



**IDENTIFICATION DES DIFFICULTES DES
APPRENANTS DU SECONDAIRE COLLEGIAL MAROCAIN DANS
L'APPRENTISSAGE DES CONCEPTS DE TRANSFORMATION
CHIMIQUE – TRANSFORMATION PHYSIQUEⁱ**

**Bouchra Benzidia,
Hajar Ait Alioua,
Ali Ouasri,
Mohammed Abidⁱⁱ**

Laboratoire de la Recherche Scientifique et Innovation Pédagogique (ReSIP),
Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation,
Madinat Al Irfane, Souissi, BP 6210,
Rabat, Maroc

Résumé :

Le présent article vise à identifier et à analyser les difficultés des élèves marocains (13–15 ans) de deuxième année de secondaire collégial lors de l'enseignement–apprentissage des concepts chimiques et physiques telles les transformations chimique et physique, l'atome, la molécule, la réaction chimique, et la loi de la conservation de masse. Tout d'abord, nous avons délimité le contexte et la problématique de l'étude, puis nous avons développé un cadre conceptuel portant sur les difficultés d'apprentissage et certaines conceptions alternatives qu'ont faites les élèves à propos des concepts chimiques et physiques étudiés. Puis, nous avons fait passer un test aux élèves en vue de vérifier s'ils sont capables de relier certains critères symboliques et microscopiques aux phénomènes et espèces chimiques : transformation chimique, transformation physique, réaction chimique, atomes, et molécules, etc... Les difficultés qu'éprouvent les élèves à apprendre des concepts abstraits peuvent être dues aux conceptions alternatives erronées, et aux applications heuristiques chez ces élèves à propos de ces concepts.

Mots clés : transformation chimique/physique, élèves, représentations, enseignement, chimie, collègue

Abstract:

This article aims to identify and analyze the difficulties of Moroccan pupils (13–15 years old) of the second year of college school in the teaching and learning of chemical and

ⁱ IDENTIFICATION OF DIFFICULTIES OF MOROCCAN SECONDARY COLLEGIAL PUPILS IN LEARNING CONCEPTS OF CHEMICAL TRANSFORMATION - PHYSICAL TRANSFORMATION

ⁱⁱ Correspondence: email profabidmed@gmail.com, abid.mohammed@uit.ac.ma

physics concepts, such as: chemical transformation, physical transformation, atom, molecule, chemical reaction, law of conservation of mass. Firstly, we have defined the research context, and we have developed a conceptual framework dealing with learning difficulties and the alternative conceptions that pupils have made about the studied concepts. Then, we passed a survey to the pupils in order to check if they are able to associate symbolic and microscopic criteria with the chemical phenomena and species: chemical transformation, physical transformation, chemical reaction, atoms, and molecules etc... The difficulties encountered by pupils in the learning of these abstract concepts may be due to alternative conceptions, and heuristic applications that have the pupils about these concepts.

Keywords: chemical / physical transformation, pupils, representations, teaching, chemistry, college

1. Introduction

L'élève n'arrive jamais en classe la « tête vide » de connaissances, il s'est construit durant son enfance tout un système explicatif pour comprendre le monde. Ces « savoirs » préconçus, qu'ils soient plus ou moins éloignés de la vérité, sont fonctionnels et peuvent donc interférer avec l'enseignement dispensé en classe. Très jeunes, les enfants sont mis en contact avec certains concepts scientifiques, par les médias par exemple. Des conceptions naïves sur ces concepts peuvent dès lors se développer chez ces enfants. Toutefois, les conceptions alternatives sont le plus souvent causées par une combinaison de vestiges de théories naïves et de lacunes résultant d'un apprentissage précédent.

La construction du monde physique chez la pensée des élèves constitue un champ assez élaboré. Selon plusieurs recherches, souvent animées par des points de vue théoriques différents, nous constatons que les enfants dès la naissance approchent le monde physique et formulent des entités mentales, appelées dans la didactique de la physique, la chimie et la biologie, idées spontanées, représentations ou conceptions alternatives (Kampourakis et Zogza, 2009 ; Ouasri, 2017 ; Ravanis, 2019).

Les conceptions de l'élève restent alors actives et peuvent même se renforcer. C'est ainsi qu'il nous paraît important de ne pas négliger cette question des préconceptions qui peuvent expliquer certains difficultés et blocages lors de l'apprentissage des concepts physiques ou chimiques, considérés comme nouveaux pour les élèves du secondaire collégial. Il fallait trouver les moyens de faire évoluer ces représentations et installer un enseignement durable, ce qui fait partie intégrante du travail des professeurs des établissements scolaires.

Le présent travail développe tout d'abord un cadre théorique portant sur le concept de représentation, et sur certaines techniques de détection des représentations, puis décrit la problématique de la capacité des élèves du secondaire collégial à différencier entre la transformation chimique et la transformation physique, et enfin

analyse et discute les résultats obtenus. La méthodologie adoptée pour la collecte des données nécessaires à répondre à la question principale de cette étude est aussi explicitée.

2. Problématique

L'enseignement–apprentissage de la transformation chimique a suscité plusieurs recherches en didactique depuis le début des années 80 (Herron, 1996 ; Astolfi et al., 2008 ; Ravanis, 2010). Ces recherches ont permis d'étudier les représentations spontanées des élèves et d'ouvrir des pistes de réflexion pour améliorer la construction de plusieurs concepts tels la réaction chimique, les lois de conservation de la masse, la conservation des atomes, la modélisation et l'équilibrage des équations chimiques. En effet, plusieurs apprenants ont tendance à confondre les modèles scientifiques et le monde réel (Astolfi et al., 2008) ; ce qui les empêche de comprendre que les énoncés du modèle scientifique ne sont pas applicables dans tous les contextes (Ravanis, 2010).

