



HAL
open science

La dissolution des solides ioniques en classe de première

Arnaud Lucas, Isabelle Kermen, Sophie Canac

► **To cite this version:**

Arnaud Lucas, Isabelle Kermen, Sophie Canac. La dissolution des solides ioniques en classe de première. 13èmes Rencontres Scientifiques de l'ARDIST, Jun 2024, Montpellier (34000), France. hal-04663724

HAL Id: hal-04663724

<https://hal.science/hal-04663724v1>

Submitted on 29 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La dissolution des solides ioniques en classe de première

Écriture et utilisation de l'équation de dissolution

Arnaud Lucas¹, Isabelle Kermen¹, Sophie Canac²

1 : Centre de Recherche sur l'Éducation, les apprentissages et la didactique (CREAD)
Université de Brest, Université Rennes 2

2 : Laboratoire de Didactique André Revuz, (LDAR), UPEC

Résumé

L'enseignement de la dissolution des solides conduit, en classe de première, à l'élaboration d'un modèle macroscopique de la dissolution des solides ioniques pouvant être représenté par une équation de dissolution. Cette communication étudie la capacité des élèves à écrire l'équation de dissolution du chlorure de cuivre et à s'aider de cette équation au moment d'utiliser le modèle afin de prédire les concentrations ioniques, que la solution soit saturée ou non. Les résultats montrent que peu d'élèves parviennent à écrire l'équation de dissolution attendue. Par ailleurs, l'écriture d'une équation représentant un modèle susceptible de permettre de déterminer les concentrations ioniques, ne garantit pas une mise en oeuvre du modèle. À l'inverse, il semble qu'un élève qui ne maîtrise pas l'équation de dissolution peut néanmoins disposer d'un modèle capable de prédire les concentrations ioniques, que la dissolution soit totale ou que la solution finale soit saturée.

Mots clés : didactique de la chimie ; dissolution des solides ; solides ioniques ; équation de dissolution ; registres de la chimie

La dissolution des solides ioniques en classe de première

Écriture et utilisation de l'équation de dissolution

Introduction

La lecture des documents institutionnels français montre que l'enseignement de la dissolution des solides, initié en cycle 3, trouve en classe de première une forme d'aboutissement avec l'élaboration d'un modèle scolaire macroscopique, et sa représentation symbolique sous forme d'équation (BOEN, 2019, 2020). Cette communication présente quelques résultats issus d'un travail portant sur l'écriture de l'équation de dissolution d'un solide ionique, et son utilisation par des élèves de première, inscrits en spécialité physique chimie.

Cadre d'analyse

Modélisation et savoir chimique

L'enseignement des sciences à l'école accorde une place essentielle à la modélisation qui, dans ce cadre, peut être principalement entendue de quatre manières différentes : construire un modèle, intégrer des faits à un modèle dans le but d'en proposer une explication, ajuster un modèle afin de prendre en compte un phénomène nouveau ou appliquer un modèle dans la cadre d'un apprentissage particulier (Adúriz-Bravo, 2013), ce dernier aspect consistant essentiellement à interpréter ou prévoir certains phénomènes et/ou grandeurs (Soler, 2013).

En France, cette tendance se traduit par une transposition des travaux de Tiberghien et Vince (2005), prenant la forme dans les programmes d'une référence aux deux mondes : celui « des objets, des expériences, des faits et celui des modèles et des théories » (BOEN, 2019, p. 1). On peut également retenir que « la valeur du modèle tient exclusivement au rôle qu'il joue dans la recherche d'une solution à un problème pour lequel il a été construit » (Morge & Doly, 2013, p. 154).

Parmi les propositions visant à articuler modèles et savoirs chimiques, le cadre proposé par Kermen (2016) subdivise le registre empirique en deux sous-registres – celui de la réalité perçue et celui de la réalité idéalisée – tout en distinguant, dans le registre des modèles, échelles macroscopique et microscopique. Le langage symbolique, qui ne peut être réduit à un seul registre ou une échelle, complète l'ensemble en tant que méta-niveau de savoir (Canac & Kermen, 2018). C'est ce cadre qui est mis en œuvre ici pour décrire les savoirs scolaires liés à la dissolution.

