



APPRENTISSAGE DES ÉLÈVES DE COLLÈGE MAROCAIN DU CONCEPT D'ION EN LIEN AVEC LA TRAME CONCEPTUELLE (ATOME, MOLÉCULE, ÉLECTRON, CHARGE)ⁱ

Ali Ouasriⁱⁱⁱ,

Konstantinos Ravanis²

¹Laboratoire de Recherche Scientifique et
Innovation Pédagogique (LReSIV);
Centre Régional des Métiers de l'Éducation
et de la Formation,
Rabat, Maroc

²Department of Educational Sciences and
Early Childhood Education,
University of Patras,
Greece

Résumé:

Dans cet article, ont été analysées les difficultés des élèves marocains (14-16 ans) de troisième année de secondaire collégial à propos de l'apprentissage du concept d'ion en lien avec les notions constituant la trame conceptuelle (atome, molécule, électron, charge). Tout d'abord, nous avons développé un cadre conceptuel portant sur les difficultés d'apprentissage et les conceptions alternatives qu'ont faites les élèves à propos des concepts chimiques en général, et les concepts faisant partie de la trame conceptuelle d'ions (atome, molécule, électron, charge) en particulier. Puis, nous avons fait passer un questionnaire aux élèves en vue de vérifier s'ils sont capables d'associer des critères symboliques et microscopiques aux espèces chimiques: ions, atomes, et molécules. Les difficultés qu'éprouvent les élèves à apprendre des concepts abstraits tels l'atome l'ion, l'anion, le cation, l'ion monoatomique, et l'ion polyatomique, peuvent être dues aux conceptions alternatives, et aux applications heuristiques chez ces élèves à propos de ces concepts. Ce qui entraîne chez les élèves des erreurs de raisonnement, que nous avons tenté de les classer selon la typologie du sens commun (Commonsense Reasoning) de Talanquer.

Mots-clés: conceptions alternatives, enseignement secondaire, enseignement de la chimie, concept d'ion, trame conceptuelle

ⁱ LEARNING OF MOROCCAN PUPILS IN THE THIRD COLLEGE YEAR OF THE ION CONCEPT IN CONNECTION WITH THE CONCEPTUAL TRAM (ATOM, MOLECULE, ELECTRON, CHARGE)

ⁱⁱ Correspondence: email aouasri@yahoo.fr

Abstract:

In this article, the difficulties of Moroccan pupils (14-16 years old) of the third year of college school were analyzed in the learning of the ion concept in connection with the concepts constituting the conceptual tram (atom, molecule, electron, charge). Firstly, we have developed a conceptual framework dealing with learning difficulties and the alternative conceptions that pupils have made about chemical concepts in general, and the concepts involved in the conceptual tram of ions (atom, molecule, electron, charge). Then, we passed a questionnaire to the pupils in order to check if they are able to associate symbolic and microscopic criteria with the chemical species: ions, atoms, and molecules. The difficulties of pupils in the learning of abstract concepts such as the atom, ion, anion, cation, monatomic ion and polyatomic ion, may be due to alternative conceptions, and heuristic applications that have the pupils about these concepts. This leads to errors of reasoning at pupils, which we have tried to classify according to the commonsense typology of Talanquer.

Keywords: alternative conceptions, secondary education, chemistry teaching, ion concept, conceptual tram

1. Introduction

La chimie étudie la composition de la matière et les réactions ayant lieu entre les molécules qui la constituent. Elle traite autant des propriétés macroscopiques de la matière que des modèles microscopiques, ceux-ci permettent d'expliquer et de prédire les phénomènes observés au niveau macroscopique. Étant une science expérimentale, la chimie est constituée de modèles et de théories qui ont été construits empiriquement, à partir d'observations expérimentales.

Très jeunes, les enfants sont mis en contact avec le concept de l'atome, à travers les médias par exemple. Des conceptions naïves sur ces particules peuvent dès lors se développer. 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.

L'apprentissage des concepts de chimie est donc une difficulté pour les élèves dont les enseignants n'ont pas toujours conscience. Les symboles utilisés en chimie sont un outil puissant qui permet de travailler sur les différents niveaux de savoir: empirique, modèles macroscopiques et modèles microscopiques. Une bonne utilisation du langage du chimiste nécessite, en dehors de la connaissance des symboles, une maîtrise des concepts qui sont implicitement véhiculés, et un référent empirique suffisant.

Le présent article traite tout d'abord de la problématique de la l'apprentissage des concepts en chimie tels l'atome et l'ion, puis du cadre conceptuel qui passe en revue les difficultés d'apprentissage des concepts chimiques en rapport avec les conceptions alternatives, les applications heuristiques, et la trame conceptuelle liée au concept d'ion (atome, molécule, électron, charge). Ensuite, est présentée la méthodologie adoptée et le

questionnaire de recherches. Les deux dernières parties sont consacrées à l'analyse et la discussion des résultats obtenus. Ce qui nous permet de dégager certaines conclusions concernant les difficultés auxquelles sont confrontés les élèves de troisième année de collège lors de l'apprentissage des concepts chimiques portant sur l'atome et l'ion.

2. Problématique

2.1. Difficultés d'apprentissage de chimie

L'apprentissage de la chimie demande une bonne dose d'abstraction, car les principes explicatifs du comportement de la matière visible sont constitués en modèles reposant sur la nature corpusculaire, i.e. invisible, de la matière. Les connaissances qui nécessitent un effort d'abstraction, comme l'imagination des atomes et molécules, renvoient au savoir opérationnel, la première catégorie du savoir, difficile à appréhender que le savoir déclaratif, c'est-à-dire la deuxième catégorie du savoir. Le savoir opérationnel comprend des connaissances déclaratives, qui y sont articulées dans un discours explicatif basé sur des concepts abstraits. Décrire la taille relative des ions et des molécules d'eau dans une solution saline nécessite de recourir au savoir opérationnel (Herron, 1996). Une véritable compréhension de la chimie n'implique pas seulement l'acquisition de connaissances déclaratives (Ouasri, 2016). La compréhension de la chimie passe donc par la maîtrise du savoir opérationnel. La troisième catégorie est celle du savoir procédural, qu'on doit mettre en œuvre pour résoudre un problème, pour appliquer une telle procédure. Les difficultés des élèves là-dessus relèvent souvent des blocages mathématiques.

En décrivant le monde, la science est construite d'énoncés, i.e. des faits, des lois, et des modèles, qui peuvent avoir l'air d'une description sans nuances du monde matériel, mais ils sont construits à partir d'observations humaines, avec les imprécisions et les erreurs d'interprétation que cela peut entraîner. Toutefois, on rapporte que plusieurs apprenants ont tendance à confondre les modèles scientifiques et le monde réel (Astolfi et al., 2008). Cette vision positiviste du monde les empêche de comprendre que les énoncés du modèle scientifique ne sont pas applicables dans tous les contextes (Ravanis, 2010).

Il y a trois niveaux de représentation en chimie: symbolique (équations et formules chimiques), sous-microscopique (conceptualisation des molécules et des atomes) et macroscopique (phénomènes observables: la couleur, la phase) (Gilbert & Treagust, 2009; Talanquer, 2011) ; ces niveaux ont été proposés au départ par Johnston (1982). Cette triple représentation constitue un enjeu si important en didactique de la chimie qu'on lui a attribué le nom: « relation du triplet » (*triplet relationship*), qui a servi de base à plusieurs auteurs pour analyser les difficultés d'apprentissage intrinsèques à la chimie (Gilbert & Treagust, 2009; Harrison & Treagust, 2002; Nicoll, 2001; Ouasri, 2019a; Talanquer, 2011; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2003; Wu, 2003). 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.