Il s'agit ici d'identifier si les élèves à la deuxième année collège sont capables d'utiliser et d'exploiter les notions relatives aux transformations chimiques et aussi aux transformations physiques. Pour ce faire, nous avons choisi de réaliser une étude exploratoire d'identification de quelques représentations chez des élèves à partir de leurs réponses sur des questions portant sur les concepts transformation chimique/physique, dissolution/fusion, réaction chimique, la conservation de masse, les liaisons entre atomes constituant les molécules. On se demande comment les professeurs des écoles marocaines s'y prennent pour faire assimiler aux élèves les phénomènes scientifiques complexes relevant du domaine de la chimie, en tenant compte de leurs représentations initiales qui peuvent freiner l'apprentissage de ces concepts. L'analyse des représentations des élèves sur les transformations chimiques et physiques nous amène à poser certaines questions essentielles :

- 1) Est-ce que les apprenants de secondaire collégial sont capables de différencier la transformation chimique de la transformation physique ? En particulier y–a–t–il des confusions entre la fusion et la dissolution chez les élèves de la deuxième année collégiale ?
- 2) Quelles sont les difficultés des élèves dans l'apprentissage et l'exploitation de la réaction chimique ?

3. Cadre conceptuel

3.1. Représentations – Pré–représentations

Les représentations peuvent être considérées comme étant des images trompeuses du réel, constituant ainsi des obstacles susceptibles de parasiter l'acquisition de connaissances et des concepts scientifiques. La prégnance des connaissances préalables de l'apprenant est donc une composante essentielle du processus d'apprentissage, composante qu'il s'agit de prendre en compte que ce soit comme obstacle à lever ou comme ressource à exploiter dans le processus d'enseignement. Selon Giordan et De

Vecchi (1989), les représentations sont des évidences, des acquis pour les élèves. Considérés comme des informations retenues de façon sélective, elles se forment à partir d'éléments extérieurs. Déconnectées de la situation de départ, elles sont utilisées pour une construction nouvelle. Les représentations sont donc considérées comme un processus et non comme un produit pour l'action pédagogique. Ce processus sert de point d'appui à la construction du savoir.

Quant à la pré-représentation appelée aussi conception (Giordan, 1998), elle est l'ensemble des idées préalables que possède l'élève sur un sujet donné avant d'entamer son apprentissage. Ces pré-représentations souvent construites sur ce qui paraît évident, sur le sens commun, ou à partir du langage commun, permettent à chacun de trouver une explication personnelle, cohérente et fonctionnelle à expliquer le phénomène en question. Ces pré-représentations sont souvent erronées car la science va à contre-sens de ce qui paraît naturel et logique.

Des études effectuées en dynamique élémentaire (Viennot, 1978) et sur le courant électrique (Johsua, 1984 ; Caillot, 1984, 1988) montrent que beaucoup d'apprenants en physique donnent des réponses fausses à des problèmes qui semblent pourtant élémentaires. De même, les études de H. Stravidou (1990) et (Fillon, 1997), montrent que de nombreux élèves, ayant suivi un cursus scientifique complet, ne maîtrisent pas le concept de réaction chimique. Ces exemples illustrent certaines notions qui ont toujours étonné les enseignants. Les pré-représentations résistent à l'apprentissage malgré les efforts des enseignants. Ces conceptions initiales, induites parfois même par l'enseignement, lorsqu'elles sont fausses vont faire obstacle à l'apprentissage si on ne les prend pas en compte (Toussaint, 1996).

3.2. Emergence, détection et interprétation des représentations initiales

Pour les faire émerger, il n'y a pas une méthode pédagogique spécifique mais plutôt des outils censés être disponibles (Giordan et *al.*, 2002). Il faut être attentif, car les conceptions enfantines peuvent émerger de manière spontanée quand l'apprenant souhaite, par exemple, donner une explication lors d'un entretien collectif. L'enseignant, appelé à créer des situations spécifiques pour laisser les apprenants s'exprimer, peut demander à ses élèves de :

- Dessiner la façon dont ils se représentent un phénomène naturel, le fonctionnement d'un appareil.
- Faire classer, comparer différents objets ou différents phénomènes.
- Organiser un questionnaire semi-directif écrit après la projection d'un document, après une sortie, après une activité, ou après un entretien général sur une situation de vie.

Les questionnaires écrits peuvent être utilisés à différents moments de la démarche pédagogique : avant d'entamer le sujet, pendant la progression, en fin d'étude et aussi quelques temps après. Au-delà des renseignements qu'apportent les productions écrites, le langage oral joue aussi un grand rôle. Il est important de faire parler les apprenants, en leur posant des questions afin qu'ils expriment leurs idées. Il est

préférable que les questions portent sur des situations familières afin de relier la construction des connaissances des élèves à leurs pratiques quotidiennes. Les dessins ou schémas constituent un autre moyen pour faire émerger les représentations. Pour certains élèves cela peut être moins contraignant qu'une rédaction.

Les apprenants ne peuvent généralement pas dire ce qu'ils savent ou comment ils savent, ils n'utilisent que les mots qui sont à leur portée pour expliquer un phénomène. L'enseignant doit prendre des précautions et recouper différents outils qui permettent de faire émerger les représentations de l'apprenant. L'une des difficultés vient de l'utilisation par l'apprenant d'une codification qui n'est pas celle utilisée par celui qui interprète les informations recueillies. S'il existe de nombreuses techniques qui permettent de connaître les représentations des élèves, leur interprétation n'est pas toujours facile, ni immédiate afin de les prendre en considération dans l'acte pédagogique (Tinas, 2013).

Les représentations jouent un rôle clé dans le développement des connaissances de l'apprenant, c'est pourquoi elles doivent être détectées. La reconnaissance des représentations est la première étape pour les modifier si elles sont des représentations positives qui aident l'apprenant à construire, à acquérir ou à changer son apprentissage. Ainsi, il est nécessaire de fournir un environnement qui encourage les apprenants à repenser leurs perceptions et leurs idées et à présenter des modèles et des stratégies pour modifier ces représentations. On note dans le tableau 1 certaines méthodes et techniques utilisées pour révéler les représentations des élèves autour des concepts scientifiques.

Tableau 1 : Certaines méthodes pour la révélation
 des représentations des élèves sur les concepts scientifiques (Fillon, 1997)

L'observation de la classe	Le questionnaire peut-être	L'entretien
<ul style="list-style-type: none"> - Peut être à la fin du travail requis. - Prend en charge par des moyens et appareils. - Mettre l'accent sur le côté moteur, verbal et écrit. 	<ul style="list-style-type: none"> - Orienté ou semi-dirigé - Questions ouvertes ou fermées - Tests de réponses multiples - Une méthode de comparaison - Questions avec informations d'aide 	<ul style="list-style-type: none"> - Individuel - En petits groupes - Collectif.

