

Effets de différentes modalités de mise en œuvre d'une séance de Travaux Pratiques sur l'apprentissage de la réaction chimique

MARIA AOUAD, COLETTE ANDREUCCI

Aix Marseille Université
ENS Lyon, ADEF EA 4671
France
mariaaouad@hotmail.com
colette.andreucci@ens-lyon.fr

ABSTRACT

This paper presents some results of a research carried out in Lebanon with grade 7 students in order to test the effects of the implementation of a labwork as MBL (Microprocessor Based Laboratory) against two other more classic methods (presentation of labwork, traditional labwork). The apprenticeship course focuses on the concept of chemical reaction and especially here on some language aspects of learning. More specifically, this paper is based on a comparison between the data of the pre-test and post-test to represent the chemical reaction. Some results are consistent with a positive effect of the modality of MBL work.

KEYWORDS

Chemical reaction, MBL, Lebanon, labwork

RÉSUMÉ

Cette contribution présente quelques résultats d'une recherche conduite au Liban auprès d'élèves de classe de 5ème dans le but de tester les effets de la mise en œuvre une séance de Travaux Pratiques (TP) sous forme d'ExAO (Expérimentation Assistée par Ordinateur) par rapport à deux autres modalités plus classiques (Exposé de TP et TP traditionnel). L'apprentissage concerné porte sur le concept de réaction chimique et plus particulièrement ici sur certains aspects langagiers de cet apprentissage. Plus précisément, l'article s'appuie sur une comparaison entre les données d'un pré-test et celles d'un post-test. Quelques résultats vont dans le sens d'un effet positif de la modalité de travail par ExAO.

MOTS-CLÉS

Réaction chimique, ExAO, Liban, TP

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Dans l'établissement scolaire du Liban, où nous avons mené nos investigations, l'enseignement des sciences se fait en français et deux périodes par semaine sont consacrées à la chimie. Le premier rapport à cette discipline et au concept de réaction chimique (RC) se fait en classe 5^{ème} (première année au collège). Selon le programme officiel, l'élève doit s'approprier ce concept alors qu'il n'a eu aucun enseignement sur les notions d'atome, d'élément chimique ou de classification périodique nécessaires à la compréhension de l'aspect microscopique de la RC. Les connaissances à construire devraient donc s'avérer particulièrement difficiles dans ce pays contrairement à d'autres où l'entrée dans le concept de RC se fait plus tardivement. En Grèce (Papageorgiou, Stamovlasis & Johnstone, 2013) la structure de la matière et les notions d'atome et de molécule sont enseignées en 5^{ème} alors que la RC est abordée au niveau microscopique en 4^{ème}. En France (Laugier & Dumon, 2000), au Maroc (Mrabet-Bader et al., 2008) et en Tunisie (Mzoughi-Khadhraoui, Dumon & Trabelsi-Ayadi, 2011) le premier rapport des élèves avec le concept de RC intervient en 1^{ère} année du lycée. Les élèves de ces différents pays ont ainsi déjà eu au collège un enseignement au cours duquel ont été abordés les concepts de substance chimique identifiable par ses propriétés et molécules constituées d'atomes. Ils savent donc en principe, qu'au cours d'une RC, la disparition de tout ou partie des réactifs et la formation des produits correspondent à un réarrangement d'atomes au sein de nouvelles molécules.

L'une des difficultés majeures de l'enseignement de la RC dans le cadre de notre recherche réside ainsi de la construction d'une représentation de la RC qui se fait uniquement dans le registre macroscopique (niveau manipulateur) et symbolique (équation nominale). En revanche, ceci devrait avoir pour avantage d'éviter les difficultés qui tiennent habituellement à une approche théorique et formelle prématurée du concept qui a souvent été dénoncée (Carretto & Viovy, 1994; Laugier & Dumon, 2000).

ÉTAT DES LIEUX SUR LA QUESTION

De nombreuses difficultés liées à la construction du concept de RC ont en effet été mises à jour. Plusieurs études ont ainsi montré qu'il s'agit d'un apprentissage éminemment complexe qui se heurte à de nombreux obstacles.

- du fait notamment de son «aspect multiforme» et des deux niveaux d'appréhension (microscopique et macroscopique) qu'il engage (Carretto & Viovy, 1994; Mzoughi-Khadhraoui & Dumon, 2012),

- des nombreux concepts sous-jacents qu'il implique (Bartlet & Plouin, 1994; Stravidou & Solomonidou, 1998),
- des différents registres (phénomènes, représentations symboliques, modèle) qu'il convoque (Larcher, Chomat & Lineatte, 1994; Roletto & Piacenza, 1994),
- des différents types de langage en jeu (Méheut, 1989),
- voire déjà de la difficulté dans laquelle les élèves se trouvent de faire la distinction entre transformation physique et chimique (Solomonidou & Stravidou, 1994).

Quant à eux, les travaux sur la place et le rôle des TICE dans l'enseignement sont également nombreux comme en témoignent notamment deux revues de questions (Pekdag & Le Maréchal, 2003; Roux & Le Maréchal, 2003; El Bilani, 2007).

