



# Modélisation des transformations chimiques : analyse de textes institutionnels

Rémi Bouard, Sophie Canac, Isabelle Kermen

## ► To cite this version:

Rémi Bouard, Sophie Canac, Isabelle Kermen. Modélisation des transformations chimiques : analyse de textes institutionnels. 12èmes rencontres scientifiques de l'ARDIST, Nov 2022, Toulouse, France. hal-03873191

**HAL Id: hal-03873191**

**<https://hal.science/hal-03873191>**

Submitted on 19 Dec 2022

**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.

# Modélisation des transformations chimiques : analyse de textes institutionnels

Bouard, Rémi<sup>(1)</sup>, Canac, Sophie<sup>(2)</sup>, Kermen, Isabelle<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>LDAR, Université Paris Cité – France

<sup>(2)</sup>LDAR, Univ Paris Est Créteil, Université Paris Cité, CY Cergy Paris Université, Univ. Lille, UNIROUEN – France

<sup>(3)</sup>CREAD, Université de Bretagne Occidentale – France

## Résumé

Le récent programme de physique-chimie de la classe de seconde en France met en avant la démarche de modélisation des transformations chimiques par une réaction chimique. Cette communication vise à présenter l'analyse de la modélisation proposée dans le programme et la ressource officielle associée. Des considérations épistémologiques et didactiques permettent d'élaborer une grille d'analyse composée d'indicateurs à rechercher dans ces textes. Ils proposent tous les deux une démarche inductive de construction du modèle, et ne soulignent pas les caractères explicatif et prédictif du modèle. Le caractère unificateur du modèle et sa symbolique ne sont évoqués que dans la ressource.

## Mots-clés :

modèle ; modélisation ; transformation chimique ; réaction chimique ; programme

## Introduction

Cette communication présente une analyse épistémologique et didactique des récents textes institutionnels (programme et document d'accompagnement, 2019) relatifs à la modélisation des transformations chimiques en classe de seconde (élèves de 15-16 ans) en France. Dans le cadre d'une recherche sur les pratiques ordinaires d'enseignants abordant la modélisation des transformations chimiques, l'étude de ces textes a constitué un préalable pour documenter le déterminant institutionnel des pratiques (Robert, 2008) afin d'évaluer son influence sur la conception et la mise en œuvre des séances. Cette étude fait l'objet de cette communication.

## Le modèle scientifique

Un modèle scientifique est une « construction intellectuelle de quelque chose (...) sciemment et délibérément infidèle à ce qu'il modélise » (Soler, 2013, p. 183). Cet écart avec la réalité permet au modèle de jouer un rôle d'outil efficace pour résoudre des problèmes particuliers (*ibid.*). Il convient donc de bien identifier le phénomène à modéliser (Justi & Gilbert, 2002) et de le distinguer du modèle (Morge & Doly, 2013) en repérant notamment les aspects du réel écartés. Plusieurs phénomènes peuvent être interprétés par un même modèle lui conférant un caractère unificateur. Un modèle sert à décrire, expliquer et prévoir (Robardet & Guillaud, 1997), il peut être symbolisé. Il a un domaine de validité (localité) restreint à l'ensemble des phénomènes qui le rendent efficace (Soler, 2013).

## Modèle et modélisation en contexte scolaire

Le modèle est le résultat du processus de modélisation (Larcher, 1996). Pour les propriétés de la matière, deux exemples de modélisation alternant des phases d'enrichissement du modèle et d'interprétation (du registre expérimental vers le modèle) et des phases prédictives (du modèle vers le registre expérimental) ont été étudiés en France (Chomat et al., 1988; Larcher et al., 1990). Pour Adúriz-Bravo (2013), l'action de modéliser ou modélisation correspond en contexte scolaire à l'un des quatre processus suivants : construire un nouveau modèle, utiliser un modèle pour expliquer des faits scientifiques, améliorer des modèles déjà établis et apprendre à appliquer des modèles existants dans un contexte d'apprentissage.

## Le savoir modélisation des transformations chimiques

Des auteurs (Sjöström et al., 2020; Taber, 2020) soulignent l'importance d'une approche thermodynamique pour traiter la transformation chimique des substances. Talanquer (2015) voit l'équilibre chimique comme un concept seuil dont la non-compréhension peut empêcher toute progression des apprenants en chimie. Le modèle macroscopique réaction chimique peut être considéré comme la première étape simplificatrice d'une approche thermodynamique des transformations chimiques ayant pour objectif l'introduction du concept d'équilibre chimique dans le programme de Terminale (Kermen, 2018). Dans ce cadre (Kermen, 2018), la transformation chimique fait partie du registre expérimental et est

décrite à partir de la réalité perçue (phénomènes observés) et dans la réalité idéalisée comme un bilan en termes d'espèces chimiques entre deux états du système considéré.