3.3. Transformation chimique – Transformation physique

Pour comprendre la transformation chimique, l'élève devrait être en mesure de circuler entre le monde perceptible du champ expérimental de référence et le monde reconstruit, aux deux niveaux macroscopiques et microscopiques d'interprétation de l'acte chimique, via un langage spécifique, basé sur des règles et/ou des conventions, où le registre symbolique occupe une place importante. La nécessité de circuler entre ces différents niveaux de signification semble représenter pour beaucoup d'élèves une demande insurmontable (Johnstone, 2000). Les compétences à mettre en œuvre pour s'approprier ce modèle, faisant intervenir certains objets de savoir, et l'utiliser de façon opérationnelle sont diverses. Il est donc illusoire de croire qu'alors que les scientifiques ont mis des siècles à le construire, les élèves seraient capables de se l'approprier et de l'utiliser

facilement (De Jong et *al.*, 2004). Plusieurs recherches menées sur l'enseignement-apprentissage de la transformation chimique ont mis en évidence l'existence de difficultés à tous les niveaux d'interprétation (Mzoughi–khadhraoui et *al.*, 2011 ; Ouasri, 2016, 2017, 2019). En chimie, ils y avaient au départ trois niveaux de la représentation qui ont été proposés par Johnston (1982) :

- Le niveau symbolique qui illustre les équations et les formules chimiques. Au niveau de la représentation symbolique il y a des difficultés à comprendre ce que représentent les formules des espèces chimiques, à écrire, à lire une équation de réaction et à comprendre ce qu'elle représente tant au niveau macroscopique qu'au niveau microscopique ;
- Le niveau sous-microscopique (ou microscopique) qui concerne la conceptualisation des molécules, des atomes, etc... A ce niveau il y a des difficultés à utiliser les concepts du niveau particulaire (atome, molécule, ion) pour se représenter la matière et ses transformations, difficultés à percevoir la conservation des atomes et leur réarrangement au cours d'une transformation ;
- Le niveau macroscopique qui illustre les phénomènes observables (la couleur, la phase, etc...) (Gilbert et Treagust, 2009 ; Talanquer, 2011). A ce niveau, les élèves éprouvent des difficultés à concevoir ce qu'est une substance chimique, à différencier une transformation chimique d'une transformation physique, à conceptualiser une transformation chimique en termes de changement de nature des substances chimiques, à percevoir la conservation de la masse au cours d'une transformation chimique, etc...
- Cette triple représentation constitue un enjeu important en didactique de chimie qui a servi à plusieurs auteurs pour analyser les difficultés d'apprentissage intrinsèques à la chimie (Nicoll, 2001 ; Harrison et Treagust, 2002 ; Treagust et *al.*, 2003 ; Wu, 2003 ; Gilbert et Treagust, 2009 ; Talanquer, 2011). Ainsi, un apprenant ne peut utiliser correctement les modèles de chimie pour prédire et expliquer les réactions s'il ne maîtrise pas ces trois niveaux et leur interrelation.

On peut ajouter aussi le niveau du traitement quantitatif de la transformation chimique qui présente certaines difficultés à comprendre la signification des coefficients stœchiométriques, la notion de réactif limitant et son identification, la quantité de matière (mole) et ses grandeurs associées (masse et volume molaires), le traitement mathématique en lien avec les stratégies de résolution appropriées.

4. Méthodologie

Pour réaliser notre étude, nous avons utilisé la méthodologie d'analyse descriptive qui a pour but d'identifier les représentations erronées sur les concepts transformation chimique et physique chez les élèves de 2^{ème} année collégiale. Les données nécessaires ont été recueillies par un test de diagnostique illustré par le questionnaire donné dans l'annexe.

4.1. Présentation de l'échantillon

L'échantillon de la présente étude est constitué de 300 élèves de la deuxième année du cycle secondaire collégial issus de 8 classes de deux établissements différents de la région Rabat-Salé-Kenitra : Collège Abderrahmane Ibn Aouf, Ait Ikkou (province de Khémisset) et collège Azzohour, Lalla Mimouna (province de Kenitra). Chaque élève est soumis à un questionnaire sur les trois parties du test proposé.

4.2. Présentation et passation du test

Le formulaire adopté (quiz) est composé de trois parties (Annexe). La première partie a pour but de distinguer la fusion de la dissolution, la deuxième vise à différencier la transformation physique de la transformation chimique à partir des exemples et de connaître la définition de la réaction chimique, et la troisième partie concerne la compréhension des lois de la réaction chimique par les élèves. Nous avons aussi demandé aux élèves de déterminer l'équation équilibrée parmi plusieurs équations et d'écrire l'équation de la combustion complète du butane. Les questions du test sont à choix multiples et ouvertes.

Le questionnaire a été distribué aux élèves dans les conditions d'évaluation en l'occasion d'un devoir surveillé, en veillant à ce que les réponses recueillies soient personnelles. Le test a été passé dans les deux établissements concernés, à la fin du mois février de l'année 2020 avec un temps de passation de 30 minutes.

5. Résultats et discussions

5.1. Fusion et dissolution

Le tableau 2.1 montre la répartition des réponses des élèves sur la question Q1 de la première partie du questionnaire. Les résultats consignés dans le tableau 1.1 montrent que 90% des élèves de la deuxième année collégiale de la population cible connaissent que la dissolution d'un corps demande la présence d'un liquide, et que 75% de ces élèves savent que la fusion d'un corps nécessitent l'augmentation de la température. On peut conclure que du moins 75 % des élèves sont capables de distinguer la fusion de la dissolution. Alors que 10% des élèves n'arrivent pas à distinguer la fusion et la dissolution.