La plupart des études conduites sur l'enseignement/apprentissage du concept de RC préconisent néanmoins un enseignement précoce si ce n'est aussi un enseignement à caractère expérimental. C'est pourquoi nous avons avancé l'hypothèse que l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) qui existe depuis plus de 30 ans (Nonnon & Laurencelle, 1972) pourrait apporter un plus dans la découverte de ce concept. L'ordinateur y est en effet utilisé comme un outil de laboratoire, qui remplace avantageusement la plupart des appareils de mesure utilisés. Au contraire des simulateurs, les données sont réelles, seuls les instruments de visualisation sont virtuels. L'environnement d'apprentissage utilise l'ordinateur en mode conversationnel, graphique et contrôle de procédés. Il permet à l'élève à la fois de paramétrer et contrôler une expérience réelle, d'acquérir les données et de visualiser celles-ci sous forme symbolique. Ce mode d'expérimentation ne présente donc pas, en principe, les limites habituelles de l'expérimentation virtuelle en laissant au contraire aux élèves l'occasion de se tromper, de réfléchir sur la conception, la conduite et les résultats de l'expérimentation et ses conclusions qui confirment ou réfutent les hypothèses initiales.

Selon nous, la prise en charge par l'ExAO d'une partie du travail de l'élève lors du TP, tel que la collecte des données et le traçage du graphique associé, devrait lui permettre de se concentrer sur la compréhension des concepts plutôt que sur l'aspect technique de l'activité de recueil et de représentation des données.

Plusieurs recherches menées au Laboratoire de robotique pédagogique de l'Université de Montréal en se basant sur le modèle de Recherche et de Développement technologique de Nonnon (1993) se sont intéressées au travail expérimental des élèves et ont montré :

- l'enrichissement du raisonnement des élèves lors de la juxtaposition des potentialités ExAO/SAO en mécanique (Riopel & Nonnon, 2005),
- une meilleure perception du caractère modélisable des résultats par la méthode de Regression Graphico-Statistiques (RGS) (Touma, 2005),

- l'acquisition du langage de codage graphique utilisable immédiatement par l'élève pour interpréter ses résultats expérimentaux (Saliba, 2011).

Notre travail se démarque toutefois à différents égards des recherches précitées qui ont été réalisées au lycée ou à l'université et menées dans les domaines de la physique, des mathématiques ou de la technologie. Il vise en effet à apporter de nouvelles données relatives au collège et au domaine de la chimie et ne concerne pas les nombreuses fonctions généralement très complexes de l'ExAO (équations de modélisation de la courbe, calcul d'incertitude ou construction des capteurs virtuels...) qui ne sont pas appropriées pour les élèves du cycle complémentaire impliqués dans notre étude.

MÉTHODE

Notre travail concerne une séquence d'enseignement constituée de trois séances (S1, S2 et S3) de cinquante minutes chacune réalisées dans trois classes de 5^{ème} du même établissement auprès de 100 élèves âgés de 12-13 ans.

Les trois groupes diffèrent exclusivement par la modalité expérimentale de la séance intermédiaire (S2) qui est de type cours en classe ordinaire pour G1, de type TP traditionnel pour G2, et de type TP informatisé dans un environnement d'ExAO pour G3 (tableau I).

Les caractéristiques socioculturelles des élèves sont censées être homogènes ainsi que leur niveau scolaire de départ qui a été contrôlé à partir des résultats scolaires de l'année antérieure et de la note de chimie du premier trimestre de l'année scolaire en cours (2012-2013).

Nous avons par ailleurs vérifié l'homogénéité des représentations et des connaissances initiales du savoir concerné des trois groupes en comparant leurs résultats à un pré-test construit à cette fin. Ceci constitue en effet une précaution méthodologique essentielle à l'interprétation ultérieure du progrès respectif des différents groupes après apprentissage (Tableau I).

Plusieurs types de données ont été recueillis afin d'être analysés et croisés. Les élèves ont été soumis à deux reprises (pré-test et post-test) à une épreuve de connaissances élaborée à partir de résultats issus de la littérature et des référentiels relatifs aux capacités attendues. Cette épreuve se compose de 12 items répartis en quatre catégories selon le contenu auquel elles se rapportent : les prérequis nécessaires à l'acquisition du concept de RC, ses langages, la notion d'énergie calorifique et l'interprétation des graphiques. Il a été précisé aux élèves que cette épreuve ne serait pas notée, que toutes leurs justifications étaient importantes. Nous avons recueilli de plus les comptes rendus des trois groupes pour S2 ainsi qu'une fiche d'appréciation de la séance.