La dissolution des solides ioniques comme savoir à enseigner

La dissolution d'un solide ionique dissimule plusieurs difficultés pour qui souhaite entreprendre son enseignement. La première tient à la nature de la transformation (Earley, 2005). La substance solide n'étant plus visible à l'issue de la dissolution, il peut y avoir confusion avec une transformation chimique au cours de laquelle au moins un réactif

disparaît entièrement. Pour autant, la dissolution ne peut être modélisée par une réaction chimique puisqu'il n'est pas possible de définir de proportions stœchiométriques entre solvant et solide à dissoudre (Kermen, 2019). Les programmes d'enseignement ne semblent pas prendre la pleine mesure de cette difficulté, en employant l'expression « équation de réaction de dissolution » et en proposant de « modéliser, au niveau macroscopique, la dissolution d'un composé ionique dans l'eau par une équation de réaction, en utilisant les notations (s) et (aq) » (BOEN, 2019, p. 7). En dépit de cette formulation discutable, ce que les programmes nomment réaction de dissolution remplit deux fonctions essentielles d'un modèle : interpréter la dissolution et prévoir les concentrations ioniques. Ainsi, à l'image de ce que propose Kermen (2018) pour les transformations chimiques, il est possible d'élaborer la figure 1.

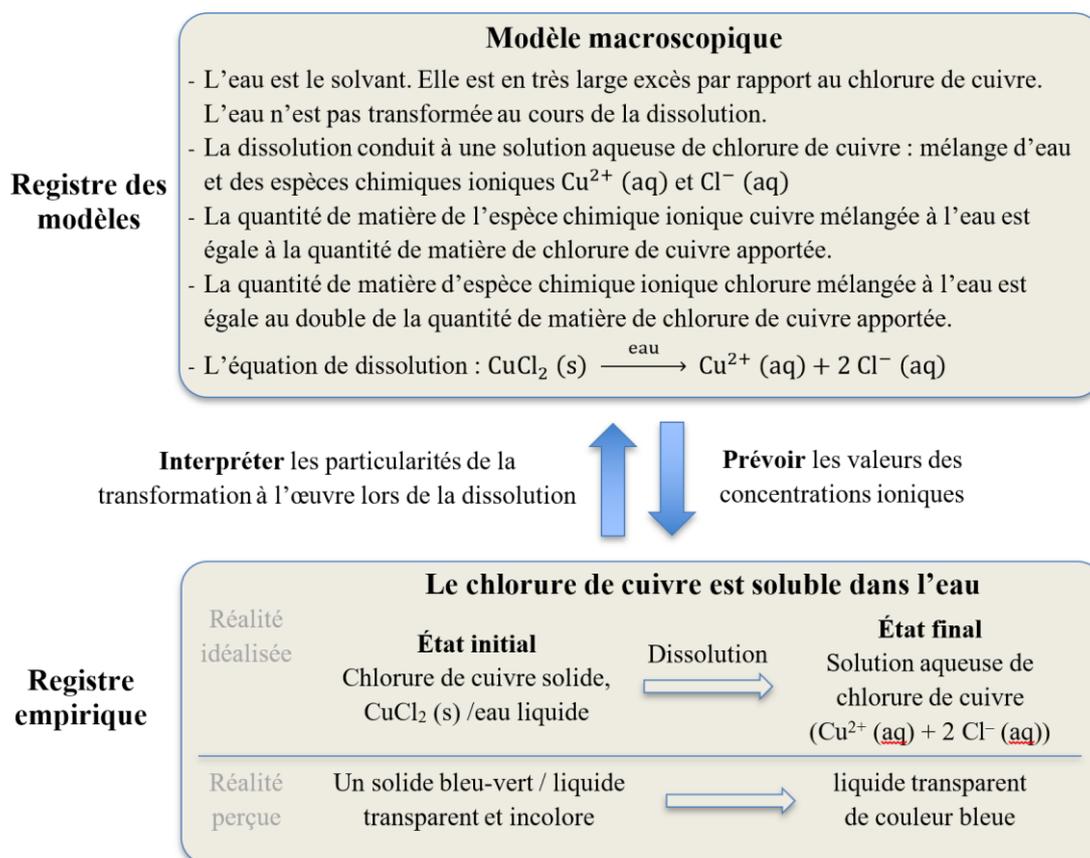


Figure 1 : Description et interprétation de la dissolution d'un solide ionique, en termes de registre empirique et registre des modèles.