## Problématique

Les programmes de lycée accordent une « place essentielle » (MEN 2019a, p. 4) à la modélisation développée notamment dans la partie traitant des transformations chimiques. La ressource Éduscol (2019, p. 2) en lien avec cette partie du programme précise que « la démarche proposée s'appuie sur une situation développée dans le cadre de travaux didactiques par Isabelle Kermen ». Cette démarche correspond à ce que Sjöström et al. (2020) nomment un modèle « didaktik » de séquence pour guider la réflexion et les choix des enseignants avant et pendant les séances. Compte tenu des difficultés que la distinction entre le registre expérimental (transformation chimique) et le registre des modèles (réaction chimique) a posé aux enseignants (Kermen & Méheut, 2008), une étude des textes institutionnels - programme et ressource Éduscol - vise à déterminer en quoi ils pourraient constituer une source de réflexion et un guide pour l'action en classe lors de la modélisation des transformations chimiques, modélisation entendue aux sens d'Adúriz-Bravo (2013).

Notre question de recherche est alors la suivante :

Quelle élaboration de la modélisation des transformations chimiques par les élèves les textes officiels préconisent-ils ?

## Élaboration d'une grille d'analyse

À partir de l'étude des caractéristiques d'un modèle et de l'étude didactique du savoir, nous définissons 7 critères transposés de certaines caractéristiques générales d'un modèle (colonne gauche du tableau 1) à la réaction chimique (colonne droite du tableau 1) pour appuyer la construction d'une grille d'analyse des textes officiels.

| Caractéristiques générales d'un modèle  |                                             | Transposition à la réaction chimique (caractéristiques spécifiques)                                                                                                                           |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Lien modèle – phénomène modélisé</b> |                                             |                                                                                                                                                                                               |
| C1                                      | Il est le modèle d'un phénomène.            | La réaction chimique modélise la / des transformation(s) chimique(s), ces deux concepts sont distincts.                                                                                       |
| C2                                      | Il laisse certains aspects du réel de côté. | Des aspects sont explicitement non pris en compte (variation des paramètres physiques, descriptions phénoménologiques, ...).                                                                  |
| <b>Pluralité</b>                        |                                             |                                                                                                                                                                                               |
| C3                                      | Il possède un caractère unificateur.        | La réaction modélise les transformations de systèmes dont les états initiaux et finaux diffèrent mais dont le devenir de certaines espèces toujours présentes à l'état initial est similaire. |
| <b>Efficacité</b>                       |                                             |                                                                                                                                                                                               |
| C4                                      | Il peut être symbolisé.                     | L'équation symbolise la réaction. Elle contient de nombreuses informations.                                                                                                                   |
| C5                                      | Il a un caractère explicatif.               | La réaction permet d'expliquer des observations qualitatives à partir de la nature des espèces mises en jeu ou quantitatives à partir de la stoechiométrie.                                   |
| C6                                      | Il a un caractère prédictif.                | La réaction permet de prévoir des observations qualitatives à partir de la nature des espèces mises en jeu ou quantitatives à partir de la stoechiométrie.                                    |
| <b>Localité</b>                         |                                             |                                                                                                                                                                                               |
| C7                                      | Il a un domaine de validité.                | Une réaction ne modélise que des transformations où l'un des réactifs au moins disparaît et pour des systèmes de composition qualitative similaire.                                           |

Tableau 1 : Application des caractéristiques générales d'un modèle au modèle réaction chimique

Pour chacune des quatre acceptions de la modélisation en contexte scolaire (Construction, Application, Amélioration et Apprentissage) (Adúriz-Bravo, 2013), nous élaborons des indicateurs *a priori* centrés sur la recherche d'actions possibles d'un enseignant abordant en classe une caractéristique du modèle réaction chimique (Tableau 1). Ces indicateurs proviennent d'un croisement entre l'analyse didactique du savoir et nos expériences d'observation de classe en formation ou en recherche (Kermen & Colin, 2017). L'acception Amélioration correspondant aux transformations non totales abordées en classe de terminale (MEN, 2019b) est exclue. La liste des indicateurs est finalisée après accord entre les trois chercheurs. La grille complète ainsi construite comporte 44 indicateurs dont nous présentons un extrait dans le tableau 2.