Tableau 2.1 : Réponses des élèves concernant les notions de fusion et dissolution

		L'augmentation de la température (%)	La présence d'un liquide (%)
Q1	1.1- La fusion d'un corps demande	75	25
	1.2- La dissolution d'un corps demande	10	90

Le tableau 2.2 récapitule en termes de pourcentage la répartition des réponses des élèves sur la question Q2 de la première partie. Pour la dissolution de sucre, le tableau 2.2,

montre que 75% des élèves considèrent qu'il se dissout dans l'eau et ne se fond pas (sous-question 2.1). Mais, on trouve que 30% des élèves déclarent que le sucre se fond dans l'eau, et ne se dissout pas (sous-question 2.2).

Tableau 2.2 : Réponses des élèves concernant les notions de fusion et dissolution

		Vrai (%)	Faux (%)
Q2	2.1– Le sucre se dissout dans l'eau.	75	25
	2.2– Le sucre se fond dans l'eau.	30	70
	2.3– Un morceau de glace se fond sous l'effet des rayons du soleil.	69	31
	2.4– Un morceau de bougie se fond sur une plaque de fer chaude.	51	49
	2.5– Un morceau de bougie se dissout sur une plaque de fer chaude	47	53
Q3	3.1– La fusion est la transformation de la matière de l'état solide à l'état liquide	87	13
	3.2– La fusion est la disparition d'un corps (soluté) dans un liquide (solvant).	13	87
	3.3– La dissolution est la transformation de la matière de l'état solide à l'état liquide.	69	31
	3.4– La dissolution est la disparition d'un corps (soluté) dans un liquide (solvant).	62	38

Pour la sous-question 2.3, on note que 69% des élèves considèrent que la glace se fond sous l'effet des rayons du soleil ; cette réponse peut-être due au langage utilisé dans la vie quotidienne ; on utilise la dissolution de la glace, des bougies, du chocolat, etc., au lieu de la fusion. Pour les sous-questions 2.4 et 2.5, on observe que 51 % des élèves considèrent qu'un morceau de bougie se fond sur une plaque de fer chaude et ne se dissout pas, mais 47 % des élèves pensent que ce morceau de bougie se dissout sur une plaque de fer chaude et ne se fond pas. Il reste 2 % des élèves qui voient ce morceau de bougie ni ne se fondre ni se dissoudre sur une plaque de fer chaude. On constate donc qu'environ la moitié des élèves donne des mauvaises réponses, peut-être à cause de certaines représentations erronées dues au fait que dans le langage courant on n'utilise pas le mot « fusion », ce qui ne constitue chez les apprenants des difficultés à acquérir de nouveaux concepts chimiques.

Pour la répartition des réponses des élèves sur la question concernant la définition de la fusion Q3, on note que 87 % des élèves choisissent la bonne définition de la fusion (3.1. *La fusion est la transformation de la matière de l'état solide à l'état liquide*), alors que 13% des élèves voient la fusion comme étant la disparition d'un corps dans un liquide (sous question 3.2). Parmi 87 % des élèves qui maîtrisent la définition de la fusion, ils y avaient des élèves incapables de distinguer la fusion de la dissolution, comme l'ont montré les réponses des élèves (75%) sur la question Q1.

Concernant le concept de la dissolution (sous-questions 3.3 et 3.4), on constate que 69 % des élèves ont coché la définition de ce concept (*la dissolution est la transformation de la matière de l'état solide à l'état liquide*), et que 31% des élèves ne voient pas cette définition comme étant correcte ; ce qui indique une confusion chez ces élèves sur la signification de la dissolution. D'autre part, 62 % des élèves (sous-question 3.4) considèrent que la

dissolution est la disparition d'un corps (soluté) dans un liquide (solvant), et 38% des élèves voient cette définition fautive, i.e. qu'ils considèrent vraie la définition de la sous-question 3.3 (*la dissolution est la transformation de la matière de l'état solide à l'état liquide*). Cela veut dire que du moins 31 % d'élèves ne savent pas la différence entre la transformation physique et chimique.

En fin, la première partie du test est de savoir si les élèves de deuxième année, cycle collégial, distinguent entre la distinction et la fusion. D'après les résultats obtenus dans cette partie, on conclut que la différence entre ces deux concepts n'est pas évidente pour la majorité des élèves. Ce qui constitue une difficulté, voir même un obstacle, devant l'apprentissage non plus de ces concepts mais aussi d'autres concepts constituant la trame conceptuelle de ces concepts (Ouasri et Ravanis, 2020). Il fallait donc revoir les diverses causes de cette difficulté, y compris les représentations erronées, souvent construites dans le langage non scientifique de ces concepts dans la vie quotidienne et qui permettent à chacun de trouver une explication personnelle des concepts fusion et dissolution.

5.2. Transformation chimique et transformation physique

Le tableau 3.1 montre la répartition des réponses des élèves sur les questions Q1 et Q2 de la deuxième partie. De part ces questions, on veut savoir si les élèves distinguent entre la transformation chimique qui donne naissance aux nouveaux produits, et la transformation physique qui change seulement l'état physique d'un corps.

Pour la transformation chimique qui produit de nouveaux corps (Q1), on observe que 39% des élèves sont capables de différencier les transformations chimiques de celles physiques à partir de l'exemple présenté dans la troisième transformation (*la dissolution de l'acide sulfurique dans l'eau produit le trioxyde de soufre*) ; et que 21 % des élèves ont une confusion entre la transformation chimique et la transformation physique (Exemple illustré dans la deuxième transformation: *on met une quantité d'eau dans le réfrigérant jusqu'à la solidification*) ; cela peut être dû à des représentations erronées que possèdent les élèves sur le concept de transformation, à une mauvaise compréhension des caractéristiques de chaque transformation. Aussi, on observe que 40% des élèves ne maîtrisent pas ce que signifie la transformation chimique, à partir de la sous-question relative à la troisième transformation (*la combustion du carbone dans l'air (dioxygène) produit le dioxyde de carbone qui peut causer l'étouffement dans un espace clos*).