L'enseignement de la dissolution inclut la saturation d'une solution dès le programme de cycle 3. Si le programme de première contient un rappel du programme de seconde, en définissant la solubilité comme la « concentration maximale d'un soluté » (BOEN, 2019, p. 6), aucun lien n'est formulé avec le modèle de « l'équation de réaction de dissolution » (BOEN, 2019, p. 7). Pourtant, la saturation constitue une limite du modèle précédent qui ne peut ni rendre compte du résidu de solide, ni permettre de prédire les concentrations ioniques, faute de prendre en compte la solubilité du solide.

Problématique

L'enseignement de la dissolution des solides ioniques est supposé conduire les élèves de première à élaborer un modèle macroscopique à même d'interpréter la séparation des espèces ioniques et prédire leurs concentrations. Des études antérieures ont souligné les difficultés liées à l'écriture des équations de dissolution (Naah & Sanger, 2012). Ceci nous conduit à nous questionner sur la capacité des élèves à écrire l'équation attendue et à s'aider de cette représentation au moment de faire fonctionner le modèle, à la fois dans sa dimension explicative – l'équation rend-elle compte du rôle particulier de l'eau, décrit-elle la séparation en deux espèces ioniques distinctes – et comme outil prédictif – l'équation de dissolution aide-t-elle à prévoir les concentrations ioniques. Par ailleurs, bien que le programme n'en fasse pas mention, ce modèle trouve une limite dans le cas d'une solution saturée. Nous formulons ainsi trois questions de recherche :

QR1 : Les équations de dissolution proposées par les élèves représentent-elles un modèle macroscopique à même de rendre compte de la transformation qui a lieu ?

QR2 : Dans quelle mesure une équation de dissolution correcte constitue-t-elle une aide au moment de prédire les concentrations ioniques ?

QR3 : Dans quelle mesure les élèves parviennent-ils à prédire les concentrations ioniques dans le cas d'une solution saturée ?

Méthodologie

Recueil des données

Le recueil de données a été réalisé par le biais d'un questionnaire conçu par nos soins et administré par des enseignants à leurs élèves de première (N = 199) ayant suivi un enseignement sur la dissolution des solides ioniques. L'enquête fut déployée fin mai 2022 ce qui impliquait, selon les élèves, des durées variables entre la phase d'enseignement et la passation du questionnaire¹ mais répondait à la volonté d'étudier les connaissances acquises à l'issue de l'année scolaire.

Deux déclinaisons du questionnaire, sujet A et sujet B, ont été réalisées et transmises aux enseignants. Il leur a été demandé de répartir de manière aléatoire les deux sujets au sein de leurs classes ($N_{\text{sujet A}} = 105$; $N_{\text{sujet B}} = 94$). Nous présentons ici les résultats obtenus à deux questions, sur les sept que comportait le questionnaire.

La première question demande aux élèves d'écrire l'équation de dissolution du chlorure de cuivre, solide ionique choisi en raison des proportions différentes de chaque espèce

¹ Les enseignants étaient invités à préciser le mois durant lequel l'enseignement a été réalisé. Il apparaît que selon les cas, les élèves ayant participé à la recherche ont étudié la dissolution des solides ioniques entre décembre et début mai.

ionique². Dans le sujet A, la quantité de matière de chlorure de cuivre, 3,6 moles, est suffisamment faible pour aboutir à une dissolution totale du solide. Le sujet B, au contraire, décrit la dissolution de 7,5 moles de chlorure de cuivre, quantité conduisant à une solution saturée, caractérisée par un résidu solide comme le précise le texte et l'illustre la photographie accompagnant la question.

La seconde question demande de prédire les concentrations ioniques à l'issue de la dissolution par le biais d'un questionnaire à choix multiples. Les six réponses proposées dépendent de la quantité de solide dissout, et donc du sujet, mais demeurent néanmoins similaires dans leur construction.