Dans le cadre de cet article, nous nous en tenons à une présentation des résultats

TABLEAU 1

Présentation des trois modalités à l'œuvre dans la recherche

| | Modalité 1 | Modalité 2 | Modalité 3 |
|----------------------------------|--|---|-------------------|
| Lieu de déroulement de la séance | Classe | Laboratoire | |
| Manipulation | RC calorifique | | |
| Type de la séance | Exposé d'un TP | TP traditionnel | TP avec ExAO |
| Document à disposition | Fiche d'exposé de TP | Fiche de TP | |
| Modalité de travail | Travail de groupe | | |
| Matériel à disposition | Représenté | Réel | |
| Traces recueillies | Une fiche réponse/ quadrinôme trois graphiques | Un compte-rendu/ quadrinôme trois graphiques | |
| | Fiche d'appréciation individuelle de la séance | | |

relatifs à la comparaison entre le pré-test et le post-test des items portant sur l'appropriation du langage de la RC et sur la notion d'énergie calorifique.

RÉSULTS

Résultats relatifs au langage de la réaction chimique

Sur les items de cette catégorie le score global le plus élevé obtenu est 19 sur 21 (score maximal). Les performances ont été regroupées en deux niveaux (moyen et fort) afin de limiter la présence d'effectifs inférieurs à 10 dans les cellules. La répartition qui en découle (tableau 2) montre que le niveau de performance global au post-test est équivalent dans les trois groupes ainsi qu'il l'était déjà au pré-test ($X^2(2) = 1.16$, n.s).

TABLEAU 2

Répartition des élèves selon leur niveau de maîtrise du langage de la RC

| Score | G1 (N = 33) | G2 (N = 34) | G3 (N = 33) | Total |
|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| 0 à 9 | 10 (18*) | 11 (23*) | 7 (15*) | 28 (56*) |
| 10 à 19 | 23 (15*) | 23 (11*) | 26 (18*) | 72 (44*) |

*effectifs enregistrés au pré-test

On constate par ailleurs que, dans l'ensemble, les performances des élèves ont évolué entre le pré-test et le post-test. C'est ainsi que les scores inférieurs à 9/21 ont sensiblement régressé dans les trois groupes (passant de 18 à 10 en G1, de 23 à 11 en G2 et de 15 à 7 en G3), contrairement aux performances supérieures à 10 qui ont réciproquement nettement progressé (15 vs 23 en G1 ; 11 vs 23 en G2 ; 18 vs 26 en G3).

La moyenne des scores réalisés par chaque groupe (tableau 3) montre par ailleurs que les élèves de G3 obtiennent un score moyen (12.18) supérieur à ceux de G1 (11.09)

et G2 (10.58). La comparaison entre elles de ces moyennes à l'aide du t de Student pour échantillons indépendants confirme que les performances au post-test de G3 sont supérieures à celles de G1 ($t(64) = 2.51$, sign. à .02). En revanche les autres différences de performances (G1 vs G2 et G2 vs G3) ne sont pas significatives.

TABLEAU 3

Répartition de la moyenne des notes obtenues par les élèves des trois groupes au post-test

| | G1 (N = 33) | G2 (N = 34) | G3 (N = 33) |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Moyenne | 10.58 (*9.30) | 11.09 (*9.06) | 12.18 (*9.76) |
| Ecart-type | 2.26 (*2.48) | 3.06 (*2.92) | 2.86 (*2.94) |

*effectifs enregistrés au pré-test

Il semble donc que d'une part la maîtrise du langage de la RC se soit améliorée sous l'effet de la séquence d'apprentissage et que cette progression ait, d'autre part, une ampleur non semblable dans les trois groupes. L'ExAO a donc exercé un effet positif quant à cet aspect de l'apprentissage.

Comparaison des réponses des élèves aux différents items de cette catégorie

Traduction de la description d'une RC sous forme langagière en une équation nominale

On constate (tableau 4) que, globalement, le nombre des élèves qui ont décodé correctement la description langagière des deux réactions chimiques (score 2) a augmenté légèrement (passant de 53 au pré-test à 59 au post-test).

TABLEAU 4

Répartition du score obtenu par les élèves des trois groupes

| Score | G1 (N = 33) | G2 (N = 34) | G3 (N = 33) | Total |
|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|
| 0 | 1 (*3) | 4 (*6) | 3 (*4) | 8 (*13) |
| 1 | 13 (*13) | 9 (*11) | 11 (*10) | 33 (*34) |
| 2 | 19 (*17) | 21 (*17) | 19 (*19) | 59 (*53) |

* effectifs enregistrés au pré-test

Dans le détail, des réponses, (tableau 5) il apparaît que la bonne équation nominale a été choisie par la majorité des élèves de chaque groupe et ceci dès le pré-test. L'item s'est donc révélé relativement facile. On peut l'expliquer par la présence de traits de surface facilitant dans chacun des énoncés. Dans le premier cas il s'agissait juste en effet de reconnaître la signification de la flèche pour conclure à l'équivalence de sens

des deux formulations « l'hydroxyde de magnésium provient de la réaction de l'oxyde de magnésium avec l'eau » et « l'eau et l'oxyde magnésium régissent ensemble pour former l'hydroxyde de magnésium ». Et, dans le second cas, il convenait simplement de se souvenir que l'inscription d'un produit au-dessus d'une flèche symbolise la présence d'un catalyseur qui modifie la vitesse de RC.

