

Analyse des difficultés d'étudiants en BAC+1 de la compréhension des transformations chimiques en utilisant le modèle particulaire

SUZANE EL HAGE¹, YANN VERCHIER², MORGAN PIEZEL²

¹CEREP, ESPE de Reims
Université de Reims Champagne Ardenne
France
Suzane.elhage@univ-reims.fr

²UTT
Université Technologique de Troyes
France
Yann.verchier@utt.fr
Morgan.Piezel@utt.fr

ABSTRACT

This paper presents the results of an exploratory study conducted in September 2018 in France carried out as part of a Bac-3 and Bac + 3 project. The goal of the study is to assess the difficulties and understanding of high school and first-year students about chemical transformation and more specifically the ability to convert particulate pictures into the symbolic representation. A questionnaire was developed and given to hundreds of high school students and 120 university students. The questionnaire consisted in several parts; the questions asked relate mainly about the modelling process in chemistry as well as the attitude of students going from a semiotic register to another taking into account the macroscopic-microscopic duality of chemistry.

KEYWORDS

Bac-3 and Bac + 3 project, chemistry, semiotic register, modelling process

RÉSUMÉ

Dans cette communication, nous présentons les résultats d'une étude exploratoire menée dans le cadre d'un projet Bac-3 et Bac+3 en septembre 2018 en France. L'objectif est d'analyser les difficultés des élèves du lycée et ceux des étudiants en première année universitaire autour de la transformation chimique et plus précisément la possibilité de faire des conversions entre registres sémiotiques. Un questionnaire a été élaboré et diffusé auprès d'une centaine d'élèves de lycée (secondaire supérieur) et 120 étudiants en première année d'école d'ingénieur. Le questionnaire se compose de plusieurs parties ; les questions posées se focalisent essentiellement sur le processus de modélisation dans la compréhension des transformations chimiques ainsi que sur l'aptitude des élèves et des étudiants à passer d'un registre sémiotique à un autre en lien avec la dualité macroscopique-microscopique de la chimie.

MOTS-CLÉS

Continuum Bac-3 et Bac+3, chimie, dualité macroscopique-microscopique, registre sémiotique, processus de modélisation

INTRODUCTION

Cet article fait partie du projet de recherche ECOPARA¹ qui vise à développer un continuum Bac-3 et Bac+3. Nous menons une recherche collaborative entre enseignants de lycée, enseignants et enseignant-chercheur de l'Université Technologique de Troyes (UTT) ainsi qu'un enseignants-chercheur de l'ESPE (école supérieure du professorat et de l'éducation).

Suite à notre analyse des programmes de physique-chimie du lycée et à l'étude du programme portant sur l'enseignement de la chimie en première année à l'UTT, nous avons concentré notre travail collaboratif sur la thématique suivante en chimie : réaction, transformation et tableau d'avancement. Ces concepts importants semblent causer de grandes difficultés dans l'enseignement et l'apprentissage en première année de l'UTT. Cette thématique de recherche a déjà été explorée à différents niveaux d'enseignement que cela soit en France ou ailleurs selon différentes entrées. Citons à titre d'exemple :

- Les travaux de Kermen (2015, 2018) traitant de l'évolution des systèmes chimiques au lycée (niveau classe de terminale en France) et portant essentiellement sur le processus de modélisation ainsi que sur les modèles dans l'enseignement de cette thématique en France ;
- Une étude de Ducamp et Rabier (2007) pour évaluer le niveau de maîtrise de l'outil par des élèves au lycée (niveau première scientifique en France) ;
- Les travaux de Sanger (2005) menés en première année à l'université aux États-Unis montrant la difficulté des étudiants à articuler les schémas particuliers avec les équations de réactions ;
- Les travaux de Barlet et Plouin (1997) proposant des situations didactiques à utiliser dans l'enseignement universitaire afin d'aider les élèves à surmonter les obstacles liés à la dualité microscopique-macroscopique.