Tableau 3.1 : Réponses des élèves concernant les transformations chimique et physique

		Cochée (%)	Non cochée (%)
Q1	1.1– La 1 ^{ère} transformation : Transformation chimique	40	60
	1.2– La 2 ^{ème} transformation : Transformation physique	21	79
	1.3– La 3 ^{ème} transformation : Transformation chimique	39	61
Q2	2.1– La 1 ^{ère} transformation : Transformation chimique	14	86
	2.2– La 2 ^{ème} transformation : Transformation physique	77	23
	2.3– La 3 ^{ème} transformation : Transformation chimique	9	91

Pour la transformation qui change seulement l'état physique (Q2), il est évident qu'un nombre très important (77%) des élèves sont capables de connaître cette transformation physique à partir de l'exemple illustré dans la deuxième transformation ; cela peut être expliqué par le fait que le concept transformation physique est routinier chez les élèves via des applications, des exercices, des rappels de ce concept d'un niveau scolaire à l'autre. Pour les exemples illustrés dans la première et la deuxième transformation, on note des scores très bas pour les sous-questions [Q2.2.1 (14%), Q2.2.3 (9%)], ce qui pourrait être expliqué par le fait que le concept de la transformation chimique, encore nouveau pour cette catégorie des élèves, n'a été pas bien compris et assimilé par la majorité des élèves. Si on considère les deux scores élevés des questions Q1 (39%) et Q2 (77%), on peut conclure qu'en moyenne, 58% des élèves distinguent la transformation chimique produisant de nouveaux corps de la transformation physique faisant changer l'état physique d'un corps.

Le tableau 3.2 montre la répartition des réponses des élèves sur la question 3 concernant le nom de la transformation qui produit des nouveaux corps, et la question 4 sur le nom de la transformation qui fait changer l'état physique. Pour la question Q3, on note que seulement 34 % des élèves sont capables d'indiquer par la réaction chimique la transformation qui produit de nouveaux corps. Cela veut dire que même si l'enseignement des transformations chimiques ait lieu en deuxième année collégiale, les élèves n'ont pas acquis en majorité ce concept de réaction chimique. Des scores encore plus bas ont été enregistrés concernant les réponses des élèves à ce qu'être un mélange homogène (25%) et transformation physique (22%).

Tableau 3.2 : Réponses des élèves à propos de la transformation produisant de nouveaux corps et la transformation faisant changer l'état physique d'un corps

		Cochée (%)	Non cochée (%)
Q3	3.1– Mélange homogène	25	75
	3.2– Transformation physique	22	78
	3.3– Réaction chimique.	34	66
Q4	4.1– Transformation physique	39	61
	4.2– Dissolution	22	78
	4.3– Réaction chimique.	15	85

Concernant la question Q4, on observe que 39% des élèves sont capables de répondre par la transformation physique, la transformation qui fait changer seulement l'état physique. Malgré que les élèves aient déjà eu l'occasion d'apprendre le concept de transformations physiques au cycle primaire et à la première année collégiale (transformations physiques de l'eau par exemple), le score enregistré là-dessus reste toujours bas. Ce qui indique la persistance des difficultés chez les élèves de la troisième année collégiale à apprendre correctement la signification des transformations physiques. En moyenne, nous pouvons conclure que 36.5% des élèves distinguent la transformation chimique qui produit de nouveaux corps de la transformation physique qui change uniquement l'état physique.

Le tableau 3.3 récapitule la répartition des réponses des élèves sur les questions Q5 et Q6 portant sur les corps participant à la réaction chimique et les corps qui en résultent, ainsi que les résultats obtenus pour la question Q7 sur la notion de la réaction chimique.

Tableau 3.3 : Réponses des élèves concernant les réactifs, les produits, et la réaction chimique

		Cochée (%)	Non cochée (%)
Q5	5.1– Produits	27	73
	5.2– Réactifs	64	36
	5.3– Mélange	9	81
Q6	6.1– Produits	71	29
	6.2– Réactifs	14	86
	6.3– Mélanges	15	85
Q7	7.1– la disparition des réactifs et l'apparition des produits lors de la transformation chimique	53	47
	7.2– la disparition des produits et l'apparition des réactifs lors de la transformation chimique	13	87
	7.3– la transformation de la matière d'un état physique à un autre état	34	66

La cinquième question Q5 a été réalisée avec un score considérable, puisque 64 % des élèves arrivent à y répondre correctement en indiquant par « réactifs » les corps participant à la réaction chimique. Pour la sixième question Q6, elle a été correctement réussie par 71 % des élèves qui semblent être capables de choisir le nom correct des nouveaux corps résultant de la transformation chimique « produits ». En moyen, nous pouvons dire qu'une bonne partie des élèves (67.5%) assimilent bien ce que signifient les réactifs et les produits chimiques mis en jeu dans une transformation chimique, et qu'ils sont capables de nommer correctement les corps participants à une réaction chimique et ceux qui en résultent.

Concernant la question Q7 sur la notion de la réaction chimique, on trouve que 53% des élèves sont capables de définir correctement la réaction chimique, qui est un concept déjà vu et enseigné pour les élèves en deuxième année collégiale. Néanmoins, il n'est pas à négliger que 34 % des élèves entendent par la réaction chimique la transformation de la matière d'un état physique à un autre état ; ce qui prouve des difficultés chez un nombre non négligeable des élèves à apprendre correctement une réaction chimique. D'où peut-être la persistance des représentations erronées de ce qui est une transformation chimique/physique.

5.3. Les lois de la réaction chimique

Le tableau 4 montre la répartition des réponses des élèves sur la question Q1 de la troisième partie concernant les atomes (nombre, type, liaisons) qui forment les produits et les réactifs ainsi que la conservation de masse des réactifs lors d'une réaction chimique.

Tableau 4 : Réponses des élèves concernant la constitution, les liaisons, et la conservation de masse des réactifs et des produits lors d'une réaction chimique

		vrai (%)	faux (%)
Q1	1.1– Les produits et les réactifs sont formés de mêmes molécules	42	58
	1.2– Les produits et les réactifs sont formés de même nombre et de même type d'atomes	58	42
	1.3– De nouveaux atomes apparaissent dans les produits	63	37
	1.4– Quelques atomes formant les réactifs disparaissent dans les produits	45	55
	1.5– Les atomes se relient entre-elles de la même manière dans les réactifs et les produits	38	62
	1.6– Les atomes ne se relient pas entre-elles de la même manière dans les réactifs que dans les produits	59	41
	1.7– Pendant la réaction chimique, la masse des réactifs est égale la masse des produits	69	31

Selon les résultats donnés dans ce tableau, 42% des élèves considèrent que les produits et les réactifs sont formés de mêmes molécules (sous-question 1.1). Pour la sous-question 1.2, on observe que 58% des élèves croient que lors de la réaction chimique, les produits et les réactifs sont formés du même nombre et du même type d'atomes. Cela fait émerger chez les apprenants une confusion qui persiste entre l'atome et la molécule, malgré l'enseignement de ces concepts a été dispensé dans le programme de la première année du collège. D'où des difficultés à apprendre ce qui se passe au niveau microscopique lors de la transformation chimique qu'on modélise par la réaction chimique.