TABEAU 5

Comparaison de l'effectif des réponses sur chaque énoncé de l'item

| | G1 | G2 | G3 | Total |
|---|-----------|-----------|-----------|--------------|
| a-L'hydroxyde de magnésium provient de la réaction de l'oxyde de magnésium avec l'eau | | | | |
| hydroxyde de magnésium \longrightarrow eau + oxyde de magnésium | 10 (*14) | 8 (*10) | 7 (*5) | 25 (*29) |
| eau + oxyde de magnésium \longrightarrow hydroxyde de magnésium | 23 (*19) | 26 (*24) | 26 (*28) | 75 (*71) |
| hydroxyde de magnésium + eau \longrightarrow oxyde de magnésium | 0 | 0 | 0 | 0 |
| b-L'eau oxygénée se décompose naturellement en dioxygène et eau liquide. Cette réaction est très lente. On peut provoquer la décomposition de l'eau oxygénée et on la rend très rapide par l'ajout d'une poudre noire : du dioxyde de manganèse | | | | |
| eau oxygénée + dioxyde de manganèse \longrightarrow eau + dioxygène | 4(*5) | 7(*9) | 10 (*11) | 21 (*25) |
| eau + dioxygène \longrightarrow eau oxygénée + dioxyde de manganèse | 1 (*0) | 2 (*4) | 0 (*2) | 3 (*6) |
| eau oxygénée (dioxyde de manganèse) \longrightarrow eau + dioxygène | 28 (*28) | 25 (*21) | 23 (*20) | 76 (*69) |

*effectifs enregistrés au pré-test ; équation correcte en italique

Du fait de l'importance des réussites dès le pré-test, les évolutions au post-test demeurent modérées : pour « a » (plus 4 élèves en G1 et 2 en G2) voire contredites (moins 2 élèves en G3) et pour « b » (idem en G1 ; plus 4 élèves en G2 ; plus 3 élèves en G3). On peut aussi expliquer l'absence de progrès plus marqués du fait que les élèves n'ont pas écrit des équations nominales en S2 puisque les produits obtenus n'étaient pas indiqués dans la fiche de TP et qu'ils n'étaient pas censés les reconnaître.

Appréciation d'énoncés

Dans un autre item, les élèves devaient réfuter un certain nombre d'énoncés faux qui leur étaient proposés (tableau 6). Pour l'affirmation 1, on constate une nette évolution dans le pourcentage global de bonnes réponses d'un test à l'autre (36 à 66). Elle s'avère cependant nettement plus restreinte en G1 que dans les autres groupes (plus 3 élèves en G1, 12 en G2 et 15 en G3). Il semble donc que la manipulation au laboratoire ait

aidé les élèves à mieux comprendre le concept de réactif qui ne disparaît pas mais qui se transforme ainsi que celui des produits qui n'apparaissent pas mais se forment. Toutefois, on note ici qu'au départ les élèves de G1 avaient mieux répondu que ceux des autres groupes. Au final, il n'y a donc pas de différence entre eux, la majorité des élèves de chaque groupe s'étant apparemment approprié l'idée de ce à quoi correspond un RC au niveau macroscopique.

TABLEAU 6*Répartition des bonnes réponses par les élèves des trois groupes au post-test*

| Énoncés | G1 | G2 | G3 | Total |
|---|----------|----------|----------|----------|
| 1. Au cours d'une RC des substances disparaissent et de nouvelles substances apparaissent | 23 (*20) | 18 (*6) | 25 (*10) | 66 (*36) |
| 2. Toutes réactions chimiques nécessitent la présence de 2 ou plusieurs réactifs | 15 (*15) | 17 (*19) | 17 (*16) | 49 (*50) |
| 3. Une RC est provoquée par l'homme alors que la transformation physique est naturelle | 20 (*18) | 22 (*21) | 26 (*24) | 68 (*63) |
| 4. Dans une RC, le poids des réactifs est toujours supérieur à celui des produits | 27 (*25) | 23 (*24) | 23 (*22) | 73 (*71) |
| 5. Les réactions chimiques sont des phénomènes artificiels et ne peuvent avoir lieu qu'entre les murs d'un laboratoire ou à la suite d'une intervention humaine | 20 (*15) | 24 (*9) | 23 (*18) | 67 (*42) |

* effectifs enregistrés au pré-test

Pour l'affirmation 2, seule la moitié ou presque des élèves de chaque groupe rejette l'idée que toute RC nécessite la présence de deux ou plusieurs réactifs. En fait, toutes les RC étudiées au cours de S1 et S2 impliquaient elles aussi deux réactifs. La séquence d'apprentissage n'a donc pas contribué à faire évoluer cette conception erronée. Il aurait évidemment fallu pour cela que l'enseignement prenne en compte des RC avec différents nombres de réactifs mais les contingences imposées par le matériel et les produits chimiques présents au laboratoire du collège ne l'ont pas permis. On pense que cette conception erronée devrait pouvoir être dépassée en classe de 4^{ème} lorsque les différents types de RC (synthèse, décomposition, remplacement...) seront abordés.