Nous avons pris en compte l'ensemble des difficultés et obstacles mentionnés/repérés dans ces publications autour de la dualité microscopique-macroscopique dans l'élaboration de notre questionnaire. Ce dernier est destiné aux étudiants d'UTT ainsi que des lycéens. L'analyse des réponses données nous permet de faire un état de lieux de leurs difficultés et de leur niveau de maîtrise. Ces résultats sont pris en compte, dans un deuxième temps, pour construire des ingénieries didactiques visant à lisser la transition lycée-université. Il s'agit plus particulièrement, à travers ce questionnaire, de situer leur niveau de maîtrise de la conversion des représentations microscopiques vers des équations chimiques et vice-versa ; en d'autres termes évaluer leurs compétences de conversion (Duval, 1995, 2007) entre les représentations dans les registres sémiotiques.

REGISTRES SÉMIOTIQUES

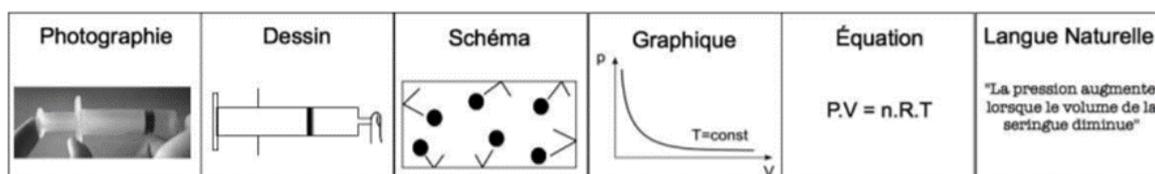
La notion de registres sémiotiques a été introduite par Duval en 1995 ; il distingue un certain nombre de registres sémiotiques fréquemment utilisés en mathématiques comme le langage naturel, les langues symboliques ou iconiques, les graphes cartésiens, les tableaux, les figures géométriques. Cette notion de registre sémiotique est utilisée aussi pour mener des études en chimie tout en prenant en compte la spécificité de cette discipline. Dans le cadre de notre étude, nous nous limiterons aux registres sémiotiques qui nous semblent pertinents pour notre thématique :

¹Espace de co-construction pédagogique, d'analyse et de recherche action croisée secondaire/supérieur.

- Le registre du langage naturel constitue le premier outil utilisé avant et/ou pendant l'acquisition du vocabulaire scientifique ;
- Le registre algébrique, appelé aussi équation, mobilise des grammaires permettant d'énoncer les relations entre différentes grandeurs, c'est-à-dire les expressions mathématiques, les lois ;
- Le registre symbolique constitue un outil qui permet la représentation des grandeurs, des éléments chimiques par des symboles ; Fe pour fer par exemple ;
- Le registre graphique ou les graphes sont des représentations des variations des grandeurs mesurables ;
- Les schémas qui sont de deux types figuratifs et non-figuratifs (Estivales, 2003). Les schémas figuratifs réfèrent à un objet sensible, visuel et perçu alors que les schémas non-figuratifs désignent un référent mental et/ou conceptuel.

Ci-dessous la figure 1, extraite de Pozzer-Ardenghi (2009), permet de présenter plusieurs registres sémiotiques pour aborder le concept de pression.

FIGURE 1



Concept de pression représenté dans différents registres sémiotiques

Duval (1995) distingue deux opérations possibles sur les représentations :

1. la transformation d'une représentation en une autre appartenant au même registre, appelée **traitement**. Par exemple lors d'ajustement du nombre stœchiométrique d'une réaction chimique, on rencontre des écritures fractionnaires qui changent vers l'écriture entière en restant tout le temps dans le registre numérique. $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$ qui peut-être écrite automatiquement par $2C + O_2 \rightarrow 2CO$;
2. la transformation d'une représentation d'un registre à un autre est appelée une **conversion**. C'est le cas pour la représentation des valeurs numériques tirées des expériences par un graphe dans le registre graphique.

Ces deux opérations sont nécessaires pour l'enseignement. Duval (ibid.) considère que la construction de la signification d'un concept ne passe pas seulement par la mobilisation de différentes représentations exprimant ce concept dans des registres sémiotiques différents mais qu'il faut également établir des liens et une coordination entre les différents registres.