Concernant la constitution des produits (sous-questions 1.3 et 1.4), on note que 63% considèrent que de nouveaux atomes apparaissent dans les produits, alors que 45 % pensent que certains atomes constituant les réactifs disparaissent dans les produits. Ce qui prouve davantage les difficultés notées par les sous-questions précédentes.

Pour les sous questions 1.5 et 1.6, il s'agit normalement d'une même question formulée différemment, i.e. des liaisons entre atomes dans les réactifs et les produits. On constate ici des scores comparables : 59% des élèves voient que les atomes ne se relient pas entre-elles de la même manière dans les réactifs que dans les produits (sous-question 1.6), ce qui est presque observé (62%) pour la sous-question 1.5 formulée autrement (*les atomes se relient entre-elles de la même manière dans les réactifs et les produits*). La réalisation de ces comparables scores peut être expliquée par l'acquisition de cette fraction des élèves de la modélisation des réactions chimiques enseignées à la deuxième année collégiale, ce qui permet à l'apprenant de savoir comment les atomes sont –ils liées entre eux dans les réactifs et dans les produits.

Pour ce qui concerne la sous-question 1.7, on constate que 69% des élèves considèrent que la masse des réactifs égale à la masse des produits. La notion de conservation de masse lors de la réaction chimique enseignée à la deuxième année collégiale est d'une part réalisée par des expériences pratiques et d'autre part consolidée

par des exercices d'application ; ce qui facilite leur acquisition et leur degré de rétention chez les apprenants.

Le tableau 5 montre la répartition des réponses des élèves sur la question Q2 portant sur l'écriture de l'équation chimique complète de la combustion du butane, et sur la question Q3 concernant le choix de l'équation chimique équilibrée des réactions chimiques.

Pour la question Q2, On constate que 64% des élèves n'arrivent pas à écrire correctement l'équation chimique complète de la combustion du butane ; ces élèves ne semblent pas être capables de traduire ce qui relève du niveau macroscopique (concret) en ce qui est microscopique et symbolique. Peut-être parce qu'ils ont des difficultés à assimiler les symboles et les formules chimiques des atomes et des molécules, ou parce qu'ils ne connaissent pas ce qui se passe lors de la combustion complète du butane, et par la suite ne peuvent pas envisager l'écriture de l'équation d'une réaction chimique.

Concernant la question Q3, on observe que 52% des élèves sont capables de choisir l'équation 3 comme une équation équilibrée de toutes les équations données. Cela veut dire que le reste des élèves (48%) n'arrivent pas à distinguer les équations équilibrées des équations no-équilibrées, comme le montrent les résultats faux obtenus pour l'équation 1 (21%), l'équation 2 (14%), et l'équation 4 (13%). Ainsi, il est conclu qu'environ la moitié des élèves n'est pas en mesure de comprendre la loi de conservation de masse, indispensable pour pouvoir équilibrer une réaction chimique.

Tableau 5 : Réponses des élèves concernant l'écriture de l'équation d'une réaction chimique

Q2	L'équation chimique de la combustion complète du butane		Écriture juste (%)	Écriture fautive (%)
			36	64
Q3	Equations		Equilibrée (%)	
	Equation 1	$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	21	
	Equation 2	$\text{Fe} \rightarrow \text{FeS}$	14	
	Equation 3	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_4 + 3\text{O}_2$	52	
	Equation 4	$\text{C}_4\text{H}_{10} + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	13	

Selon les résultats de la troisième partie, un nombre très important des élèves de deuxième année collégiale ont une confusion entre atome et molécules et dans la manière dont les atomes se relient entre eux. Ce qui montre que l'acquisition du modèle microscopique, de la représentation de l'atome et de la molécule réalisée par des signes et des symboles n'est pas évidente pour la majorité des élèves (Ouasri, 2020). Concernant la loi de conservation de masse, on constate qu'un nombre des élèves relie les coefficients stœchiométriques et la masse ; ce qui indique aussi une difficulté d'apprentissage, qui ne peut pas être surmontée en l'absence des expériences qui illustrent la loi de de conservation de masse.

Pour l'écriture de l'équation chimique de la combustion complète du butane, deux tiers des élèves n'arrivent pas à écrire correctement cette équation, ce qui renvoie aux diverses difficultés chez les élèves dans : la représentation de l'équation chimique,

l'écriture des symboles et des formules chimiques des atomes et molécules, la confusion entre combustion complète et incomplète du butane, l'écriture de l'équation chimique avec les coefficients stœchiométriques convenables. On note aussi que la moitié des élèves n'arrivent pas à choisir l'équation équilibrée, car ils ont trouvé une difficulté pour comprendre la loi de la conservation de masses, i.e. de conservation d'atomes en genre et en nombre.

6. Conclusion

De part cette étude, on veut mettre les élèves dans l'injonction de donner des réponses, et manifester leurs connaissances sur des concepts chimiques et physiques tels la transformation chimique et physique, l'atome, la molécule, la réaction chimique, et la loi de la conservation de masse.

Les difficultés qu'éprouvent les élèves à acquérir ces concepts abstraits peuvent être dues à leurs conceptions alternatives à propos de ces concepts. Ce qui entraîne chez les élèves des erreurs de raisonnement. Il est donc difficile de corriger les représentations erronées relevant de la vie quotidienne. Par exemple, utiliser la dissolution à la place de la fusion.