Les évolutions au post-test demeurent insignifiantes pour l'affirmation 3 qui se rapporte à des catégorisations spontanées que font les élèves des transformations de la matière. Seuls 2 élèves de plus en G1, 1 en G2 et 2 en G3 rejettent le fait qu'une RC est provoquée par l'homme et que la transformation physique est naturelle. On pense que l'ensemble des exemples de réactions chimiques « naturelles » abordées en classe (brunissement de la pomme, photosynthèse...), n'a pas permis aux élèves de

dépasser cet obstacle de catégorisation des transformations basé sur des critères non scientifiques et hérité de la vie quotidienne (Solomonidou & Stavridou, 1994).

Dans chacun des groupes, l'affirmation 4 a suscité le nombre de bonnes réponses le plus élevé au pré-test (25 ; 24 ; 22). En fait, la conservation de la masse durant une RC était abordée durant dernière séance avant la passation du pré-test, ce qui explique ces bons résultats obtenus dès le départ. On peut de plus expliquer l'absence de progrès au post-test du fait que les élèves n'ont pas mesuré la masse au cours de la RC, la séquence n'ayant pas pu ainsi contribuer à faire évoluer l'idée selon laquelle le poids des réactifs est toujours égal à celui des produits.

En revanche, les évolutions sont plus nettes pour l'affirmation 5 qui se rapporte également à des catégorisations spontanées des transformations de la matière. Les élèves qui pensent que les RC peuvent avoir lieu en dehors des murs du laboratoire ou même sans l'intervention de l'homme sont plus nombreux au post-test, surtout en G2 (plus 5 élèves en G1, 15 en G2 et 5 en G3). La séquence d'enseignement a pu contribuer ainsi à faire évoluer les conceptions de certains élèves, notamment du fait des situations étudiées en S1 (réchauffement des boissons et refroidissement des pochettes de froid) qui peuvent se faire à la maison ou n'importe où en dehors du laboratoire. Le fait que l'impact de ces situations ait été plus profitable aux élèves de G2 demeure en revanche inexpliqué pour le moment.

Tous ces résultats vont, quoi qu'il en soit, dans le sens de l'analyse faite par Solomonidou & Stavridou (1994) à propos de l'absence de formation spontanée du concept de RC dans la vie courante et de la nécessité de construire un champ de référence empirique approprié lié à ce champ conceptuel.

Résultats sur la notion de l'énergie calorifique de la réaction chimique

Il s'agit ici de vérifier la capacité des élèves à classer des RC comme étant endothermique, exothermique ou athermique en s'appuyant sur des observations expérimentales. Les données du post-test montrent une assez nette progression de la répartition de la performance globale des élèves pour cette catégorie alors qu'elle était semblable au départ. C'est ainsi (tableau 7) que les scores initiaux inférieurs à 4 sur 9 (score maximal) ont sensiblement régressé dans les trois groupes (passant de

TABLEAU 7

Répartition des élèves selon leur niveau de maîtrise de la notion d'énergie calorifique

| Score | G1 (N = 33) | G2 (N = 34) | G3 (N = 33) | Total |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------|
| 0 à 4 | 22 (*31) | 3 (*32) | 2 (*29) | 27 (*92) |
| 5 à 9 | 11 (*2) | 31 (*2) | 31 (*4) | 73 (*8) |

* effectifs enregistrés au pré-test

TABLEAU 8*Répartition de la moyenne des notes obtenues par les élèves des trois groupes*

| | G1 (N = 33) | G2 (N = 34) | G3 (N = 33) |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Moyenne | 1.06 (*1.73) | 7.09 (*1.71) | 8.15 (*1.45) |
| Ecart-type | 2.04 (*1.7) | 1.24 (*1.44) | 1.03 (*1.8) |

* valeurs enregistrées au pré-test

31 à 22 en G1, de 32 à 3 en G2 et de 29 à 2 en G3), contrairement aux performances supérieures à 5 qui ont réciproquement nettement progressé (2 vs 11 en G1 ; 2 vs 31 en G2 ; 4 vs 31 en G3).

Globalement la maîtrise de la notion de l'énergie calorifique semble ainsi avoir progressé sous l'effet de la séquence d'enseignement. Toutefois, cette répartition des effectifs indique une hétérogénéité entre les trois groupes ($X^2(2) = 40.07, s$).

Ceci est confirmé par la comparaison de la moyenne des scores au post-test de chaque groupe (tableau 8) qui atteste de l'existence de différences hautement significatives entre G1 et G2 ($t(65) = -7.35, \text{sign} .001$), G2 et G3 ($t(65) = -3.80, \text{sign} .001$) et G1 et G3 ($t(64) = -10.25, \text{sign} .001$).

À l'évidence, les élèves qui ont été soumis au TP sous forme expositive se sont nettement moins bien appropriés la notion d'énergie calorifique que les élèves de G2 et G3, et les élèves qui ont assisté au TP traditionnel (G2) se le sont eux mêmes moins bien appropriés que ceux qui ont réalisé le TP par ExAO.