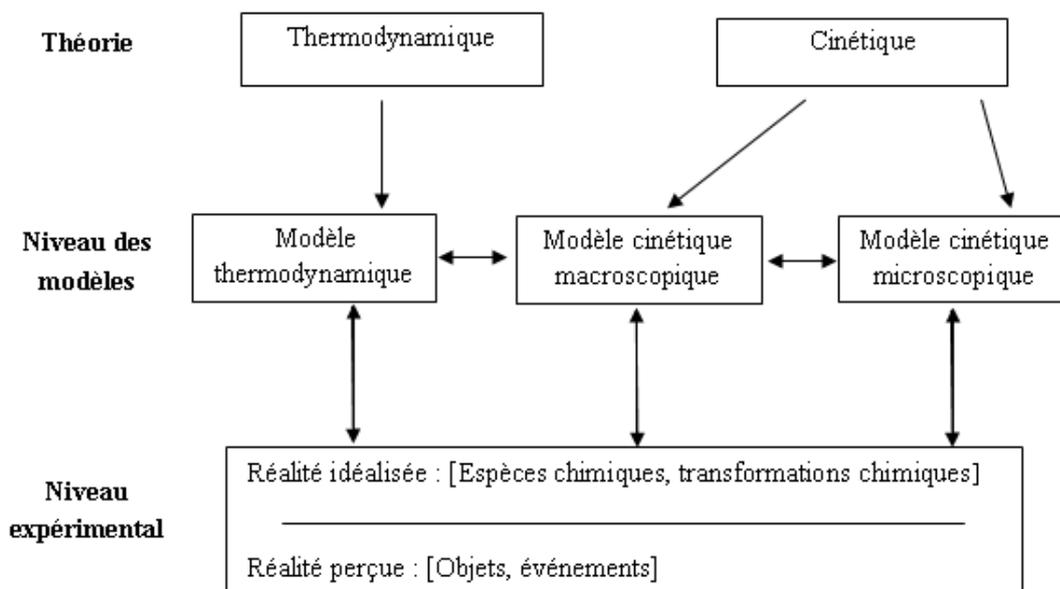
PROCESSUS DE MODÉLISATION DANS L'ENSEIGNEMENT

Le processus de modélisation a fait l'objet d'études de plusieurs épistémologues (Bachelard, 1938/1979) et didacticiens (Chomat, Larcher & Méheut, 1992; Le Maréchal, 1999; Martinand, 1992; Tiberghien, 1994). Il pose la question des rapports entre le concret et l'abstrait et de l'articulation entre l'expérimental et le théorique.

Reprenant la terminologie développée par Tiberghien (1994), l'activité de modélisation « générique » implique la mise en relation de différents « mondes » : le monde des objets et des événements qui réfère au monde matériel (ce qui est observable au niveau macroscopique)

d'une part, et le monde des théories et des modèles qui réfère aux aspects théoriques et aux modèles des situations matérielles étudiées d'autre part. Quand à Kermen (2018), elle évoque un processus de modélisation avec 3 niveaux à propos de l'évolution des systèmes chimiques (figure 2). Cette modélisation met en jeu un premier niveau de savoir à propos de la situation expérimentale ; elle correspond au premier niveau du monde tel qu'on l'expérimente.

FIGURE 2



Modélisation avec 3 niveaux de savoir à propos de l'évolution des systèmes chimiques

L'enseignant navigue en continu entre les mondes et parfois d'une façon implicite. Il est à noter qu'au lycée la navigation se fait seulement entre le niveau expérimental et celui des modèles. La dualité macroscopique-microscopique appartenant au niveau des modèles, en particulier le modèle cinétique, est une source de difficultés pour les élèves ainsi que les étudiants.

Kermen (2018) explique que les différentes approches et schémas de la modélisation, que nous avons évoqués plus haut, et particulièrement celle de l'enseignement de la chimie, ne font pas une place suffisante au concept de transformation chimique.

