (tableau 1). Les élèves de quatrième année de l'enseignement secondaire n'ont pas été testés en raison de l'absence de contenus à enseigner relatifs au niveau microscopique dans le programme de chimie de cette année d'étude.

Nombre de vidéos	3ème année (3.G1→3.G17)	5ème année (5.G1→5.G8)	6ème année (6.G1→6.G13)	Total
Total	105	49	79	233
Équation 1 (E1)	17	8	13	38
Équation 2 (E2)	17	8	13	38
Équation 3 (E3)	17	8	13	38
Équation 4 (E4)	17	8	11	36
Défi 1 (D1)	17	8	9	34
Défi 2 (D2)	15	6	8	29
Défi 3 (D3)	4	2	6	12
Défi 4 (D4)	1	1	6	8

Tableau 1. : Nombre total de vidéos et nombre de vidéos par équation, réalisées par les élèves de troisième, cinquième et sixième année, testés dans notre échantillon.

## RESULTATS PRINCIPAUX

Nous avons analysé les animations créées par les élèves selon huit critères différents : rôle des collisions dans le mécanisme (C1), présence/absence de l'interprétation additive (C2), présence/absence de l'interprétation agent-action-patient (C3), mouvement des particules en fonction de l'état de la matière (C4), respect de la conservation du nombre d'atomes de chaque type lors de la réaction chimique (C5), représentation géométrique des molécules (C6), prédiction de produits/réactifs (C7), représentation monoparticulaire ou multiparticulaire de la réaction chimique (C8). Tous les critères ont été prévus a priori, en fonction des équations choisies. Les trois premiers relèvent plus de la compréhension dynamique de la réaction chimique quand les cinq derniers informent sur l'interprétation de la symbolique chimique pour construire des représentations microscopiques statiques des particules. Nous développerons, dans cette communication, les résultats associés aux conceptions alternatives de la réaction chimique (C1, C2, C3) et aux interprétations du coefficient stoechiométrique et des signes représentant les états de la matière (C4, C8).

## À PROPOS DES CONCEPTIONS ALTERNATIVES DE LA RÉACTION CHIMIQUE

Premièrement, nous avons relevé 4 types de collisions :

- synchronisée : la rupture et la formation de liaisons sont quasi simultanées.
- décalée de type I : la rupture des liaisons dans les réactifs survient avant la collision. Lorsque les réactifs se rapprochent les uns des autres, il y a rupture progressive des liaisons.
- décalée de type II : la collision entraîne la formation de liaisons. Puis, des liaisons se rompent pour accéder à une structure géométrique particulière.
- pas de rupture : il y a collision et formation de nouvelles liaisons mais aucune rupture de liaison n'est observée.

La figure 2. montre que la représentation des collisions chez les élèves testés, quelle que soit l'année d'étude, est majoritairement une représentation décalée de type I (46 % des vidéos<sup>4</sup>).

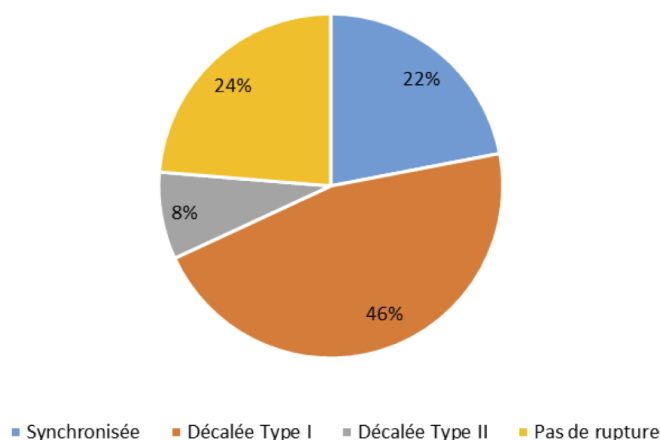


Figure 2. : Schéma en secteurs de la fréquence relative du type de représentation des collisions, produites dans les vidéos réalisées par les élèves testés, en considérant l'ensemble des vidéos (N= 233).

Il est à noter que près d'un élève sur quatre (24 %) n'envisage pas de rupture de liaison.