Comparaison des réponses des élèves aux différents items de cette catégorie

Deux premiers items (a, b) invitaient ici encore les élèves à se prononcer sur la pertinence ou non de deux énoncés (tableau 9).

En ce qui concerne le premier d'entre eux, on note qu'au pré-test la nette majorité

TABLEAU 9*Répartition des réponses des élèves des trois groupes aux items a et b*

| | a L'énergie mise en jeu dans une R.C est toujours importante | | | b Toutes les réactions chimiques dégagent ou absorbent de la chaleur | | |
|-----------------|---|---------|---------|---|---------|---------|
| | Je ne sais pas | Vrai | Faux | Je ne sais pas | Vrai | Faux |
| Groupe 1 | 2(*20) | 16(*5) | 15(*8) | 1(*5) | 19(*20) | 13(*8) |
| Groupe 2 | 0(*30) | 7(*3) | 27(*1) | 0(*8) | 3(*18) | 31(*8) |
| Groupe 3 | 0(*24) | 5(*8) | 28(*1) | 0(*13) | 1(*15) | 32(*5) |
| Total | 2(*74) | 28(*16) | 70(*10) | 1(*26) | 23(*53) | 76(*21) |

* vrai est une mauvaise réponse ; faux est une bonne réponse

des élèves de chaque groupe ont avoué ne pas savoir répondre à la question alors que cette abstention a complètement ou presque disparue au post-test. Cette donnée montre en soi que d'une part les élèves n'ont pas cherché à répondre par hasard ou n'importe quoi aux épreuves dont ils savaient qu'elles n'étaient pas notées. Elle montre d'autre part que le sentiment de compétence des élèves s'est nettement accru sous l'effet de l'enseignement dispensé et ceci dans chacun de groupes. Ainsi, au post-test au contraire tous les élèves ont répondu (à l'exception de deux sujets en G1). En revanche, du point de vue qualitatif, il s'avère que dans la nette majorité des cas, les bonnes réponses proviennent en majorité des élèves de G2 (27 sur 34) et G3 (28 sur 33) contrairement à ceux de G1 qui répondent juste et faux dans la même proportion.

FIGURE 1

Un élève a réalisé une expérience en ajoutant 3 substances différentes dans 3 béchers contenant la même quantité d'eau et a noté la température comme le montre le schéma suivant :

Thermomètre

Bécher

a- La réaction qui a eu lieu dans le bécher A est une réaction :

Endothermique

Exothermique

Athermique

Je ne sais pas

Comment justifier cela ?

La température du contenu du bécher diminue

La température du contenu du bécher s'élève

La température du contenu du bécher ne varie pas

Autre réponse :

b- Dans quel bécher la réaction est-elle exothermique ?

A

B

C

Je ne sais pas

Comment justifier cela ?

La température du contenu du bécher diminue

La température du contenu du bécher s'élève

La température du contenu du bécher ne varie pas

Autre réponse :

Question de l'épreuve

Pour l'item b, on note également une totale régression des réponses « je ne sais » au post-test (à l'exception d'un élève en G1). Par ailleurs, ici aussi le taux de réponses correctes a considérablement progressé pour les élèves de G2 (passant de 8 à 31) et G3 (passant de 5 à 32) tandis que le taux de réponses fausses est resté majoritaire et constant pour les élèves de G1.

Une meilleure maîtrise de la notion de l'énergie calorifique est donc observée a posteriori pour les élèves ayant travaillé dans un laboratoire traditionnel et ceux ayant manipulé avec un environnement informatisé. En revanche, ceux qui ont été confrontés à un exposé de TP n'ont pas progressé à cet égard. Ceci montre donc l'influence de la modalité expérimentale sur l'apprentissage d'un nouveau concept par les élèves. Le

contenu de l'item suivant (figure 1) invitait les élèves à caractériser une RC du point de vue calorifique et à le justifier.

Comme précédemment, on note que les réponses « je ne sais pas », très nombreuses au départ dans chaque groupe, ont toutes disparu au post-test (tableau 10). Par ailleurs, pour chaque item une nette progression des bonnes réponses est enregistrée mais elle reste plus modérée pour les élèves de G1 (de 3 à 18 et de 4 à 15) que pour les élèves de G2 (de 4 à 32 et de 3 à 33) et ceux de G3 (de 4 à 32 dans les deux cas). Il en va de même en ce qui concerne le caractère idoine ou non des justifications avancées. Tous les élèves ou presque de G2 et G3 choisissent le bon argument contre seulement la moitié environ des élèves de G1.