UN CROISEMENT ENTRE REGISTRES DE REPRÉSENTATION SÉMIOTIQUE DE DUVAL ET LE PROCESSUS DE MODÉLISATION

Nous considérons que le processus de modélisation en chimie, et particulièrement le travail sur la dualité macroscopique-microscopique, nécessite l'utilisation de plusieurs registres de représentations sémiotiques. Ces registres jouent le rôle d'outils pour modéliser et comprendre le modèle final demandé dans les meilleures conditions. Par exemple, lors de la construction des modèles particuliers (Chomat et al., 1992), différents types de représentations étaient utilisées, registre graphique, registre de la langue naturelle... L'enseignant commence par une représentation de la seringue à différents états sur le tableau et demande aux élèves d'indiquer ce qui a changé par le registre de la langue naturelle. Après des discussions sur le fait de représenter par le registre schématique l'état des gaz à l'intérieur, nous pouvons déduire que différents registres contribuent ensemble à la compréhension d'un modèle. Prenons un autre

exemple, dans l'approche des évolutions des systèmes chimiques, il est difficile de se rendre compte des réactions chimiques sans la notation symbolique des espèces chimiques et de l'équation de réaction. Il nous semble que les systèmes sémiotiques sont importants voire indispensable pour assurer des liens entre les différents niveaux de modélisation et au sein d'un même niveau. Compte tenu de notre proposition de croisement entre différents éléments théoriques, nous pouvons reformuler notre objectif de recherche comme suit : quel est le niveau de maîtrise des élèves et des étudiants pour convertir des schémas en équations chimiques et vice-versa. Comment raisonnent les étudiants devant des exercices portant sur la transformation chimique et mobilisant la dualité macroscopique-microscopique?

MÉTHODOLOGIE

Nous avons procédé par un questionnaire adressé à 113 étudiants en première année à l'UTT avant enseignement (enquête réalisée en septembre 2018). Le questionnaire est composé d'une série de 39 questions dont une partie est en lien avec les difficultés des élèves mentionnés dans les travaux de recherche menés antérieurement et citées ci-dessus. Les questions posées portent sur la technicité d'équilibration d'une réaction, sur la distinction entre indice et coefficient stœchiométrique, sur la dualité macroscopique-microscopique d'une transformation ainsi que sur la compréhension du tableau d'avancement. Les questions sont mixtes ; il y a des questions ouvertes (questions de calcul de la composition du système à différents états et des questions pour expliquer, décrire une transformation, donner la nature des transformations, compléter des tableaux d'avancement, équilibrer des réactions etc.) et des questions à choix multiples. Les énoncés des questions sont variés et font appel à différents registres sémiotiques. Différentes transformations sont également proposées.

Les étudiants avaient à remplir le questionnaire en ligne en se connectant sur la plateforme pédagogique moodle. La durée pour répondre au questionnaire est estimée à 1h30 cependant les étudiants ont eu deux heures pour y répondre. Les étudiants avançaient d'une question à la suivante sans aucun feedback et n'avaient pas la possibilité de retourner en arrière une fois la réponse validée.

RÉSULTATS ET ANALYSE

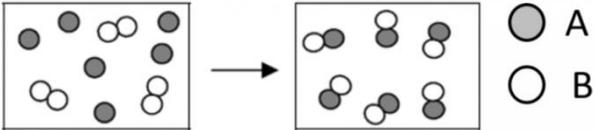
Le traitement et l'analyse de données sont effectués en fonction de notre cadre théorique. Nous présentons ici les réponses données à la deuxième partie du questionnaire ; cette partie comporte quatre questions sur la dualité macroscopique-microscopique.

La première question, qui est une traduction de la question posée dans les travaux de Sanger (2005), se présente dans la figure 3 (capture d'écran 1 illustré).