Deuxièmement, nous avons distingué deux types d'interprétation additive :

- interprétation additive de type I : les réactifs sont juxtaposés pour donner le produit, sans rupture de liaisons ;
- interprétation additive de type II : formation d'intermédiaires hypothétiques composés d'un même type d'atomes (exemple : « Fe<sub>2</sub> » et « O<sub>3</sub> » pour former le « Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> »). Ces molécules hypothétiques sont une décomposition en corps purs simples de la formule brute du produit de la réaction.

Les interprétations additives de type I et de type II sont plus fréquentes chez les élèves de troisième année (38 %) que chez les élèves de cinquième (29 %) et sixième année (15 %). Certaines équations chimiques (formation de l'alumine, formation de l'ammoniac) sont aussi plus susceptibles de produire l'interprétation additive chez les élèves.

Troisièmement, des représentations qui pourraient relever de l'interprétation « agent-action-patient » (AAP) ne sont repérées que dans moins de 20 % des vidéos créées par les élèves. En l'absence d'entretiens avec les élèves pour s'assurer de la présence de l'interprétation AAP, 4 Cela signifie que nous avons comptabilisé 107 vidéos comprenant une représentation d'une collision de type I sur les 233 vidéos recueillies, ce qui donne une fréquence relative de 46 %.

nous émettons une certaine réserve sur ce résultat. De plus, il est probable que l'outil slowmation en lui-même provoque ce constat : il est en effet expressément demandé de produire une animation dynamique, ce qui impliquerait, pour les élèves, le mouvement de tous les partenaires réactionnels. Ces trois résultats nous permettent de répondre partiellement à notre première question de recherche : il semble que des conceptions alternatives de la réaction chimique apparaissent en des proportions non-négligeables chez les élèves belges.

### À PROPOS DE L'INTERPRÉTATION DES SIGNES DE L'ÉQUATION CHIMIQUE

L'analyse de l'interprétation des signes représentant les états de la matière ((s) ; (l) ; (g)) a fait émerger un résultat remarquable. Parmi les 84 vidéos produites relativement à une équation chimique contenant une indication claire d'un état solide, on peut observer 35 vidéos représentant un bloc compact d'atomes en mouvement. Ce constat peut être le produit de l'injonction paradoxale liée au slowmation : quel mouvement moléculaire doit-on envisager quand le réactif est déclaré à l'état solide ? Le caractère statique du solide est probablement négligé au profit de l'obligation de rendre compte d'une dynamique. En outre, l'état gazeux est représenté étrangement au niveau microscopique dans 32 vidéos : les atomes sont dissociés et se déplacent dans l'espace du cadre. Pour les élèves qui ont réalisé ces animations, l'état gazeux d'une substance implique donc la rupture des molécules constitutives afin d'assurer le caractère expansible des gaz.

Le coefficient stoechiométrique est aussi différemment interprété par les élèves testés. Nous avons discerné deux types d'usage :

- le coefficient indique un nombre strict de molécules : dans le cas de la combustion du carbone ( $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ), les élèves représentent un atome de carbone et une molécule de dioxygène comme réactifs. Une seule réaction est observée. Ce type de représentation est dit « monoparticulaire » ;
- le coefficient indique une proportion : dans le cas de la combustion du carbone, les élèves représentent plusieurs atomes de carbone et plusieurs molécules de dioxygène. Plusieurs réactions ont lieu simultanément et un excès peut être observé. Ce type de représentation est dit « multiparticulaire ».
- 

Sans surprise, ce sont les représentations de type monoparticulaire qui sont les plus fréquentes (88 % des vidéos analysées). Les représentations multiparticulaires sont liées essentiellement à une tâche particulière (Défi n°2) dans laquelle nous imposons de dessiner 4 molécules de dioxygène et 4 molécules de dihydrogène, dans le cadre de la formation de l'eau. En bref, si les élèves n'y sont pas forcés, la représentation monoparticulaire constitue de loin leur premier choix. Ceci peut également être une contrainte liée à l'outil slowmation. En effet, mettre en mouvement un grand nombre de particules (aimants) ajoute un travail supplémentaire et un investissement en temps que les élèves semblent vouloir éviter. Ces éléments de réponse éclairent la deuxième question de recherche : le traitement (parfois incorrect) des symboles des états de la matière et du coefficient stoechiométrique influence grandement les représentations dynamiques de la réaction chimique.