TABLEAU 10*Répartition des réponses des élèves des trois groupes au post-test*

| | a1 | | | a2 | b1 | | | b2 |
|-----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------------|
| | Je ne sais pas | Réponse erronée | Réponse correcte | Justification correcte | Je ne sais pas | Réponse erronée | Réponse idoine | Justification correcte |
| Groupe 1 | 0(*28) | 15(*2) | 18(*3) | 18 | 0(*25) | 18(*4) | 15(*4) | 15 |
| Groupe 2 | 0(*25) | 2(*5) | 32(*4) | 32 | 0(*26) | 0(*5) | 33(*3) | 33 |
| Groupe 3 | 0(*20) | 1(*9) | 32(*4) | 32 | 0(*24) | 1(*5) | 32(*4) | 32 |
| Total | 0(*73) | 18(*16) | 82(*11) | 82 | 0(*75) | (*14) | 80(*11) | 80 |

* effectifs enregistrés au pré-test

Presque la totalité des élèves ayant travaillé au laboratoire montrent ainsi une bonne maîtrise de la notion de l'énergie calorifique. Il convient toutefois de signaler que le post-test a été administré peu de temps après que cette notion ait été traitée en classe. Un second post-test différé aurait ainsi été souhaitable pour s'assurer de la fidélité de ces données et par là de la solidité de ces acquisitions.

En ce qui concerne l'interprétation donnée à la solidification de l'eau (figure 2), on note tout d'abord que le taux de non-réponse a diminué entre les deux tests (34 au pré-test contre 20 au post-test pour « l'item la » et 49 contre 33 pour l'item « lb »). Pourtant ce taux reste relativement élevé par comparaison aux autres items de la même catégorie. On constate en outre que le pourcentage de bonnes réponses a progressé d'un test à l'autre. En effet, 80 élèves (dont 23 en G1, 28 en G2 et 29 en G3) affirment désormais que la solidification n'est pas une transformation chimique (contre 60 élèves au pré-test dont 19 en G1, 23 en G2 et 18 en G3). Par ailleurs, le nombre de justifications correctes est aussi en progression et la majorité de ces élèves a justifié correctement sa réponse (tableau 11).

FIGURE 2

Soudure* à l'eau

Sur une planche en bois, on verse de l'eau et on pose dessus un erlenmeyer contenant environ 20g de nitrate d'ammonium.

On verse alors 20 mL d'eau dans l'erlenmeyer et on agite avec une tige en verre sans bouger le récipient.

On bouche l'erlenmeyer et on retourne la planche. On remarque une pellicule (couche) de glace entre la planche et l'erlenmeyer, ce qui explique que ce dernier ne tombe pas lorsqu'on retourne la planche.



* Soudure (v. souder) : lier, unir étroitement

1. La solidification de l'eau est-elle une transformation chimique ? Justifier
2. Expliquer pourquoi la couche de glace se forme entre la planche et l'erlenmeyer.

Question de l'épreuve

TABLEAU 11

Répartition des réponses des élèves des trois groupes aux items de la question

| | la La solidification de l'eau est-elle une transformation chimique ? | | | lb Justification | | |
|-----------------|--|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | Non réponse | Réponse incorrecte | Réponse correcte | Non réponse | Réponse incorrecte | Réponse correcte |
| Groupe 1 | 0 (*14) | 0(*0) | 23 (*19) | 11 (*18) | 5 (*4) | 17 (*11) |
| Groupe 2 | 6 (*10) | 0 (*1) | 28 (*23) | 14 (*10) | 0 (*8) | 20 (*16) |
| Groupe 3 | 4 (*10) | 0 (*5) | 29 (*18) | 7 (*21) | 2 (*5) | 24 (*7) |
| Total | 20 (*34) | 0 (*6) | 80 (*60) | 33 (*49) | 7 (*17) | 61 (*34) |

* effectifs enregistrés au pré-test

Ce sont les élèves du G3 (28 contre 5 en G2) qui font le mieux le lien entre la RC et la formation de la couche de glace entre la planche et l'erlenmeyer lors du contact du nitrate d'ammonium avec l'eau (item 2) et répondent correctement en disant « la couche de glace se forme car la réaction qui se fait dans l'erlenmeyer est endothermique ». En revanche, aucun élève du G1 ne répond correctement à cet item (tableau I2). En fait, les élèves ayant manipulé dans un environnement d'ExAO mobilisent leurs connaissances acquises lors du travail expérimental pour expliquer la formation de la couche de glace entre la planche et l'erlenmeyer lors du contact du nitrate d'ammonium avec l'eau. L'ExAO a aidé les élèves à donner du sens à l'apprentissage du concept en jeu.

TABLEAU 12*Expliquer pourquoi la couche de glace se forme entre la planche et l'erenmeyer*

| | G1 (N = 33) | G2 (N = 34) | G3 (N = 33) | Total |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|
| Pas de réponse | 21 (*30) | 21 (*32) | 0 (*27) | 42 (*89) |
| Réponse erronée | 12 (*3) | 8 (*2) | 5 (*5) | 25 (*10) |
| Réponse correcte | 0 (*0) | 5 (*0) | 28 (*1) | 33 (*1) |

* effectifs enregistrés au pré-test

L'application du logiciel « IBM SPSS Statistics 21 » à ces données montre que la valeur du χ^2 est très supérieure à la valeur critique correspondant au seuil de signification statistique de 0,05 ($\chi^2(4) = 63.93, s$). Ce résultat réfute ainsi l'hypothèse nulle d'une absence de différence significative entre les élèves de nos trois groupes. Cela est dû, d'une part, à l'expérimentation au laboratoire et d'une part, à l'environnement ExAO.