Au niveau scolaire, la chimie s'appuie sur les réactions chimiques qui posent plusieurs difficultés aux élèves qui devraient non plus les connaître, mais savoir les substances qu'elles mettent en jeu. Les élèves sont priés d'en identifier les noms, les formules chimiques et leur état physique, les conditions usuelles et ses propriétés physiques et chimiques essentielles.

Les conceptions alternatives portent sur les modèles sous-microscopiques à partir desquels la chimie tente d'expliquer et de prédire le comportement de la matière. Bien qu'on puisse s'imaginer que les concepts macroscopiques devraient être mieux compris par les apprenants, on observe également des conceptions alternatives au sujet de ceux-ci, la plupart en lien avec la difficile relation à établir entre les causes modélisées au niveau sous-microscopique et les conséquences observées au niveau macroscopique

En faisant un bilan des recherches effectuées au cours des trois décennies à la fois sur des difficultés d'ordre syntaxique et d'ordre conceptuel dans l'utilisation des symboles, Taskin et Bernholt (2014) se sont rendu compte que: des symboles chimiques ont été compris comme de simples abréviations (Al-Kunifed, Good, & Wandersee, 1993), CH_2O considéré comme un carbone lié à de l'eau, ou SiO_2 équivalent à Si_2O_4 (Keig & Rubba, 1993). L'utilisation des formules brutes se rapporte parfois à une simple manipulation arithmétique (Sanger, 2005). D'autres travaux montrent également des difficultés dans l'application des conventions et des règles pour les formules brutes dans le cadre des réactions chimiques (Mzoughi-Khadhraoui & Dumon, 2012) ainsi que des difficultés pour passer d'un niveau d'interprétation macroscopique à un niveau microscopique (Laugier & Dumon, 2004).

2.2. Pertinence de la recherche

Les typologies existantes pour les conceptions en chimie considèrent le niveau de certitude des chercheurs sur l'existence des diverses conceptions (Grayson, Anderson, & Crossley, 2001) ou le degré d'exactitude d'une réponse partiellement correcte (García Franco & Taber, 2009). Une classification des conceptions alternatives en chimie selon les erreurs de raisonnement qui peuvent les expliquer, semble être très pertinente et innovatrice. En outre, il n'existe pas un inventaire des conceptions les plus fréquentes en chimie pour les apprenants marocains. C'est pourquoi, une étude des difficultés particulières de ces apprenants est nécessaire pour du moins tracer un portrait de la situation.

3. Objectifs de la recherche

Nous pensons que l'apprenant ne peut mener seul le travail sur les symboles en chimie en lien avec les autres niveaux de connaissance. Pour développer cet apprentissage dans l'enseignement de la chimie au Maroc, nous avons décidé de nous limiter au concept de l'ion, et essayé de répondre à la question suivante: les élèves sont-ils capables d'associer correctement pour le concept d'ion des caractéristiques à la fois du niveau symbolique et du niveau microscopique (atome et molécule)?

Dans le présent travail nous cherchons donc à décortiquer certaines difficultés liées à l'apprentissage du concept de l'ion, qui semblent être complexes à cause des faits éducatifs qui ne peuvent être réductibles à un seul facteur explicatif, même si la littérature dans ce domaine fournit plusieurs repères (Del Pozo, 2001; Hartley et al., 2011; Özmen, 2004; Pfundt & Duit, 2009; Taber, 2014; Wu, 2003). Pour analyser et discuter ces difficultés, nous avons mené une recherche empirique sur des élèves de troisième année de secondaire collégial à propos de l'apprentissage des concepts d'atome et d'ion. Mais avant, il nous semble important de passer en revue les concepts chimiques étudiés et les origines des difficultés des élèves dans l'apprentissage de ces concepts.

4. Cadre conceptuel

Cette partie est en grande partie exploratoire, et la recension de certains écrits esquisse donc un cadre conceptuel plutôt qu'un cadre théorique. Afin de cerner les principales difficultés de l'apprentissage des concepts chimiques, nous nous sommes basés essentiellement sur la recherche effectuée sur les conceptions alternatives par Pfundt et Duit (2009). Les modes de raisonnement en sciences en général et en chimie en particulier seront étudiés sous l'angle du raisonnement logique et de l'application d'heuristiques. Parmi les conceptions alternatives répertoriées dans les écrits scientifiques, nous aborderons celles relatives aux concepts constituant la trame conceptuelle de l'ion (atome, charge, électron, molécule).

4.1. Conceptions alternatives

La question de la construction du monde physique chez la pensée des élèves constitue un champ assez élaboré. Dans plusieurs recherches, souvent animées par des points de vue théoriques différents, nous pouvons constater que les enfants dès la naissance approchent le monde physique et formulent des entités mentales qu'on appelle dans le cadre de la didactique de la physique, chimie et biologie idées spontanées, représentations ou conceptions alternatives (Ergazaki & Andriotou, 2007; Fragkiadaki & Ravanis, 2015; Kaliaspos & Ravanis, 2019; Kampourakis & Zogza, 2009; Ouasri, 2017, 2019b).

D'autre part, Taber (2001) distingue entre la chimie et les autres domaines scientifiques quant à l'origine des conceptions alternatives. En physique ou en biologie, les apprenants peuvent arriver en classe avec des conceptions naïves dues à leur observation du monde ; par exemple, sur le mouvement des corps ou la nutrition des végétaux (Wandersee, Mintzes & Novak, 1994). Cependant, les apprenants ne sont pas en contact direct avec les notions chimiques qui seront à l'étude. Ils n'avaient pas l'occasion d'avoir une intuition sur des notions des molécules, ions, réactions etc.; ils arrivent en classe avec moins de préconceptions que dans les autres sciences. Cela ne simplifie pas le problème pour autant. Les conceptions sont développées par la façon qu'un apprenant donne du sens à ce qui lui est présenté en classe en lien avec ses connaissances antérieures qui, en chimie, viennent exclusivement de l'enseignement

précédent ; ce qui aurait pu générer une compréhension en désaccord avec les théories scientifiques.

À noter que de nombreux auteurs partagent ce point de vue sur l'origine des conceptions alternatives en chimie (Albanese & Vicentini, 1997; Bodner, 1991; Coll & Treagust, 2001; Taber & Coll, 2002). D'ailleurs, Hartley et al. (2011) recommandent aux enseignants de chimie d'accorder une attention particulière au vocabulaire qu'ils utilisent en classe afin d'éviter toute confusion possible avec le langage courant. De plus, Özmen (2004) indique que la méconnaissance des enseignants de chimie des conceptions alternatives des apprenants peut avoir un impact négatif sur l'apprentissage.

La recherche bibliographique de Pfundt et Duit (2009) a relevé de nombreuses conceptions sur les concepts enseignés en chimie au secondaire et postsecondaire. Taber (2001) a revu les travaux portant sur les difficultés des apprenants à comprendre et utiliser les différents modèles qui traitent de la structure de la matière en chimie (modèles de la structure des atomes, molécules, etc.). Özmen (2004) ne s'est limité pas aux études portant sur les conceptions alternatives, mais il avait répertorié aussi les études portant sur les difficultés d'apprentissage en général.