Cette question permet de voir si les étudiants confondent la quantité de matière et coefficient. La réponse attendue est la deuxième. 58% d'étudiants ont coché uniquement la première réponse ; 35% des étudiants ont donné la 2^{ème} bonne réponse ; et 14% ont coché les 2 premières réponses. La réaction était totale nous faisons donc l'hypothèse que les étudiants qui ont coché la première réponse ont compté les réactifs : nous pouvons voir qu'il y a des représentations de 6 atomes A et 3 B₂. Nous pouvons déduire qu'une grande partie des étudiants cochant la première réponse confondent donc coefficient stœchiométrique et quantité de matière même s'ils ont réussi à faire une conversion du schéma vers l'équation.

FIGURE 3

La représentation ci-dessous montre une réaction entre A et B₂.



Quelle est l'équation-bilan équilibrée associée à cette transformation ?

Veillez choisir au moins une réponse :

6A + 3B₂ → 6AB

2A + B₂ → 2AB ✓

6AB → 6A + 3B₂

2A + 2B → 2AB

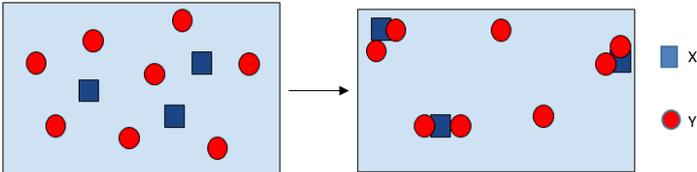
6A + 6B → 2AB

Capture d'écran de la première question

La deuxième question posée est illustrée dans la figure 4 :

FIGURE 4

La représentation ci-dessous montre une réaction entre X et Y.



Quelle est l'équation-bilan associée ?

3X + 8Y → X₃Y₈

3X + 6Y → X₃Y₆

X + 2Y → XY₂

3X + 8Y → 3XY₂ + 2Y

X + 4Y → XY₂

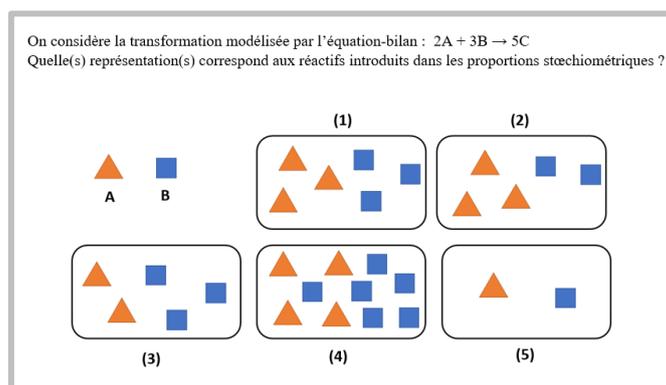
Autres à préciser.

Capture d'écran de la deuxième question

Les étudiants ont le choix entre 6 réponses. La seule bonne réponse est la 3^{ème}. 22% seulement des étudiants ont donné la bonne réponse. La majorité des étudiants (77%) ont donné une réponse erronée - le 4^{ème} choix-. Nous pouvons dire que la majorité des étudiants ont effectué une traduction littérale du schéma ; ils comptent sans penser à la proportion. La conversion entre registres sémiotiques n'est pas facile dans le cas des transformations non totales. Nous considérons que les étudiants ont plutôt compté au lieu de raisonner en terme de réaction chimique ; ils ont essayé d'inclure les espèces qui n'ont pas réagi dans l'équation.

La troisième question de cette série est illustrée dans la figure 5. Les 2 bonnes réponses sont : (3) et (4). En fait, 61% des étudiants ont coché les 2 bonnes réponses. Aucun étudiant n'a donné que la quatrième réponse. Le pourcentage de réussite à cette question semble satisfaisant ; nous pouvons se demander donc si les étudiants mettent du sens derrière les coefficients stoechiométriques ou si les étudiants ont plus de facilités à faire une conversion du registre algébrique (équation) vers des schémas le passage de réaction vers un schéma (la question posée fait appel à un autre registre de représentations sémiotiques des 2 précédentes).