CONCLUSION

Le concept de réaction chimique est important et central dans l'enseignement et l'apprentissage de la chimie à différents niveaux scolaires et universitaires. Nous avons mis au point une séquence d'enseignement, auprès des élèves libanais âgés de 12-13 ans dans le but de tester les effets de la mise en œuvre d'un TP sous forme d'ExAO par rapport à deux autres modalités plus classiques. L'analyse d'une partie des réponses des élèves à une épreuve papier-crayon soumise en pré-test et post-test nous a permis de confirmer certaines des difficultés liées à l'appropriation de ce concept qui se fait pourtant uniquement ici au niveau macroscopique.

La comparaison entre les performances réalisées avant et après enseignement montre cependant que les élèves du groupe ayant été soumis à la modalité de travail expérimental informatisée avec ExAO se sont nettement mieux approprié la notion d'énergie calorifique ainsi que certains aspects du langage de la réaction chimique que les élèves du groupe soumis à un TP traditionnel et plus encore que ceux soumis à un exposé de TP. Il semble donc que le rapport direct à l'expérimentation soit décisif pour une première approche de ce concept et que les effets positifs de l'expérimentation soient eux-mêmes améliorés par le recours à l'ExAO.

RÉFÉRENCES

- Barlet, R., & Plouin, D. (1994). L'équation-bilan en chimie un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *Aster*, 18, 27-56.
- Carretto, J., & Viovy, R. (1994). Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de RC. *Aster*, 18, 11-26.
- El Bilani, R. (2007). *Nature des connaissances mises en jeu par les élèves et les enseignants lors de l'utilisation des TICE en chimie – cas de la RC dans l'enseignement secondaire*. Thèse de doctorat, Lyon, Université Lumière Lyon 2.
- Larcher, C., Chomat, A., & Lineatte, C. (1994). D'une représentation à une autre pour modéliser les transformations de la matière au collège. *Aster*, 18, 119-139.
- Laugier, A., & Dumon, A. (2000). Travaux pratiques en chimie et représentation de la RC par l'équation-bilan dans les registres macroscopique et microscopique : une étude en classe de seconde (15-16 ans). *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), 61-75.
- Méheut, M. (1989). Des représentations des élèves au concept de RC: premières étapes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 997-1012.
- Mrabet-Bader, M., El-Jamali, S., Aatiq, A., & Talbi, M. (2008). Point de vue à propos de la transformation chimique dans l'enseignement secondaire. *Revue Africaine de Didactique des Sciences et des Mathématiques*, 3. Retrieved from <http://www.radisma.info/document.php?id=573>.
- Mzoughi-Khadhraoui, I., Dumon, A., & Trabelsi-Ayadi, M. (2011). Le savoir à enseigner relatif à la transformation chimique en première année de lycée en Tunisie et sa perception par les enseignants. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 153-177.
- Mzoughi-Khadhraoui, I., & Dumon, A. (2012). L'appropriation par des élèves tunisiens débutants du langage permettant de représenter la RC. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 6, 89-118.
- Nonnon, P. (1993). *Proposition d'un modèle de recherche développement technologique en éducation*. In Actes du Quatrième Colloque International sur la Robotique Pédagogique : Regards sur la Robotique Pédagogique (pp. 147-154). Liège: Université de Liège.
- Nonnon, P., & Laurencelle, L. (1972). Conditionnement classique et réaction cardiaque chez l'homme. *Bulletin de Psychologie*, 2, Montréal: UQAM Montréal.
- Papageorgiou, G., Stamovlasis, D., & Johnstone, P. (2013). Primary teachers' understanding of four chemical phenomena: effect of an in-service training course. *Journal of Science Teacher Education*, 24(4), 763- 787.
- Pekdag, B., & Le Maréchal, J.-F. (2003). *Hyperfilm : un outil de recherche en didactique de la chimie*. Paper presented at the Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Strasbourg.
- Riopel, M., & Nonnon, P. (2005). Nouvelle génération d'environnement informatique pour l'apprentissage de la physique intégrant l'ExAO et la SAO dans un logiciel cohérent. *Skhôle*, HS(2), 89-95.
- Roletto, E., & Piacenza, B. (1994). Faut-il construire le concept de substance? *Aster*, 18, 63-74.
- Roux, M., & Le Maréchal, J.-F. (2003). *Introducing dynamic equilibrium before static equilibrium by*

means of computer modeling. Paper presented at the 4th ESERA conference, Noordwijkerhout, The Netherlands, August 2003.

Saliba, M.-T. (2011). *Développement et évaluation d'un environnement informatisé d'apprentissage pour faciliter l'intégration des sciences et de la technologie.* Thèse de doctorat, Montréal, Université de Montréal.

Solomonidou, C., & Stavridou, H. (1994). Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la RC. *Aster*, 18, 75-95.

Stavridou, H., & Solomonidou, C. (1998). Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, 20(2), 205-221.

Touma, G. (2005). Un environnement informatisé d'Expérimentation Assistée par Ordinateur intégrant les sciences et les mathématiques. *Skholê*, HS(2), 97-102.