García Franco et Taber (2009) ont précisé qu'il n'y a eu que peu d'efforts de recherche sur la nature et l'origine des conceptions alternatives; ce qui place les enseignants devant un paradoxe: on leur demande de prendre en compte dans leur enseignement les conceptions alternatives des apprenants, mais sans qu'ils puissent comprendre comment et pourquoi la façon dont ces derniers pensent. En outre, vue l'abondance des conceptions alternatives répertoriées, un enseignant peut se trouver démuné quand vient le temps de trouver un dénominateur commun sur lequel pourrait s'appuyer pour tenter de stimuler le changement conceptuel chez ses apprenants.

4.2. Raisonnement logique et conceptions alternatives

Plusieurs études portent sur la détection de conceptions d'élèves sur la nature des composés ioniques ou des solides métalliques (Coll & Treagust, 2003; De Posada, 1997). Une conception alternative très répandue concerne la distinction entre composé ionique et entité moléculaire. Au-delà des liaisons différentes qui les constituent, la différence essentielle entre les deux est qu'un composé ionique a une structure en réseau continu alors que les entités moléculaires sont des entités discrètes. En effet, plusieurs élèves croient que les composés ioniques comme le chlorure de sodium NaCl existent sous forme de molécules (Coll & Taylor, 2001; Othman, Treagust, & Chandrasgaran, 2008). Ces conceptions alternatives portent sur les modèles sous-microscopiques à partir desquels la chimie tente d'expliquer et de prédire le comportement de la matière.

Bien qu'on puisse s'imaginer que les concepts macroscopiques devraient être mieux compris par les apprenants, on observe également des conceptions alternatives là-dessus. La plupart de conceptions alternatives sont ici en lien avec la difficile relation à établir entre les causes modélisées au niveau sous-microscopique et les conséquences observées au niveau macroscopique.

Les conceptions alternatives trouvent leur origine dans différentes sources: observations naïves du monde naturel, représentation des concepts scientifiques dans les médias, l'enseignement lui-même, etc... (Wandersee et al., 1994). Mais elles proviennent surtout de l'interprétation et la reconstruction des concepts dans l'esprit des apprenants. Pour que les concepts scientifiques y prennent leur place, les structures cognitives doivent les accommoder en leur attribuant un sens. Les conceptions alternatives sont les constructions mentales qu'ont faites les apprenants en s'expliquant à eux-mêmes, délibérément ou non, les nouveaux concepts. Les mécanismes et les contraintes cognitives qui sous-tendent cette activité permettent d'expliquer les conceptions alternatives, et aussi de les classer pour y remédier de façon différenciée.

En vue d'expliquer le faible succès en science, Piburn (1990) a étudié les erreurs de raisonnement ; il s'est rendu compte que la difficulté des apprenants à interpréter correctement des propositions logiques n'est pas uniquement imputable à une incompréhension de la structure logique, mais aussi à une limitation structurale qui peut être à l'origine des conceptions alternatives dans lesquelles un apprenant interprète mal une proposition logique. Les informations nécessaires seraient ainsi encodées incorrectement dès qu'on les présente aux apprenants, qui ne les comprennent pas et ne peuvent pas les comprendre (Piburn, 1990).

En comprenant chaque énoncé propositionnel, les apprenants pourraient acquérir la connaissance délimitée par ces énoncés ; mais un tel schéma idéal de l'apprentissage n'est pas réaliste (Piburn, 1990), car les énoncés ne sont pas explicitement rendus disponibles aux apprenants. Les enseignants utilisent ces énoncés implicitement lorsqu'ils les adaptent du savoir savant vers le savoir à enseigner (Astolfi et al., 2008; Ravanis, 2009).

4.3. Heuristiques en chimie et conceptions alternatives

L'application d'une heuristique pour prendre une décision ou poser un jugement emploie deux éléments: des connaissances fragmentaires intuitives et un raisonnement en raccourci. Les connaissances fragmentaires intuitives peuvent être des *p-prims* (diSessa, 1993), et le raisonnement en raccourci peut faire intervenir des erreurs logiques. Ainsi, le raisonnement par heuristique, bien que frugal et économique pour un expert, peut mener à des erreurs pour un novice.

L'heuristique permet de faire un plus petit effort cognitif tout en donnant un résultat acceptable. Comme pour le raisonnement avec les *p-prims* de diSessa, les experts utilisent aussi les heuristiques, mais ils arrivent à les utiliser pour produire un raisonnement exact. Dans ce cas, l'expertise ne veut pas dire la substitution des heuristiques par un raisonnement analytique plus complet, mais plutôt l'habileté de choisir les bons indices pour poser un jugement et prendre une décision dans un contexte précis (Maeyer & Talanquer, 2010).

À partir des théories cognitives dont l'heuristique fait partie, plusieurs auteurs (Maeyer & Talanquer, 2010; McClary & Talanquer, 2011; Talanquer, 2006, 2009) ont relu des résultats de recherche effectués sur les conceptions alternatives en chimie à la lumière

de types de raisonnement qui, au-delà de la conception elle-même, pourraient mener les apprenants à faire des prédictions inexactes en chimie. Talanquer (2006) a analysé les conceptions alternatives diagnostiquées chez des apprenants que plusieurs travaux ont déjà mentionnées, au regard du type de raisonnement auquel les apprenants ont eu recours pour arriver à une fausse conclusion. L'analyse de Talanquer a permis de concevoir un cadre explicatif de sens commun (*commonsense explanatory framework*) qui classe les conceptions alternatives en chimie en deux grands types: celles qui reposent sur des suppositions empiriques de base (*basic empirical assumptions*) et celles qui découlent d'heuristiques. La distinction entre ces deux types est subtile, mais importante.

Les suppositions empiriques de base des apprenants sont des croyances fondamentales qui ne se basent pas obligatoirement sur des connaissances déclaratives apprises en chimie, mais elles sous-tendent les conceptions alternatives. Sans pour autant décrire en détail les cinq suppositions empiriques de base déterminées par Talanquer (la continuité de la matière, le substantialisme, l'essentialisme, la causalité mécanique, et la téléologie), on peut dire que ces suppositions empiriques sont épistémologiquement proches des *p-prims*, avec lesquelles elles partagent plusieurs caractéristiques: elles sont issues d'une interprétation superficielle de la réalité, elles servent souvent de base au raisonnement, elles sont auto-explicatives, et ceux qui les emploient ne ressentent pas le besoin de les justifier (diSessa, 1993).

Toutefois, les suppositions empiriques de base ne sont pas des *p-prims* pour Talanquer qui spécifie plutôt que les termes *p-prims*, *implicit presuppositions*, *core hypothesis*, *background assumptions*, *core intuitions* ou *conceptual resources* sont utilisés comme des quasi-synonymes dans plusieurs recherches (Talanquer, 2009).

Les heuristiques représentent le deuxième grand type d'éléments du cadre explicatif de sens commun. Talanquer a déterminé onze heuristiques sous-jacentes aux conceptions alternatives, qu'il regroupe en quatre catégories: les heuristiques d'association (covariance, similarité, proximité, additivité, disponibilité), de réduction (*one reason, decision making*), de fixation (généralisation excessive, détermination mentale, fixité fonctionnelle), et de séquence linéaire. Talanquer illustre chacune des heuristiques, dont nous donnons ici quelques exemples ayant trait aux concepts d'atome et d'ion.