Méthode d'analyse

Les équations de dissolution obtenues ont été catégorisées selon plusieurs critères issus d'une analyse a priori du savoir scolaire et, pour certains, adaptés au fil de la lecture des réponses.

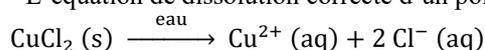
- Le sens d'écriture de l'équation est-il conforme au processus de dissolution ?
- L'équation respecte-t-elle les proportions relatives de chaque espèce ionique ?
- La formule proposée pour le solide à dissoudre est-elle correcte ?
- La formule proposée pour les espèces ioniques en solution est-elle correcte ?
- L'équation de dissolution fait-elle apparaître l'état physico-chimique des espèces chimiques ?
- L'eau apparaît-elle dans l'équation ?

S'ils sont vérifiés, les quatre premiers critères impliquent que l'équation proposée décrit un modèle présentant les propriétés prédictives attendues, pour une solution non saturée. Ceci aboutit à une première catégorisation des réponses : l'équation décrit un modèle potentiellement opérant, c'est-à-dire pouvant aider à prédire les concentrations ioniques, ou non.

Les deux derniers critères, sans être indispensables au modèle en tant qu'outil prédictif rendent compte du statut particulier de l'eau comme solvant et de l'état physico-chimique des espèces chimiques.

QR2 et QR3 s'intéressant à l'utilisation du modèle comme outil prédictif, les réponses recueillies à la seconde question ont été analysées en fonction de l'équation proposée précédemment : les résultats des élèves ayant formulé une équation d'un modèle potentiellement opérant ont été comparés à ceux des élèves ayant proposé une équation ne répondant pas aux quatre premiers critères d'analyse.

² L'équation de dissolution correcte d'un point de vue scolaire est :



L'indication « eau » au-dessus de la flèche n'étant pas imposée, la réponse :

$\text{CuCl}_2 (\text{s}) \longrightarrow \text{Cu}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{Cl}^- (\text{aq})$ a également été comptabilisée comme juste.

Résultats

Réponses à la première question

Les résultats obtenus pour chaque critère, selon le sujet A ou B, ont été comparés par un test de Fisher³. Aucune différence statistiquement significative n'ayant été relevée (voir annexe 3), les réponses à la première question ont donc été analysées conjointement (tableau 1).

1 ^{ère} question	Équation représentant un modèle potentiellement opérant <i>Vérifiant les quatre premiers critères</i>	Pas d'équation représentant un modèle potentiellement opérant <i>Ne vérifiant pas l'ensemble des quatre premiers critères</i>	Équation ne vérifiant aucun des quatre premiers critères
Sujet A (N _{sujet A} = 105)	44 (41,9%) <i>dont équation correcte : 7 (6,7%)</i>	42 (40,0%)	19 (18,1%) <i>dont NA : 17 (16,2%)</i>
Sujet B (N _{sujet B} = 94)	39 (41,5%) <i>dont équation correcte : 4 (4,3%)</i>	41 (43,6%)	14 (14,9%) <i>dont NA : 12 (12,8%)</i>
Total (N = 199)	83 (41,7%) <i>dont équation correcte : 11 (5,5%)</i>	83 (41,7%)	33 (16,6%) <i>dont NA : 29 (14,6%)</i>

Tableau 1 : Résultats obtenus à la première question à partir des quatre premiers critères d'analyse

60 équations différentes ont été proposées, certaines très éloignées de la réponse attendue, d'autres ne divergeant que d'un seul critère, à l'image de la proposition la plus fréquente ($\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2 \text{Cl}^-$; 28 réponses ; 14,1%) représentant néanmoins un modèle potentiellement opérant puisqu'il offre la possibilité de prédire les concentrations ioniques, à l'instar de 83 réponses (41,7%).

Cette équation ne se distingue de l'équation correcte que par l'absence d'états physico-chimiques. Seules 16 réponses (8 %) indiquent des états physico-chimiques corrects et 10 réponses (5 %) mentionnent la présence d'eau sur la flèche de l'équation, ce qui souligne que la nature physico-chimique particulière de la dissolution reste très peu prise en compte dans l'écriture de l'équation.