Les résultats de la présente étude, nous amènent à penser que le processus d'enseignement-apprentissage a contribué, à un certain degré, à changer quelques représentations. Mais, l'étude a montré qu'il y a aussi une certaine difficulté chez les élèves de l'échantillon dans l'exploitation des concepts enseignés. Cependant, l'acquisition de quelques concepts chimiques reste comme étant une connaissance scientifique non fonctionnelle en l'absence de son application, comme le cas de la conservation du nombre et type d'atomes dans une réaction chimique.

Conflict of Interest Statement

The authors declare no conflicts of interests.

About the Authors

Bouchra Benzidia, Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation, Rabat, Maroc. Dr. Bouchra Benzidia has received his PhD in Applied Chemistry from Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco in 2020. She has been training as a High schools Professor in the Regional Centre for Education and Training Professions in terms of 2019. Currently, she is a teacher at the College of Abderrahmane ibn Aouf, Ait Ikkou, Khemisset region, Morocco. E-mail: benzidia1511@gmail.com

Hajar Ait Alioua, Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation, Rabat, Maroc. Hajar Ait Alioua has been training as a High schools Professor in the Regional Centre for Education and Training Professions in terms of 2019. Currently, she is teacher at the College of Azzohour, Lalla Mimouna, Kenitra region, Morocco). E-mail: aitaliouahajar18@gmail.com

Ali Ouasri, Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation, Rabat, Maroc

M. Ali Ouasri has received his PhD in Applied Chemistry from Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco in 2002. He had published many researches covering chemistry and science didactic fields in indexed international journals. Currently, his research interest focused as well as on chemistry and science didactic. ORCID: orcid.org/0000-0002-7145-7759. E-mail: aouasri@yahoo.fr

Mohammed Abid (Corresponding Author), Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation, Rabat, Maroc M. Mohammed Abid has received his PhD in Applied Chemistry from Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco in 2000. He had published many researches covering chemistry and science didactic fields in indexed international journals. Currently, his research interest focused as well as on chemistry and science didactic. ORCID: orcid.org/0000-0002-7427-2215 E-mail: profabidmed@gmail.com, abid.mohammed@uit.ac.ma

Références

- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences* (2e éd.). Bruxelles : de Boeck Université.
- Caillot, M. (1988). *Circuits électriques : schématisation et résolution de problèmes*. Revue Technologie, Idéologie, Pratiques, VII (2), 59–83.
- Caillot, M. (1984). *La résolution de problèmes en physique : représentations et stratégies*. Psychologie française, 29 (3/4), 257–262.
- De Jong, O., Van Driel, J. (2004). *Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meaning of topics*, International Journal of Science and Mathematics Education, 2, 477–491. DOI: [10.1007/s10763-004-4197-x](https://doi.org/10.1007/s10763-004-4197-x)
- Fillon, P. (1997). Des élèves dans un labyrinthe d'obstacles, *Aster*, n° 25, 114–141. DOI : <https://doi.org/10.4267/2042/8682>
- Giordan A. Apprendre ! Belin (Paris 1998).
- Giordan, A., De Vecchi, G. (2002). *L'enseignement scientifique, Comment faire pour que "ça marche" ?* Delagrave, Nouvelle édition augmentée, 2002.
- Gilbert, J. K., Treagust, D. F. (2009). Macro, submicro, and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Dir.), *Multiple Representations in Chemistry Education* (pp. 1–8). The Netherlands: Springer.
- Harrison, A. G., Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi & D.F. Treagust (Dir.), *Chemical education: Towards a research-based practice* (pp. 189–212). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Herron, J. D. (1996). *The chemistry classroom: Formulas for successful teaching*. Washington, DC : American Chemical Society
- Mzoughi-Khadhraoui, I., Dumon, A., Ayadi-Trabelsi, 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.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro–and microchemistry. *School Science Review*, 64, 377–379.
- Johnstone, A. H. (2000). *Developing student is understanding of chemical change what should we be teaching?* Chemistry Education: Research and Practice in Europe, 1, 77–90. <https://doi.org/10.1039/A9RP90008J>
- Johsua, S. (1984). *Le schéma électrique: aspects perceptifs, aspects conceptuels*. Bulletin de psychologie, Tome XLI, n° 386.
- Kampourakis, K., Zogza, V. (2009) *Preliminary evolutionary explanations: a basic framework for conceptual change and explanatory coherence in evolution*. Science & Education, 18(10), 1313–1340. DOI: [10.1007/s11191-008-9171-5](https://doi.org/10.1007/s11191-008-9171-5)
- Ouasri, A. (2016). *Study of the appropriation by pupils of second Bacculaureate year of knowledge objects relating to acide–base titrations*; Chemistry: Bulgarian Journal of Sciences Education, 25(6), 695–717.
- Ouasri, A. (2017). *A study of Moroccan pupils' difficulties at second Bacculaureat year in solving chemistry problems relating to the reactivity of ethanoate ions and to copper–aluminium cells*. Chemistry Education Research and Practice, 18, 737–748. DOI <https://doi.org/10.1039/C7RP00071E>
- Ouasri, A. (2019). *Study of Moroccan pupils' skills in solving chemistry problems at first year of high–school*. Chemistry : Bulgarian Journal of Sciences Education, 28(3), 351–383.
- Ouasri, A., Ravanis, K. (2020). *Apprentissage des élèves de troisième année de collège marocain du concept d'ion en lien avec la trame conceptuelle (atome, molécule, electron, charge) ; European Journal of Alternative Education Studies*, 5(1) (2020) 71–94. DOI: [10.5281/zenodo.3726358](https://doi.org/10.5281/zenodo.3726358)
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707–730. <https://doi.org/10.1080/09500690010025012>
- Ravanis, K. (2019). *Mental representations of light propagation time for 10– and 14–year–old students: didactical perspectives*. Journal of Baltic Science Education, 18(2), 276–285. DOI : [10.33225/jbse/19.18.276](https://doi.org/10.33225/jbse/19.18.276)
- Ravanis, K. (2010). *Représentations, Modèles Précurseurs, Objectifs–Obstacles et Médiation–Tutelle : concepts–clés pour la construction des connaissances du monde physique à l'âge de 5–7 ans*. Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, 5(2), 1–11. <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/reiec/article/view/7444>
- Stravidou, H. (1990). *Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire. Étude de conceptions des élèves*, Mémoire de thèse, Université de Paris VII.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplets". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179–195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Tinas, J. L. (2013). *Apprentissage d'un concept scientifique : statut de l'hypothèse dans la démarche d'investigation en sciences physiques*, Thèse de doctorat soutenue le 29 Octobre 2013 à l'Université de Bordeaux. <https://www.theses.fr/181293676>