L'heuristique d'association nommée « similarité » contraint le jugement lorsqu'un individu croit que plus un ion est positif, plus il est gros, alors que c'est l'inverse. L'heuristique de la non-différenciation se manifeste lorsqu'on croit que l'électronégativité est une mesure de la polarité, alors que ce sont deux concepts reliés, mais pas équivalents. Lorsqu'un apprenant se représente tous les composés comme étant des molécules, on voit à l'œuvre l'heuristique de la généralisation excessive. Un exemple de fixité fonctionnelle est la croyance que les molécules ont la forme de leur structure de Lewis.

Ainsi, Talanquer conclut que pour favoriser le changement conceptuel, il fallait prendre en considération non seulement les conceptions alternatives, mais aussi le raisonnement. On ne peut enseigner les bonnes conceptions, mais aussi la façon correcte

de réfléchir pour faire des prédictions justes. On doit rendre explicites pour les apprenants les relations entre les concepts et enseigner systématiquement la façon correcte d'agencer les concepts avec logique.

4.4. Trame notionnelle du concept d'ion (atome, molécule, électron, charge)

Pour faciliter l'apprentissage de contenus définis, il faut garder à l'esprit qu'il ne suffit pas de présenter une définition claire aux apprenants, étant donné les difficultés de raisonnement logique qu'éprouvent plusieurs apprenants (Piburn, 1990). Plutôt que d'énoncer une définition de la molécule, les enseignants devraient s'appliquer à faire l'analyse systématique du concept, en présentant des exemples et des contre-exemples, et en déterminant les attributs essentiels et les attributs variables de chaque définition (Herron, 1996). C'est pourquoi, nous proposerons ici une définition contrastée des concepts de molécule, d'ion, et d'atome.

Le concept d'atome appartient aux concepts qui n'ont pas d'exemples et attributs perceptibles. L'épistémologie de ce concept consiste à une prolifération de modèles ; et leur utilisation dans l'enseignement scientifique s'étend de la représentation figurative à la mise en relation des concepts de haut degré d'abstraction. Depuis la germination de l'idée de l'entité atomique, les modèles atomiques fonctionnels en enseignement sont multiples et très variés.

Un ion est une entité discrète sous-microscopique de la matière formée d'un atome ou d'un regroupement d'atomes, et ayant une charge nette non nulle, positive ou négative. Les ions positifs, appelés cations, sont le plus souvent métalliques. Les ions négatifs, appelés anions, sont souvent non-métalliques. Constitué de plus d'un atome, un ion est qualifié de « polyatomique », et les liaisons entre ses atomes sont des liaisons covalentes. Les ions sont chargés parce qu'il y a déséquilibre entre les charges positives et négatives qui les constituent. On cite par exemple les ions sodium Na^+ , chlorure Cl^- , ammonium NH_4^+ , magnésium Mg^{2+} .

Une molécule est aussi une entité discrète, sous-microscopique de la matière formée d'un regroupement d'atomes, mais ayant une charge nulle. Selon certaines définitions, sont aussi considérées comme molécules les entités sous-microscopiques discrètes formées d'un seul atome et ayant une charge nette nulle. Les liaisons entre les atomes d'une molécule sont des liaisons covalentes. Les atomes d'une molécule sont le souvent des non-métaux. On cite par exemple les molécules d'eau H_2O , de sucre $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, et d'oxygène O_2 .

Mulford et Robinson (2002) ont mentionné que des étudiants universitaires aient manifesté une conception alternative en la transposition des propriétés macroscopiques aux atomes. Cette conception est associée à une difficulté d'ordre épistémologique que Garnett, Garnett & Hackling (1995) attribuent à une incapacité des étudiants à visualiser correctement les particules qui constituent la matière. Taber (2001) quant à lui l'attribue au modèle corpusculaire tautologique dans lequel les étudiants transfèrent aux atomes les propriétés de la matière macroscopique.

Le fait que rarement dans l'enseignement les apprenants soient appelés à représenter une situation au niveau sous-microscopique peut certainement expliquer cette tendance forte répandue. Comme il est difficile pour les étudiants de s'imaginer des atomes, García Franco et Taber (2009) recommandent de les encourager à développer une certaine familiarité avec la nature corpusculaire de la matière, au-delà de la connaissance déclarative désincarnée selon laquelle « toute matière est constituée d'atomes », de façon à ce qu'ils intériorisent les modèles sous-microscopiques et qu'ils puissent les invoquer dans leurs explications.

Selon Cormier (2013), les apprenants n'ont pas de définition opérationnelle de ce qu'est une molécule. Mais la définition de ce concept n'est pas le seul problème que rencontrent les apprenants, qui devaient comprendre la signification des schémas avant d'utiliser la définition de la molécule. Or, certains apprenants ne comprennent pas les différentes façons de représenter schématiquement la nature sous-microscopique de la matière. Les apprenants doivent donc opérer le lien entre les différents niveaux de représentation (sous-microscopique, macroscopique et symbolique) comme a été expliqué auparavant. Cette correspondance peut paraître évidente aux enseignants, mais les apprenants ont des difficultés à se représenter simultanément le contenu de chimie aux trois niveaux de représentation (Gilbert & Treagust, 2009).

4.5. Sommaire du cadre conceptuel

Nous avons passé en revue de nombreuses conceptions alternatives chez les apprenants autour des concepts relevant de la chimie. En fait, les chercheurs s'entendent pour dire que pour favoriser le changement conceptuel est de connaître les conceptions alternatives des apprenants, mais sans négliger les structures et mécanismes cognitifs qui les expliquent. Le raisonnement de sens commun, lorsqu'il est utilisé pour résoudre des problèmes en chimie, peut entraîner des réponses incorrectes au sens de la théorie scientifique acceptée, ce qui constitue des conceptions alternatives. Mais ces réponses peuvent se réduire à un nombre plus petit de contraintes cognitives (heuristiques, *p-prims*, suppositions implicites de base) qui, en fournissant un cadre interprétatif, pourraient aider à remédier aux conceptions alternatives. La présente recherche porte sur deux questions : quelles sont les conceptions des apprenants et quels sont leurs modes de raisonnement?

5. Méthodologie

Pour répondre à la question de recherche, nous avons fait un test de diagnostic, ayant pour objectif de mettre en évidence des tendances générales dans l'utilisation des concepts d'atome, de molécule et d'ion par des élèves de collèges. Cette étude a été donc menée afin de comprendre les difficultés que rencontrent les élèves (15-16 ans) de secondaire collégial lors de l'apprentissage des concepts atome, ions. La méthodologie adoptée consiste à définir la population cible, la méthode d'investigation et les instruments de collecte de données.

5.1. Population cible

Cette étude a pour cible une population constituée de 240 élèves de classes de troisième année de secondaire collégial appartenant aux collèges de Rabat-Sale. Ils totalisent deux heures de cours hebdomadaires de physique-chimie réparties du lundi au vendredi. Le choix de cette population est dû à l'importance des conceptions alternatives chez les élèves en troisième année de secondaire collégial, et qui pourrait affecter négativement l'apprentissage des concepts chimique chez ces élèves en fin de cycle secondaire collégial.