FIGURE 5



Capture d'écran de la troisième question

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons débuté la première partie d'un projet visant à développer un continuum Bac-3 et Bac+3. La première partie consiste à évaluer la maîtrise et la compréhension des transformations chimiques des étudiants du lycée et d'université. Si l'on adopte le modèle des « deux mondes » proposés par Le Maréchal (1999) pour étudier les difficultés de la modélisation en chimie, les représentations utilisées dans ces questions appartiennent déjà au « monde reconstruit » des chimistes. Cependant si on adopte le lexique de Kermen 2018 (figure 2), les questions posées appartiennent au niveau de modèle. Nous avons présenté ici les réponses données à une partie de questionnaire en septembre 2018, par des étudiants français en Bac+1 (questionnaire passé après leur Bac et avant tout enseignement de la chimie en Bac+1).

Nous pouvons déduire des réponses données par les étudiants que l'obstacle épistémologique et didactique en lien avec la dualité macroscopique-microscopique est présent à la fin du lycée. La modélisation microscopique par des schémas semble n'est pas acquise et semble se limiter à des calculs mathématiques ; la majorité des étudiants ne fait pas le lien entre coefficient stœchiométrique et proportion.

Ces résultats seront pris en compte non seulement dans les séquences qui seront élaborées mais aussi dans la formation des enseignants au sein de notre groupe de recherche collaborative.

Nos résultats « révèlent » les difficultés de conversions entre les registres sémiotiques. Nous nous demandons si une conversion d'un registre donné à un autre dans un sens n'est pas plus facile que dans un autre sens. Pour aller plus loin, nous souhaitons faire quelques entretiens avec les étudiants pour comprendre leurs stratégies mises en œuvre pour répondre à notre questionnaire.

RÉFÉRENCES

- Bachelard, G. (1938/1979). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin Éditions.
 Barlet, R., & Plouin, D. (1997). La dualité microscopique-macroscopique un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *Aster*, 25, 143-174.

- Chomat, A., Larcher, C., & Méheut, M. (1992). Modèle particulière et démarches de modélisation. In J. L. Martinand (Dir.), *Enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 119-169). Paris: INRP.
- Ducamp, C., & Rabier, A. (2007). Évaluation de la maîtrise de l'outil avancement de réaction pour des élèves de première scientifique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 892, 319-332.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine : Registres sémiotiques et apprentissage intellectuels*. Berne: Peter Lang.
- Duval, R. (2007). Cognitive functioning and the understanding of the mathematical processes of proof. In P. Boero (Ed.), *Theorems in schools* (pp. 137-161). Rotterdam/Tapei: Sense Publishers.
- Estivales, R. (2003). *Théorie générale de la schématisation*. Paris: Harmattan.
- Kermen, I. (2015). Modéliser, représenter des transformations chimiques. In T. Evrard & B. Amory (Éds.), *Les modèles des incontournables pour enseigner les sciences: Apprendre les sciences de 2 ans 1/2 à 18 ans* (pp. 193-201). Louvain-la-Neuve: De Boeck.
- Kermen, I. (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée. Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.
- Le Maréchal, J. F. (1999). Modeling student's cognitive activity during the resolution of problems based on experimental facts in chemical education. In J. Leach & A. C. Paulsen (Éds.), *Practical work in Science Education* (pp. 195-209). Roskilde/Dordrecht, The Netherlands: Roskilde University Press/Kluwer.
- Martinand, J. L. (1992). *Présentation. Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: INRP.
- Pozzer-Ardenghi, L. (2009). Research on inscriptions: Visual literacy, authentic science practices, and multimodality. In K. Tobin & W.-M. Roth (Eds.), *The world of Science Education. Handbook of research in North America* (pp. 307-324). Rotterdam: Sense Publishers.
- 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.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.

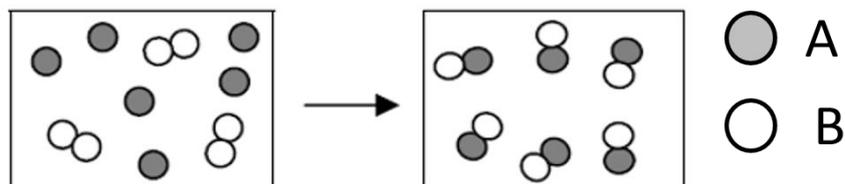
Annexe

Présentation de la deuxième partie du questionnaire

Deuxième partie

Question 1

La représentation ci-dessous montre une réaction entre A et B₂.