- Treagust, D. F., Chittleborough, G., Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070306>
- Viennot, L. (1978). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Revue française de pédagogie, 45, 16–24.
- Toussaint J. (1996). *Didactique appliquée de la physique–chimie*, Edition Nathan, Paris. ISBN: 2-09-177774-9.
- Wu, H. K. (2003). Linking the microscopic view of chemistry to real-life experiences: Intertextuality in a high-school science classroom. *Science Education*, 87(6), 868–891. <https://doi.org/10.1002/sce.10090>

Annexe

Ce test s'inscrit dans le cadre d'une recherche pédagogique empirique sur les représentations et les assimilations des concepts physiques par les apprenants du secondaire collégial.

Etablissement

Commune rurale

Partie 1 :

Q1. Cochez la bonne réponse ?

1.1. La fusion d'un corps demande :

- L'augmentation de la température. (1)
- La présence d'un liquide (l'eau par exemple) (2)

1.2. La dissolution d'un corps demande :

- L'augmentation de la température. (1)
- La présence d'un liquide (l'eau par exemple). (2)

Q2. Cochez la bonne réponse ?

2.1 – Le sucre se dissout dans l'eau.	
2.2 – Le sucre se fond dans l'eau.	
2.3 – Un morceau de glace se fond sous l'effet des rayons du soleil.	
2.4 – Un morceau de bougie se fond sur une plaque de fer chaude.	
2.5 – Un morceau de bougie se dissout sur une plaque de fer chaude.	

Q3. Cochez-la ou les bonnes réponses ?

3.1. La fusion est la transformation de la matière de l'état solide à l'état liquide.	
3.2. La fusion est la disparition d'un corps (le soluté) dans un liquide (le solvant).	
3.3. La dissolution est la transformation de la matière de l'état solide à l'état liquide.	
3.4. La dissolution est la disparition d'un corps (soluté) dans un liquide (solvant).	

Partie 2 : On considère les transformations suivantes :

- La 1^{ère} transformation : la combustion du charbon (carbone) dans l'air (dioxygène) produit le dioxyde de carbone qui peut causer l'étouffement dans un espace clos.
- La 2^{ème} transformation : on met une quantité d'eau dans le réfrigérant jusqu'à la solidification.
- La 3^{ème} transformation : la dissolution de l'acide sulfurique dans l'eau produit le trioxyde de soufre.

Pour répondre cochez-la ou les bonnes réponses ?

Q1. Quelle est la transformation qui se produit des nouveaux corps :

- 1.1 – La première transformation.
- 1.2 – La deuxième transformation.
- 1.3 – La troisième transformation.

Q2. Quelle est la transformation qui change seulement l'état physique :

- 2.1 – La première transformation.
2.2 – La deuxième transformation.
2.3 – La troisième transformation

Q3. La transformation qui produit des nouveaux corps s'appelle :

- 3.1 – Mélange homogène.
3.2 – Transformation physique.
3.3 – Réaction chimique.

Q4. La transformation qui change seulement l'état physique s'appelle :

- 4.1 – Transformation physique.
4.2 – Dissolution.
4.3 – Réaction chimique.

Q5. Les corps participant à la réaction chimique s'appellent :

- 5.1 – Produits.
5.2 – Réactifs.
5.3 – Mélanges.

Q6. Les nouveaux corps résultant de la transformation chimique s'appellent :

- 6.1 – Produits.
6.2 – Réactifs.
6.3 – Mélanges.

Q7. La réaction chimique est :

- 7.1 – La disparition des corps nommés produits et l'apparition des nouveaux corps dits réactifs lors de la transformation chimique.
7.2 – La disparition des réactifs et l'apparition des nouveaux produits lors de la transformation chimique.
7.3 – La transformation de la matière d'un état physique à un autre état.

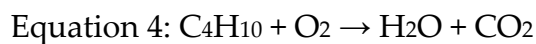
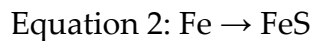
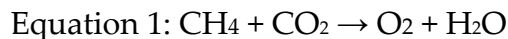
Partie 3 : Pour les questions 1 et 2, cochez-la ou les bonnes réponses ?

Q1. Pendant la réaction chimique :

1.1 – Les produits et les réactifs sont formés des mêmes molécules	
1.2 – Les produits et les réactifs sont formés de même nombre et type d'atomes	
1.3 – De nouvelles molécules apparaissent dans les produits.	
1.4 – Quelques atomes qui forment les réactifs disparaissent dans les produits.	
1.5 – Les atomes se relient entre-elles de la même manière dans les réactifs et les produits.	
1.6 – Les atomes ne se relient pas entre-elles de la même manière dans les réactifs que dans les produits.	
1.7– Pendant la réaction chimique, la masse des réactifs est égale la masse des produits	

Q2. Ecrire l'équation chimique complète de la combustion du butane ?

.....
Q3. Parmi les équations chimiques suivantes, indiquer celles qui sont équilibrées.



Creative Commons licensing terms

Author(s) will retain the copyright of their published articles agreeing that a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) terms will be applied to their work. Under the terms of this license, no permission is required from the author(s) or publisher for members of the community to copy, distribute, transmit or adapt the article content, providing a proper, prominent and unambiguous attribution to the authors in a manner that makes clear that the materials are being reused under permission of a Creative Commons License. Views, opinions and conclusions expressed in this research article are views, opinions and conclusions of the author(s). Open Access Publishing Group and European Journal of Education Studies shall not be responsible or answerable for any loss, damage or liability caused in relation to/arising out of conflicts of interest, copyright violations and inappropriate or inaccurate use of any kind content related or integrated into the research work. All the published works are meeting the Open Access Publishing requirements and can be freely accessed, shared, modified, distributed and used in educational, commercial and non-commercial purposes under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).