Réponses à la deuxième question

Concernant le sujet A (tableau 2), les 19 élèves qui ont proposé une équation de dissolution ne vérifiant aucun des quatre premiers critères, ont répondu à la deuxième question et parmi eux 5 ont choisi la bonne réponse.

Au final, 38 élèves (36,2 %) ont opté pour la réponse correcte. Le pourcentage de bonnes réponses est supérieur chez les élèves ayant proposé une équation de modèle potentiellement opérant. Pour autant, un test de Fisher n'indique pas de différence statistiquement significative entre les effectifs de chaque ligne (p -value = 0,67).

³ Préféré ici à un test du khi-2 en raison des faibles effectifs.

2 ^{ème} question Sujet A		Rép. 1	Rép. 2	Rép. 3	Rép. 4	Rép. 5	Rép. 6	NA
Équation représentant un modèle potentiellement opérant	N = 44	18 (40,9%)	4 (9,1%)	9 (20,5%)	1 (2,3%)	7 (15,9%)	4 (9,1%)	1 (2,3%)
Pas d'équation représentant modèle potentiellement opérant	N = 42	15 (35,7%)	3 (7,1%)	13 (31%)	0 (0%)	9 (21,4%)	1 (2,4%)	1 (2,4%)
Équation ne vérifiant aucun des quatre premiers critères	N = 19	5 (26,3%)	2 (10,5%)	4 (21,1%)	2 (10,5%)	5 (26,3%)	1 (5,3%)	0 (0%)
Total	N = 105	38 (36,2%)	9 (8,6%)	26 (24,8%)	3 (2,9%)	21 (20%)	6 (5,7%)	2 (1,9%)

Tableau 2 : Effectifs obtenus à la deuxième question ; La réponse correcte apparaît en gras – Exemple : parmi les 44 élèves ayant proposé une équation représentant un modèle potentiellement opérant à la première question, 18 élèves ont choisi la réponse 1.

Concernant le sujet B (tableau 3), 22 élèves (23,4%) ont opté pour la réponse correcte, soulignant des difficultés à prédire les concentrations ioniques dans le cas d'une solution saturée. Par ailleurs, il semble que le fait de disposer d'une équation représentant un modèle potentiellement opérant ne constitue pas une aide pour prédire les concentrations ioniques dans le contexte d'une solution saturée. Comme pour une solution non saturée, un test de Fisher ne permet pas de mettre en évidence de différence statistiquement significative entre les effectifs de chaque ligne (p-value = 0,47).

2 ^{ème} question Sujet B		Rép. 1	Rép. 2	Rép. 3	Rép. 4	Rép. 5	Rép. 6	NA
Équation représentant un modèle potentiellement opérant	N = 39	10 (25,6%)	10 (25,6%)	9 (23,1%)	4 (10,3%)	5 (12,8%)	1 (2,6%)	0 (0%)
Pas d'équation représentant modèle potentiellement opérant	N = 41	6 (14,6%)	9 (22%)	12 (29,3%)	2 (4,9%)	8 (19,5%)	2 (4,9%)	2 (4,9%)
Équation ne vérifiant aucun des quatre premiers critères	N = 14	3 (21,4%)	3 (21,4%)	2 (14,3%)	0 (0%)	2 (14,3%)	2 (14,3%)	2 (14,3%)
Total	N = 94	19 (20,2%)	22 (23,4%)	23 (24,5%)	6 (6,4%)	15 (16%)	5 (5,3%)	4 (4,3%)

Tableau 3 : Effectifs obtenus à la deuxième question ; La réponse correcte apparaît en gras – Même façon de lire le tableau

Conclusion

Les résultats présentés confirment que l'écriture d'une équation de dissolution pose des difficultés à de nombreux élèves, en particulier au moment de traduire en langage symbolique les spécificités physico-chimiques de la dissolution des solides ioniques. Il semble que l'enseignement de l'équation de dissolution porte davantage sur la dimension prédictive du modèle, via la séparation des espèces chimiques ioniques, que sur le rôle des notations symboliques en tant que représentation d'un modèle interprétatif de la transformation.