5.2. Technique d'investigation

Les élèves de troisième année de secondaire collégial ont été priés de répondre à un questionnaire (Annexe) comportant sept items sur leurs perceptions et leurs expériences en classe; et ce pour pouvoir tracer un portail sur les difficultés qu'ils rencontrent dans l'apprentissage des concepts d'atome et d'ion. Le questionnaire à choix multiples présentant la possibilité de recueillir des justifications des apprenants permet de sonder les conceptions alternatives d'un grand nombre d'apprenants en vue de répondre aux questions de recherche. Il permet donc de dresser un profil général des élèves d'un niveau de classe, et non plus définir un profil de chaque élève. Les pourcentages calculés pour chaque catégorie de réponses sont caractéristiques d'élèves ciblés et ne peuvent être généralisés à d'autres populations qu'avec beaucoup de précaution.

6. Analyse et discussion des résultats

Le questionnaire destiné aux élèves comporte 7 questions (annexe), que nous allons analyser séparément. Les résultats obtenus sont illustrés dans les tableaux 1-7.

Question 1: En classe, vous entendez parler de l'ion et de l'atome?

Le tableau 1 présente le nombre et le pourcentage des élèves qui déclarent avoir entendu parler de l'ion.

Cette question permet d'identifier le niveau d'implication des élèves (100%) dans ce questionnaire, puisque tous ont reçu l'enseignement du niveau correspondant au programme de chimie. Ainsi nous pourrions dire que les élèves se sentent dans l'injonction de donner une réponse, et sont capables de transférer leurs connaissances sur l'atome à d'autres concepts, telle la formation des ions de type anions, cations, ions monoatomiques, et ions polyatomiques.

Tableau 1: Réponses des élèves ayant entendu ou non l'ion

Réponse	Oui	Non	Sans avis	Nombre/Pourcentage total
Nombre d'élèves	240	0	0	240
Pourcentage (%)	100	0	0	100

Question 2 : Signification d'une perte et un gain d'électrons par un atome

Pour répondre à la deuxième question, nous avons demandé aux élèves pour deux séries d'espèces chimiques (Na, Cl, Zn, Cu, Fe, Al, F) et (Na^+ , Cl^- , Zn^{2+} , O^{2-} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , F^-) de répondre quel atome a subi la perte ou le gain d'électrons. Seules les réponses précisant le nombre d'électron échangés entre atome et son ion conjugué sont considérées des réponses positives. Le tableau 2 présente le nombre et le pourcentage des élèves qui ont pu appréhender la signification de la perte et le gain d'électrons par un atome.

Tableau 2: Réponses des élèves à propos de la perte et le gain d'électrons par un atome

Réponse	Positive	Négative	Nombre/Pourcentage total
Nombre d'élèves	144	96	240
Pourcentage (%)	60	40	100

Ces résultats montrent qu'une bonne partie des élèves (60%) a pu apprendre la signification de la perte et le gain d'électrons par un atome; alors 40% des élèves éprouvent des difficultés pour apprendre ces concepts.

Question 3 : Détermination de la charge d'un ion

Pour répondre à cette question, nous avons demandé aux élèves de déterminer la charge des espèces chimiques suivants (Na^+ , Cl^- , Zn^{2+} , O^{2-} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , F^-). Seules les réponses précisant le nombre de charges portés par chaque ion sont considérées des réponses positives. Le tableau 3 présente le pourcentage des élèves ayant pu déterminer la charge d'un ion.

Tableau 3: Résultats relatifs aux élèves qui savent déterminer ou non la charge de l'ion

Réponse	Oui	Non	Aucune réponse	Nombre/Pourcentage total
Nombre d'élèves	120	84	36	240
Pourcentage (%)	50	35	15	100

Ces résultats montrent que seule la moitié des élèves a pu déterminer la charge d'un ion, et que 35% des élèves n'ont pas pu répondre correctement à cette question; le reste (15%) n'a donné aucune réponse, ce qui traduit peut être une difficulté spéciale.

Question 4: distinction entre la formule d'ion, d'atome, et de molécule

Pour répondre à la quatrième question, nous avons demandé aux élèves pour une série de formules (O_2 , H_2O , C, CO_2 , Fe, Na^+ , Cl^- , Zn^{2+} , O^{2-} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , F^- , NH_3 , NH_4^+ , CO_3^- , $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) d'indiquer lesquelles correspondent aux notions suivantes: atome, molécule ou ion. Les réponses dont sont indiqués deux ou trois critères à la fois sont considérées négatives. Le tableau 3 présente les élèves qui ont présenté des réponses positive et négative à propos de la formule de l'ion, de l'atome et de la molécule.

Tableau 4: Réponses des élèves qui savent distinguer ou non entre la formule de l'ion, de l'atome et de la molécule

Réponse	Positive	Négative	Nombre/pourcentage total
Nombre d'élèves	144	96	240
Pourcentage (%)	60	40	100

Ces résultats montrent que 60% d'élèves savent distinguer entre la formule ou le symbole d'un ion, d'un atome et d'une molécule; les autres élèves (40%) semblent ne pas savoir distinguer entre les formules et les symboles de ces espèces. Il semble que cela est due à la confusion qu'ont faites ces élèves entre l'atome, l'ion et la molécule, surtout que les mêmes pourcentages ont été soulevés au niveau de cette question et celle portant sur la perte et le gain d'électrons par un atome (question 2).

Question 5 : classification des ions en termes de cations et d'anions?

Pour répondre à cette question, nous avons demandé aux élèves pour une série d'ions (Na^+ , Cl^- , Zn^{2+} , O^{2-} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , F^- , NH_4^+ , CO_3^{2-}) d'indiquer lesquelles correspondent aux anions ou aux cations. Le tableau 5 présente les élèves qui savent classifier les ions en anions et cations, et ceux qui ne le savent.

Tableau 5: Réponses des élèves qui concernent la classification des anions et cations

Réponse	Positive	Négative	Nombre/pourcentage total
Nombre d'élèves	192	48	240
Pourcentage (%)	80	20	100

Ces résultats montrent que les élèves en majorité (80 %) savent distinguer entre anions (ions avec charge négative) et cations (ions avec charge positive), et que seule 20% des élèves ne puissent faire cette distinction. Cela peut être dû au fait que la définition d'un anion ou d'un cation est simple, et susceptible d'être appréhendé et déclaré en tant que connaissance déclarative.

Question 6: classification des ions en ions monoatomiques et ions polyatomiques

Pour répondre à cette question, nous avons demandé aux élèves pour une série d'ions (Na^+ , Cl^- , Zn^{2+} , SO_4^{2-} , O^{2-} , Cu^{2+} , PO_4^{3-} , Fe^{2+} , CH_3CO_2^- , Al^{3+} , F^- , NH_4^+ , CO_3^{2-}) d'indiquer lesquelles correspondent aux ions monoatomiques ou aux ions polyatomiques. Le tableau 6 présente les élèves qui savent classifier les ions en ions monoatomiques et ions polyatomiques, et ceux qui ne le savent.