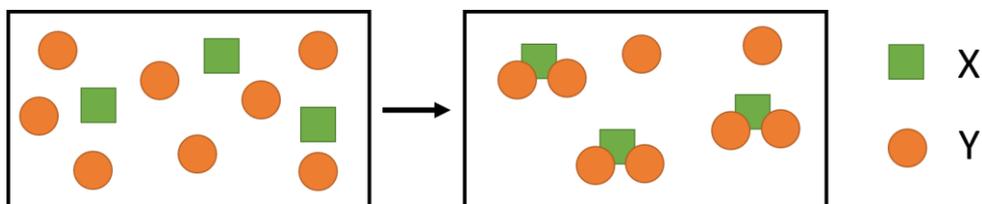


Quelle est l'équation-bilan équilibrée associée à cette transformation:

- $6A + 3B_2 \rightarrow 6AB$
- $2A + B_2 \rightarrow 2AB$
- $6AB \rightarrow 6A + 3B_2$
- $2A + B_2 \rightarrow 2AB$
- $2A + 2B \rightarrow 2AB$
- Autres à préciser.

Question 2

La représentation ci-dessous montre une réaction entre X et Y.



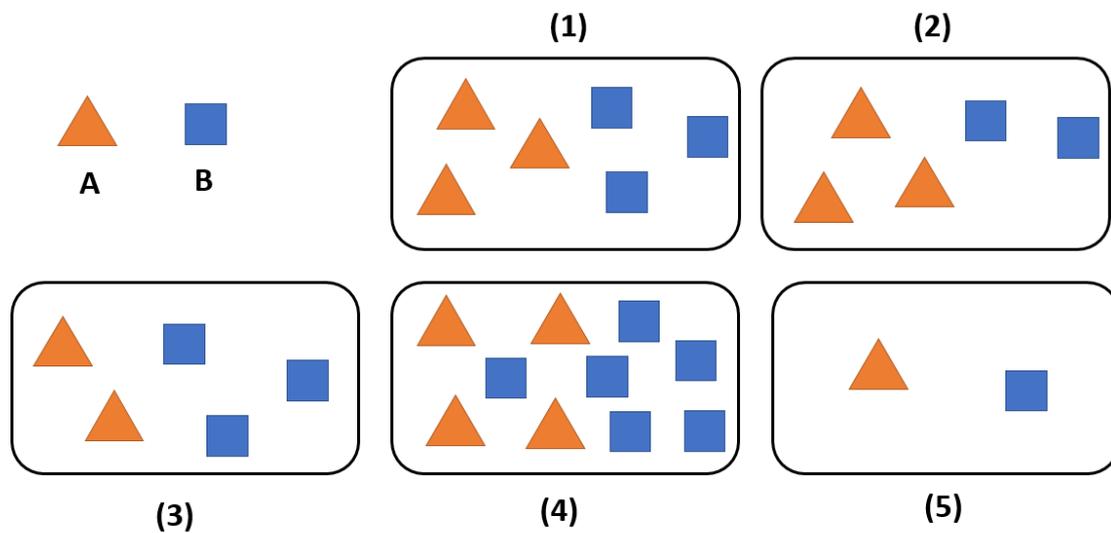
Quelle est l'équation-bilan associée ?

- $3X + 8Y \rightarrow X_3Y_8$
- $3X + 6Y \rightarrow X_3Y_6$
- $X + 2Y \rightarrow XY_2$
- $3X + 8Y \rightarrow 3XY_2 + 2Y$
- $X + 4Y \rightarrow XY_2$
- Autres à préciser.

Question 3

On considère la transformation modélisée par l'équation-bilan : $2A + 3B \rightarrow 5C$

Quelle(s) représentation(s) correspond aux réactifs introduits dans les proportions stœchiométriques ?



Question 4

Selon vous, la réaction ci-dessous est-elle partielle ou totale ? Justifiez la réponse.