Pour autant, l'écriture d'une équation de dissolution permettant potentiellement de prédire les concentrations ioniques, ne garantit pas la mise en œuvre du modèle représenté et, à l'inverse, il semble qu'un élève qui ne maîtrise pas l'équation de dissolution peut néanmoins disposer d'un modèle prédictif efficace. S'il convient d'envisager la présence de réponses correctes aléatoires, une autre hypothèse réside dans une possible résolution du problème par l'emploi d'une procédure algorithmique, déconnectée de l'équation de dissolution (Bruck et al., 2010), s'appuyant, par exemple, sur la formule du solide ionique et les proportions relatives de chaque espèce chimique ionique pour prédire les concentrations de ces dernières.

Dans le cas d'une solution saturée, moins d'un élève sur quatre prédit les concentrations ioniques attendues, sans doute peut-on y voir le résultat des instructions officielles qui, comme indiqué en introduction, n'associent pas équation de dissolution et saturation. Une autre hypothèse réside peut-être dans la difficulté des élèves à définir le concept de solubilité.

Il convient néanmoins de relativiser les résultats présentés en raison des effectifs qui, compte tenu des différentes catégorisations opérées au cours de l'analyse s'avèrent assez faibles. Ce questionnaire doit être administré à de nouveaux élèves afin de tenter de confirmer les constats dressés ici. Des entretiens post-questionnaire sont également prévus afin d'éclairer certains résultats issus de l'analyse statistique.

Bibliographie

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'Semantic' View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7>
- Bruck, L. B., Bruck, A. D., & Phelps, A. J. (2010). "Gone" into Solution : Assessing the Effect of Hands-On Activity on Students' Comprehension of Solubility. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 107-112. <https://doi.org/10.1021/ed800016f>
- Bulletin officiel de l'éducation nationale. (2019). *Programme d'enseignement de spécialité de physique-chimie de la classe de première de la voie générale*. https://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/43/2/spe635_annexe_1063432.pdf
- Bulletin officiel de l'éducation nationale. (2020). *Programmes d'enseignement du cycle des approfondissements (cycle 4)*. https://cache.media.eduscol.education.fr/file/A-Scolarité_obligatoire/37/7/Programme2020_cycle_4_comparatif_1313377.pdf

- Canac, S., & Kermen, I. (2018). *Conception d'une ressource didactique fondée sur l'histoire des sciences pour introduire les formules chimiques au collège*. Les cahiers du LDAR n°20. IREM de Paris.
- Earley, J. E. (2005). Why there is No Salt in the Sea. *Foundations of Chemistry*, 7(1), 85-102. <https://doi.org/10.1023/B:FOCH.0000042881.05418.15>
- Kermen, I. (2016). *Modèles et modélisation dans l'enseignement de la chimie : D'une analyse épistémologique et didactique à l'étude des pratiques enseignantes* [Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, université Paris Diderot Paris 7]. <https://hal.science/tel-02883037>
- Kermen, I. (2018). Comment le caractère dual, macroscopique-microscopique, de la chimie s'incarne-t-il dans son enseignement ? Réflexions autour des modèles et du langage. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 1122, 95-108.
- Kermen, I. (2019). Réflexion épistémologique et sémiotique dans une perspective didactique d'enseignement apprentissage du concept de liaison chimique. *congrès AREF*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02883135>
- Morge, L., & Doly, A.-M. (2013). L'enseignement de notion de modèle : Quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité ? *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 52(1), 149-175. <https://doi.org/10.3406/spira.2013.1066>
- Naah, B. M., & Sanger, M. J. (2012). Student misconceptions in writing balanced equations for dissolving ionic compounds in water. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 186-194. <https://doi.org/10.1039/C2RP00015F>
- Soler, L. (2013). Qu'est-ce qu'un modèle scientifique ? Des caractéristiques du modèle qui importent du point de vue de l'enseignement intégré de science et de technologie. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 52(1), 177-214. <https://doi.org/10.3406/spira.2013.1067>
- Tiberghien, A., & Vince, J. (2005). Etude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du Français Contemporain*, 10, 153-176.

Annexes

Annexe 1 : Sujet A

1^{ère} question

Troisième expérience :

La solubilité du chlorure de cuivre solide dans l'eau liquide pure est d'environ 6 moles par litre.