Tableau 6: Réponses des élèves à propos de la classification des ions monoatomiques et ions polyatomiques

Réponse	Positive	Négative	Nombre/pourcentage total
Nombre d'élèves	156	84	240
Pourcentage (%)	65	35	100

Ces résultats montrent que 65% des élèves savent distinguer entre ions monoatomiques et ions polyatomiques, et que 35% des élèves ne puissent pas faire cette distinction. Les difficultés que manifestent les élèves, ayant négativement répondu, peuvent être dues aux difficultés ayant trait aux conceptions alternatives sur les concepts atomes, molécules, électrons qui font partie de la trame conceptuelle de l'ion.

Question 7: Les connaissances que vous utilisiez pour répondre à ce questionnaire ont été apprises (Vous pouvez cocher plusieurs cases)

À l'école	Sur Internet	Dans des livres	Autres
-----------	--------------	-----------------	--------

Pour cette question, nous voulions savoir de quelles sources les élèves ont appris leurs connaissances pour répondre au questionnaire. Le tableau 7 présente les élèves qui déclarent utiliser les connaissances apprises à l'école, sur Internet, et dans des livres.

Tableau 7: Réponses des élèves ayant appris des connaissances à l'école, sur Internet, et dans des livres

Réponse	École	Internet	Livres	Autres
Pourcentage (%)	95	25	15	10

Nous avons recensé ci-dessus toutes les réponses des élèves pour la question 7. La somme de celles-ci est supérieure à 100 % du fait des réponses multiples possibles. Les résultats sont sans appel, malgré les réponses multiples, l'école reste le lieu principal où les connaissances sont transmises. De même, nous pouvons ajouter que les apprenants n'utilisent pas largement l'internet pour s'approprier des connaissances scientifiques.

7. Discussion

Dans ce qui suit, nous discutons les facteurs explicatifs (conceptions alternatives, applications heuristiques, *p-ppm*, etc..) qui permettent ou non aux élèves de troisième année collégial de répondre savoir compris les concepts ions, charges, anions, cations, ions monoatomiques, et ions polyatomiques.

Comme objectif général, nous voulions savoir si les élèves de ce niveau collégial retiennent des éléments constructifs d'un enseignement théorique et abstrait, et appréhendent à corréler entre les différents niveaux de représentation en chimie, en particulier entre le niveau symbolique (formule chimique d'un atome ou d'un ion) et le niveau sous-microscopique (conceptualisation d'un atome et un ion) (Gilbert & Treagust, 2009; Talanquer, 2011). Le niveau macroscopique ne peut être discuté ici du fait que les concepts étudiés n'ont pas de manifestes concrets sur le plan macroscopique.

La question 2 (*signification de la perte et le gain d'électrons par un atome*) rend compte de l'importance de l'appréhension de la perte et le gain d'électrons par un atome dans l'apprentissage du concept d'ion chez les élèves de troisième année secondaire collégial.

De part cette question, nous pouvons dire que 60% des élèves :

- Comprennent la définition de l'atome, l'électron, et ainsi l'ion. Il semble que ces élèves retiennent les éléments constructifs d'un enseignement théorique et abstrait, et attachent une importance à ces concepts.
- Sachent les différentes possibilités d'avoir un ion à partir d'un atome donné, ce qui implique d'un un raisonnement analytique qui va de pair avec les conceptions logiques qu'ont faites ces élèves sur ces concepts. Cependant, l'heuristique aurait pu permettre à certaines élèves de donner un résultat acceptable en faisant un petit effort cognitif. Il ne s'agit donc pas de la substitution des heuristiques par un raisonnement analytique plus complet, mais plutôt d'habileté de choisir les bons indices pour prendre une décision dans un contexte précis (Maeyer & Talanquer, 2010).
- Savent lier entre les concepts de l'atome, de l'électron, et ainsi de l'ion; ce qui témoigne de la capacité de ces élèves à corréliser entre le niveau symbolique (formule d'un atome ou d'un ion) et le niveau sous-microscopique (conceptualisation d'un atome et un ion) (Gilbert & Treagust, 2009; Talanquer, 2011).

Les 40 % des élèves qui n'arrivent pas à répondre correctement à cette question ont certainement des difficultés, pour apprendre le concept d'ion, et peut être d'atome. Cela pourrait être dû aux conceptions alternatives au regard du type de raisonnement auquel ces élèves ont eu recours pour arriver à des fausses réponses (Talanquer, 2006). L'analyse de Talanquer peut servir ici d'un cadre explicatif de « sens commun » qui classe les conceptions alternatives en deux types: celles qui proviennent des suppositions empiriques de base, et celles qui découlent d'heuristiques.

La question 3 (*détermination de la charge d'un ion*) renvoie à la notion de charge dans l'apprentissage du concept d'ion chez les élèves. L'analyse de cette question permet de conclure que seule la moitié des élèves a pu:

- Comprendre la notion de la charge qui fait partie de la trame notionnelle de l'ion, et attachent une importance à ce concept abstrait.
- Corréler entre le niveau symbolique (Symbole d'un ion) et le niveau sous-microscopique (conception de l'ion comme un atome chargé) (Gilbert & Treagust, 2009; Talanquer, 2011).

La comparaison des résultats relatif à la question 3 avec ceux manifestés de la question 2 concernant la perte et le gain d'électrons par un atome montre qu'il y a 10% des élèves qui n'arrivent pas à déterminer la charge d'un ion, alors qu'ils avaient répondu correctement à la question 2. Cela laisse croire que le raisonnement logique qu'a manifesté ces élèves à propos de la conception de la perte et du gain des électrons n'est pas suffisant dans la détermination de la charge.

Les difficultés manifestées par les élèves n'ayant pas répondu correctement (35%) peuvent être dues à certaines conceptions alternatives, ou aux applications heuristiques en chimie. Les 15 % des élèves n'ont pas du tout répondu à cette question, ce qui peut être expliqué par une difficulté spéciale ou un désintérêt pour cette question.

La question 4 (*distinction entre la formule d'ion, d'atome, et de molécule*) rend compte de l'écriture chimique telles les formules et les symboles dans l'apprentissage des concepts d'ion, d'atome, et de molécule chez les élèves de troisième année secondaire collégial. De par l'analyse des résultats obtenus pour cette question, nous pourrions dire que 60% élèves :

- Comprennent ce que désigne la formule et le symbole de l'atome, de l'ion, et de la molécule; et assimilent les relations qui lient ces concepts abstraits.
- Sachent écrire la formule d'un ion à partir de celle de l'atome ou la molécule conjugué;
- Comprennent que les ions proviennent des atomes comme des molécules qui font partie de la trame notionnelle de l'ion.
- Appréhendent les formules et les symboles des espèces chimiques comme étant des composantes relevant du niveau symbolique de la représentation en chimie (Gilbert & Treagust, 2009; Talanquer, 2011).
- comprennent que la charge est liée au nombre des électrons que peut perdre ou gagner un atome ou une molécule.

Certaines élèves (40%) qui n'ont pas pu répondre à cette question corrélaient seulement entre les ions et les atomes, alors qu'ils manifestent des difficultés à lier entre un ion et une molécule, peut être en raison de certaines conceptions alternatives qu'ils avaient sur le concept d'ion, ou aux applications heuristiques.

L'analyse de la question 5 (*classification des ions en termes de cations et d'anions*) montre que la majorité des élèves a pu répondre à cette question. Le score positif obtenu (80%) dépasse tous les scores positifs observés pour les autres questions, à l'exception de la question 1. Nous pourrions conclure ici que la majorité des élèves :

- Comprennent ce que signifie un cation (ion avec charge positive) et un anion (ion avec charge négative), ce qui témoigne d'un raisonnement analytique relevant des conceptions logiques.
- Sachent corréler entre les différents objets du niveau symbolique (formule chimique d'un atome ou d'un ion) de la représentation en chimie.