### CONCLUSIONS

Notre activité de représentation dynamique de la réaction chimique a relevé l'ensemble des défis que nous lui avons assignés. Conçue pour être simple, rapide et facile d'accès, elle se développe sur deux périodes de cours en conditions réelles. Ensuite, l'outil slowmation permet de révéler des conceptions alternatives du mécanisme réactionnel, qui seraient restées cachées

dans un simple exercice de représentation statique. Les catégories mises au jour concernant le rôle des collisions ou le type d'interprétation additive, pourront servir tant à la recherche en didactique qu'aux formateurs de professeurs. Enfin, les différentes interprétations des signes de l'équation chimique, rendues apparentes dans les animations produites par les élèves, laissent entrevoir des possibilités de diagnostics rapides pour les professeurs, ainsi que de séances de remédiation adaptées. La question de la dynamique dans le groupe d'élèves, notamment dans la prise de décision, ainsi que la question de l'apprentissage des concepts chimiques que cet outil pourrait favoriser, restent entières, amenant de facto à des perspectives de recherche enthousiasmantes.

## BIBLIOGRAPHIE

- Berg, A., Orraryd, D., Pettersson, A.J. & Hulten, M. (2019). Representational challenges in animated chemistry: self-generated animations as a means to encourage students' reflections on sub-micro processes in laboratory exercises. *Chemical Education Research and Practice*, **20**, 710-737.
- Cheng, M.W. (2018). Students' visualisation of chemical reactions - insights into the particle model and the atomic model. *Chemistry Education Research and Practice*, **19**, 227-239.
- Dehon, J. & Snauwaert, P. (2015). L'équation de réaction : une équation à plusieurs inconnues – Étude de productions d'élèves de 16-17 ans en Belgique francophone. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, **12**, 209-235.
- Dehon, J. (2018). *L'équation chimique, un sujet d'étude pour diagnostiquer les difficultés d'apprentissage de la langue symbolique des chimistes dans l'enseignement secondaire belge* (mémoire de thèse). Namur : PUN.
- FWB – Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles (2014). *Compétences terminales et savoirs requis en sciences de base et en sciences générales. Enseignement secondaire ordinaire de plein exercice, Humanités générales et technologiques*, Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, Bruxelles.
- Gauchon, L. (2005). Transformation chimique : conceptions des élèves / notion de réactif limitant. *Bulletin de l'Union des professeurs de physique et de chimie*, **99**, 733-746.
- Hoban, G. (2005). From claymation to slowmation: A teaching procedure to develop students' science understandings. *Teaching Science*, **51**(2), 26-30.
- Hoban, G. (2007). Using slowmation to engage preservice elementary teachers in understanding science content knowledge. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, **7**(2), 75-91.
- Johnstone, A.H. (1982). Macro- and microchemistry [Notes and correspondence]. *School Science Review*, **64**(227), 377-379.
- Johnstone, A.H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, **7**, 75-83.
- Kamp, B. et Deaton, C. (2013). Move, stop, learn: illustrating mitosis through stop-motion animation. *Science Activities*, **50**, 46-153.
- Nielsen, W. et Hoban, G. (2015). Designing a digital teaching resource to explain phases of the moon: a case study of preservice elementary teachers making a slowmation. *Journal of Research in Science Teaching*, **52**, 207-233.



- Talanquer, V. (2009). On cognitive constraints and learning progressions: the case of “structure of matter”. *International Journal of Science Education*, *31*, 2123-2136.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, *33*(2), 179-195.
- Talanquer, V. (2015). Central ideas in chemistry: an alternative perspective. *Journal of chemical education*, *93*(1), 3-8.
- Tasker, R. et Dalton, R. (2006). Research into practice: visualisation of the molecular world using animations. *Chemical Education Research and Practice*, *7*, 141-159.
- Wishart, J. (2017). Exploring how creating stop-motion animations supports student teachers in learning to teach science. *Journal of Research on Technology in Education*, *49*(1-2), 88-101.
- Yitbarek, S. (2011). Chemical reaction: diagnosis and towards remedy of misconceptions. *African Journal of Chemical Education*, *1*(1), 10-28.