Dans une fiole jaugée, on verse 3,6 moles de chlorure de cuivre solide puis on complète à 1 litre jusqu'au trait de jauge avec de l'eau liquide pure. On agite plusieurs minutes. On obtient une solution de couleur bleue et transparente.

Le chlorure de cuivre solide, de formule CuCl_2 , est composé d'ions chlorure, dont le symbole est Cl^- , et d'ions cuivre, dont le symbole est Cu^{2+} . Écrire l'équation de la dissolution du chlorure de cuivre, réalisée dans la troisième expérience.



2^{ème} question

Que peut-on affirmer à propos de la concentration de la solution aqueuse obtenue à la fin de la troisième expérience ?

Une seule
réponse possible
parmi ces six

- La concentration en ions chlorure est égale à 7,2 mol/L et la concentration en ions cuivre est égale à 3,6 mol/L.
- La concentration en ions chlorure est égale à 12 mol/L et la concentration en ions cuivre est égale à 6 mol/L.
- La concentration en ions chlorure est égale à 2,4 mol/L et la concentration en ions cuivre est égale à 1,2 mol/L.
- La concentration en ions chlorure est égale à 4 mol/L et la concentration en ions cuivre est égale à 2 mol/L.
- La concentration en ions chlorure est égale à 3,6 mol/L et la concentration en ions cuivre est égale à 1,8 mol/L.
- La concentration en ions chlorure est égale à 6 mol/L et la concentration en ions cuivre est égale à 3 mol/L.

Annexe 2 : Sujet B

1^{ère} question

Troisième expérience :

La solubilité du chlorure de cuivre solide dans l'eau liquide pure est d'environ 6 moles par litre.

Dans une fiole jaugée, on verse 7,5 moles de chlorure de cuivre solide puis on complète à 1 litre jusqu'au trait de jauge avec de l'eau liquide pure. On agite plusieurs minutes. On obtient un liquide bleu et transparent ainsi qu'un peu de solide au fond de la fiole.

Le chlorure de cuivre solide, de formule CuCl_2 , est composé d'ions chlorure, dont le symbole est Cl^- , et d'ions cuivre, dont le symbole est Cu^{2+} . Écrire l'équation de la dissolution du chlorure de cuivre, réalisée dans la troisième expérience.



2^{ème} question

Que peut-on affirmer à propos de la concentration de la solution aqueuse obtenue à la fin de la troisième expérience ?

Une seule
réponse possible
parmi ces six

- La concentration en ions chlorure est d'environ 15 mol/L et la concentration en ions cuivre est d'environ 7,5 mol/L.
- La concentration en ions chlorure est d'environ 12 mol/L et la concentration en ions cuivre est d'environ 6 mol/L.
- La concentration en ions chlorure est d'environ 5 mol/L et la concentration en ions cuivre est d'environ 2,5 mol/L.
- La concentration en ions chlorure est d'environ 4 mol/L et la concentration en ions cuivre est d'environ 2 mol/L.
- La concentration en ions chlorure est d'environ 7,5 mol/L et la concentration en ions cuivre est d'environ 3,75 mol/L.
- La concentration en ions chlorure est d'environ 6 mol/L et la concentration en ions cuivre est d'environ 3 mol/L.

Annexe 3 : Réponses obtenues à la question 1 selon le sujet

Critère	Sujet	Proposition correcte	Proposition incorrecte	NA	Test de Fisher (p-value)
Le sens d'écriture de l'équation est-il conforme au processus de dissolution ?	Sujet A	66	16	23	0,62
	Sujet B	60	18	16	
L'équation respecte-t-elle les proportions relatives de chaque espèce ionique ?	Sujet A	60	19	26	0,21
	Sujet B	47	27	20	
La formule proposée pour le solide à dissoudre est-elle correcte ?	Sujet A	82	2	21	0,57
	Sujet B	74	4	16	
La formule proposée pour les espèces ioniques en solution est-elle correcte ?	Sujet A	76	5	24	0,81
	Sujet B	71	5	18	
L'équation de dissolution fait-elle apparaître l'état physico-chimique des espèces chimiques ?	Sujet A	8	79	18	0,88
	Sujet B	8	72	14	
L'eau apparaît-elle dans l'équation ?	Sujet A	4	80	21	0,61
	Sujet B	6	73	15	