Les difficultés que manifestent les 20% d'élèves pour distinguer entre anion et cation, peuvent être dues aux conceptions alternatives à propos des électrons, de la charge et des molécules, qui empêche ces élèves à concevoir correctement comment un ion pourrait être obtenu à partir d'un atome ou d'une molécule. Il s'agit des problèmes liés à la trame conceptuelle, aux conceptions alternatives, ou aux applications heuristiques;

De part la question 6 (*classification des ions en ions monoatomiques et ions polyatomiques*) on entend savoir si les élèves :

- Considèrent que les ions sont seules les entités chimiques qui proviennent des atomes, (ions monoatomiques) ou aussi des molécules (ions polyatomiques).
- Comprennent ce que signifie un ion monoatomique (constitué d'un seul atome) et un ion polyatomique (constitué de plusieurs atomes).

- Sachent corréler entre les différents objets du niveau symbolique (formule chimique d'un atome, d'une molécule, d'un ion) de la représentation en chimie.

Les difficultés que manifestent les 35% d'élèves pour distinguer entre ions monoatomiques et ions polyatomiques, peuvent être dues aux conceptions alternatives à propos des ions provenant des molécules. Certaines élèves croient que les ions sont des entités seulement en relation avec les atomes.

En général, le raisonnement logique et les applications heuristiques en chimie pourraient être, parmi d'autres, un cadre alternatif cohérent sur lequel les élèves appuieraient leur raisonnement. L'analyse de taux de réponses positives des différentes questions montre que certaines conceptions qu'ont faites les élèves semblent avoir une forte proportion d'intersection, et peuvent être considérées comme cohérentes. Il s'agit des conceptions des élèves selon un raisonnement logique ou par applications heuristiques pour répondre positivement aux questions 2 « *signification de la perte et du gain d'électrons par un atome* » et 3 « *distinction entre la formule d'un ion, d'un atome, et d'une molécule* ». Ces deux questions portent sur la relation entre un atome et un ion, et entre une molécule et un ion, et font engager les notions d'atome, de molécule, d'électron, et de charge, qui constituent la trame conceptuelle de l'ion, comme déjà discuté dans le cadre conceptuel.

Parmi les différentes conceptions alternatives dégagées des justifications, certaines renvoient à diverses causes cognitives : une erreur factuelle, un raisonnement fallacieux, idées naïve. Il semble donc utile de les classer selon ces éventuelles causes pour les traiter ensuite par des dispositifs différenciés et appropriés. Comme déjà mentionné, il n'existe pas de typologie satisfaisante pour les conceptions en chimie. Les rares typologies existantes considèrent le niveau de certitude des chercheurs sur l'existence des conceptions (Grayson et al., 2001) ou le degré d'exactitude d'une réponse partiellement correcte (García Franco & Taber, 2009).

Pour caractériser plus précisément les modes de raisonnement, nous nous sommes basés sur la typologie qui nous semble être la plus fructueuse pour les erreurs de raisonnement, i.e. le modèle du *Commonsense Reasoning* de Talanquer (2006, 2009), qui est censé englober tous les concepts de chimie, en nous nous limitons uniquement aux concepts d'atome, de molécules, d'ions. Parmi les onze heuristiques sous-jacentes aux conceptions alternatives déterminées par Talanquer, nous illustrons les conceptions alternatives et erreurs de raisonnement les plus indiqués dans les réponses des élèves (Tableau 8).

Ces quatre items illustrent la catégorie d'erreur de raisonnement nommée « simplification excessive » et « similarité », qui ne se manifestent pas toujours sur le même sujet/itém, mais que ce sont des erreurs de raisonnement qui portent les apprenants à faire des similarités ou des simplicités pour essayer de répondre aux différentes questions.

Tableau 8: Quelques conceptions alternatives détectées à propos des concepts d'atome, molécule, ions, électrons, et charges à partir des justifications des élèves

Questions	Conception alternative	Erreur de raisonnement	Exemples de justifications d'élèves
Question 2	Confusion entre nombre d'électrons perdus et gagnés pour un atome	Simplification excessive	Nombre d'électrons perdus et gagnés est toujours 1
	Similarité entre ion avec une seule charge et ion avec plusieurs charges	Similarité	Les ions sont considérés tous comme ayant une seule charge
Question 3	Similarité entre électron et charge	Similarité	Les charges sont toutes considérées négatives
Question 4	Similarité entre atome, molécule et ion	Similarité	Tous les symboles sont considérés comme des atomes
	Confusion entre atome et molécule	Simplification excessive	Les molécules sont considérées comme des atomes
Question 5	Similarité entre anion et cation	Similarité	Tous les ions sont considérés des anions
	Confusion entre atome et molécule	Simplification excessive	Considérés des anions et des cations seuls les ions provenant d'un atome et non plus de molécules
Question 6	Confusion entre atome et molécule	Simplification excessive	Tous les ions sont considérés comme monoatomiques

8. Conclusions

Les élèves se sentent dans l'injonction de donner une réponse, et sont capables de manifester leurs connaissances sur des concepts chimiques tel l'atome l'ion, l'anion, le cation, l'ion monoatomiques, et l'ion polyatomique.

Les difficultés qu'éprouvent les élèves à apprendre des concepts abstraits peuvent être dues aux conceptions alternatives chez ces élèves à propos de l'atome, l'électron, l'ion, la charge. Ce qui entraîne chez les élèves des erreurs de raisonnement, que nous avons tenté de les classer selon la typologie du sens commun (*Commonsense Reasoning*) de Talanquer (2006, 2009).

La typologie des erreurs de raisonnement détectées pourrait servir de base pour proposer des dispositifs pour le changement conceptuel, sachant que certaines conceptions tirent leur source d'erreurs de raisonnement communes. Ces erreurs de raisonnement ne sont pas exclusives au domaine de la chimie, donc on pourrait aussi observer ces erreurs dans d'autres disciplines.

Références

Albanese, A., & Vicentini, M. (1997). Why do we believe that an atom is colourless? Reflections about the teaching of the particle model. *Science and Education*, 6(3), 251-261.

- Al-Kunifed, A., Good, R., & Wandersee, J. (1993). *Investigation of high school chemistry students' concepts of chemical symbol, formula, and equation: Students' prescientific conceptions* (ERIC Document, ED 376020).
- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences* (2e éd.). Bruxelles: de Boeck Université.
- Bodner, G. M. (1991). I have found you an argument: The conceptual knowledge of beginning chemistry graduate students. *Journal of Chemical Education*, 68(5), 385-388.
- Coll, R. K., & Taylor, N. (2001). Alternative conceptions of chemical bonding held by upper secondary and tertiary students. *Research in Science and Technological Education*, 19(2), 171-191.
- Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2001). Learners' mental models of chemical bonding. *Research in Science Education*, 31(3), 357-382.
- Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2003). Learners' mental models of metallic bonding: A cross-age study. *Science Education*, 87(5), 685-707.
- Cormier, C. (2013). *A novel typology for alternative conceptions in postsecondary chemistry identified by a two-tier diagnostic instrument*. Communication présentée au 2013 NARST Annual International Conference, San Juan, Puerto Rico.
- De Posada, J. M. (1997). Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution. *Science Education*, 81(4), 445-467.
- Del Pozo, R. M. (2001). Prospective teachers' ideas about the relationships between concepts describing the composition of matter. *International Journal of Science Education*, 23, 353-371.
- diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2/3), 105-225.
- Ergazaki, M., & Andriotou, I. (2007). À propos des raisonnements des enfants d'âge préscolaire concernant les interventions humaines sur les plantes de la forêt : Le cas de l'abattage. *Revue Skhole, HS(1)*, 13-19.
- Fragkiadaki, G., & Ravanis, K. (2015). Preschool children's mental representations of clouds. *Journal of Baltic Science Education*, 14(2), 267-274.
- García Franco, A., & Taber, K. S. (2009). Secondary students' thinking about familiar phenomena: Learners' explanations from a curriculum context where 'particles' is a key idea for organising teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1917-1952.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- 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.

- Grayson, D. J., Anderson, T. R., & Crossley, L. G. (2001). A four-level framework for identifying and classifying student conceptual and reasoning difficulties. *International Journal of Science Education*, 23(6), 611-622.
- 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.
- Hartley, L. M., Wilke, B. J., Schramm, J. W., D'Avanzo, C., & Anderson, C. W. (2011). College students' understanding of the carbon cycle: Contrasting principle-based and informal reasoning. *BioScience*, 61(1), 65-75.
- Herron, J. D. (1996). *The chemistry classroom: Formulas for successful teaching*. Washington, DC: American Chemical Society.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro-and microchemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Kaliampos, G., & Ravanis, K. (2019). Thermal conduction in metals: mental representations in 5-6 years old children's thinking. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika 'Al-BiRuNi'*, 8(1), 1-9.
- Kampourakis, K., & Zogza, V. (2009). Preliminary evolutionary explanations: A basic framework for conceptual change and explanatory coherence in evolution. *Science & Education*, 18, 1313-1340.
- Keig, P. F., & Rubba, P. A. (1993). Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 883-903.
- Laugier, A., & Dumon, A. (2004). L'équation de réaction: Un nœud d'obstacles difficilement franchissable. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(1), 51-68.
- Maeyer, J., & Talanquer, V. (2010). The role of intuitive heuristics in students' thinking: Ranking chemical substances. *Science Education*, 94(6), 963-984.
- McClary, L. M., & Talanquer, V. (2011). College chemistry students' mental models of acids and acid strength. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(4), 396-413.
- Mzoughi-Khadhraoui, I., & Dumon, A. (2012). L'appropriation par des élèves tunisiens débutants du langage permettant de représenter la réaction chimique. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 6, 89-118.
- Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744.
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707-730.
- Othman, J., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2008). An investigation into the relationship between students' conceptions of the particulate nature of matter and their understanding of chemical bonding. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1531-1550.
- Özmen, H. (2004). Some student misconceptions in chemistry: A literature review of chemical bonding. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 147-159.

- Ouasri, A. (2016). Study of the appropriation by pupils of second Baccalaureate year of knowledge objects relating to acide-bases titrations. *Chemistry: Bulgarian Journal of Sciences Education*, 25(6), 695-717.
- Ouasri, A. (2017). Study of Moroccan pupils' difficulties at second Baccalaureat year in solving chemistry problems relating to reactivity of ethanoate ions and to Copper-Aluminium cell. *Chemistry Education Research and Practice*, 18, 737-748.
- Ouasri, A. (2019a). Study of Moroccan pupils' skills in solving chemistry problems at first year of high-school. *Chemistry: Bulgarian Journal of Sciences Education*, 28, 351-383.
- Ouasri, A. (2019b). *Résolution de problèmes et courants théoriques en éducation: Cas de la physique et de la chimie*. Latvia: Éditions Universitaires Européennes.
- Pfundt, H., & Duit, R. (2009). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education* (9e éd.). Kiel, Germany: University of Kiel.
- Piburn, M. D. (1990). Reasoning about logical propositions and success in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(9), 887-900.
- Ravanis, K. (2009). La transformación didáctica: de las materias académicas a las prácticas escolares. In G. Pappas (Ed.), *Actas de congreso "La lengua griega en América Latina"* (pp. 143-149). Buenos Aires-Patras: Universidad de Patras.
- 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.
- Sanger, M. J. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing. *Journal of Chemical Education*, 82(1), 131-134.
- Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: Some considerations from educational research. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2(2), 123-158.
- Taber, K. S. (2014). Ethical considerations of chemistry education research involving human subjects. *Chemistry Education: Research and Practice*, 15, 109-113.
- Taber, K. S., & Coll, R. K. (2002). Bonding. In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi & D. F. Treagust (Dir.), *Chemical education: Towards a research-based practice* (pp. 213-234). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Talanquer, V. (2006). Commonsense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83(5), 811-816.
- Talanquer, V. (2009). On cognitive constraints and learning progressions: The case of "structure of matter". *International Journal of Science Education*, 31(15), 2123-2136.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplets". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.
- Taskin, V., & Bernholt, S. (2014). Students' understanding of chemical formulae: A review of empirical research. *International Journal of Science Education*, 36(1), 157-185.

- 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.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. Gabel (Dir.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 177-210). New York, NY: Simon & Schuster Macmillan.
- 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.

Annexe

Question 1 : En classe, vous entendez parler de l'atome, l'ion, la molécule?

Question 2 : Pour les espèces chimiques suivants: (Na, Cl, Zn, O, Cu, Fe, Al, F) et (Na^+ , Cl^- , Zn^{2+} , O^{2-} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , F^-) indiquer les atomes qui ont subi la perte et le gain d'électrons, en précisant le nombre d'électrons perdus ou gagnés pour chaque atome.

Question 3 : Déterminer la charge des ions suivants (Na^+ , Cl^- , Zn^{2+} , O^{2-} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , F^-).

Question 4 : Pour les formules suivantes (O_2 , H_2O , C, CO_2 , Fe, Na^+ , Cl^- , Zn^{2+} , O^{2-} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , F^- , NH_3 , NH_4^+ , CO_3^- , $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) indiquer lesquelles correspondent aux notions suivantes: atome, molécule ou ion.

Question 5 : Classifier les ions suivants (Na^+ , Cl^- , Zn^{2+} , O^{2-} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , F^- , NH_4^+ , CO_3^-) en termes de cations et d'anions?

Question 6 : Classifier les ions suivants (Na^+ , Cl^- , Zn^{2+} , SO_4^{2-} , O^{2-} , Cu^{2+} , PO_4^{3-} , Fe^{2+} , CH_3CO_2^- , Al^{3+} , F^- , NH_4^+ , CO_3^-) en terme d'ions monoatomiques et ions polyatomiques.

Question 7 : Les connaissances que vous avez utilisées pour répondre à ce questionnaire ont été apprises (Vous pouvez cocher plusieurs cases)

- À l'école.
- Sur Internet.
- Dans des livres ou revues scientifiques.
- Autres.

Creative Commons licensing terms

Authors 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 Alternative Education Studies shall not be responsible or answerable for any loss, damage or liability caused in relation to/arising out of conflict of interests, copyright violations and inappropriate or inaccurate use of any kind content related or integrated on 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/).