| Caractéristiques                                    | n°  | Indicateur                                                                                                                                | Programme ou Ressource |
|-----------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Construction du modèle « réaction chimique »</b> |     |                                                                                                                                           |                        |
| C1 Il est le modèle d'un phénomène                  | i14 | Annoncer la construction d'un modèle                                                                                                      | P et R                 |
|                                                     | i15 | Faire des allers et retours entre modèle en construction et bilans expérimentaux                                                          |                        |
|                                                     | i16 | Utiliser le terme « réaction » comme le modèle de la transformation chimique                                                              | P et R                 |
|                                                     | i17 | Faire établir la liste des réactifs                                                                                                       | P et R                 |
|                                                     | i18 | Faire établir la liste des produits                                                                                                       | P et R                 |
|                                                     | i19 | Faire établir la liste des espèces spectatrices                                                                                           | R                      |
|                                                     | i20 | S'appuyer sur des principes théoriques pour étayer ou écarter des propositions                                                            |                        |
|                                                     | i21 | Faire établir un lien (approximatif) entre des quantités de matière pertinentes dans une transformation                                   | R                      |
|                                                     | i22 | Faire utiliser la conservation des éléments chimiques pour ajuster l'équation de réaction                                                 | P et R                 |
| C2 Il laisse les aspects du réel de côté            | i23 | Faire écarter des paramètres physiques                                                                                                    |                        |
| C3 Il possède un caractère unificateur              | i24 | Faire réaliser plusieurs transformations chimiques similaires                                                                             | R                      |
|                                                     | i25 | Faire remarquer que les réactifs et les produits sont les mêmes pour des transformations similaires                                       | R                      |
|                                                     | i26 | Faire remarquer que les relations entre variations de quantités de matière pertinentes sont les mêmes pour des transformations similaires | R                      |
|                                                     | i27 | Rechercher la relation de proportionnalité entre les variations de quantités de matière                                                   | R                      |
| C4 Il peut être symbolisé                           | i28 | Dire que l'équation s'écrit avec les formules chimiques (des espèces)                                                                     | R                      |
|                                                     | i29 | Expliciter la signification des symboles + et →                                                                                           |                        |
|                                                     | i30 | Faire le lien entre les proportions déterminées précédemment et les nombres stœchiométriques                                              | R                      |
| C7 Il a un domaine de validité                      | i31 | Ne pas utiliser de langage microscopique pour l'équation                                                                                  | R                      |
|                                                     | i32 | Indiquer que seules les transformations totales sont concernées                                                                           |                        |

Tableau 2 : Extrait de la liste des indicateurs limité à l'acception « construction » de la modélisation

Une lecture précise des textes officiels - programme (MEN 2019a, pp. 4-8) et ressource Éduscol (2019) - ainsi que l'interprétation des intentions et prescriptions qui y figurent amènent au remplissage de la grille des indicateurs (colonne de droite du tableau 2). Dans l'acception « construction du modèle », nous proposons entre autres pour C1 des indicateurs relatifs à l'établissement de la liste des réactifs, produits et espèces spectatrices (indicateurs i17, i18 et i19 du Tableau 2). Dans le programme (MEN, 2019a), les phrases du bloc d'introduction précisant la démarche nécessaire pour obtenir les « espèces chimiques présentes dans l'état initial et qui ont réagi » et « celles présentes dans l'état final et qui ont été formées » nous permettent de valider i17 et i18. Dans la ressource (Éduscol, 2019), une partie intitulée « sélectionner les espèces chimiques qui ont réagi (réactifs) ou ont été formées (produits) » nous permet de valider i17 et i18. Nous validons également i19 puisque

la notion d'espèces spectatrices est évoquée dans la même partie, alors qu'elle ne l'est pas dans le programme.

Après avoir réalisé ce travail pour l'ensemble des indicateurs, l'analyse de ceux présents ou non dans la grille de résultats nous permet de caractériser l'élaboration proposée par les textes officiels.

## Résultats

Seuls 2 critères (C1 et C6) sont présents dans le programme. La ressource en comporte 3 (C1, C3 et C4).

Dans le programme, nous trouvons 13 indicateurs, dont 12 dans les parties concernant la Construction du bilan transformation chimique (7) et celle du modèle (5), 1 indicateur dans la catégorie Application et aucun dans Apprentissage. Dans la ressource, nous repérons 26 indicateurs dont les trois quarts dans la catégorie Construction.

Trois critères (C2, C5, C7) sont absents de ces deux textes : aucun indicateur correspondant aux aspects du réel laissés de côté, au caractère explicatif d'un modèle ou au domaine de validité du modèle n'y est repéré. Est également absent du programme tout ce qui correspond à l'exploitation des mesures expérimentales, au caractère unificateur du modèle ou sa symbolique ; ces indicateurs sont repérés dans la ressource uniquement. Dans les deux textes les indicateurs en lien avec des allers-retours possibles modèle-expérience n'apparaissent pas, ni la possibilité de prendre un appui théorique pour la modélisation.

## Discussion et conclusion

Notre analyse révèle 26 indicateurs dans les ressources, soit deux fois plus que dans le programme, mais les fonctions explicatives et prédictives du modèle ne sont pas mentionnées, ni son champ d'application. Pourtant, explorer les limites du modèle ou son champ d'application de façon explicite est nécessaire pour aider les élèves à voir dans le modèle un outil de réflexion (Taber, 2015). La démarche proposée lors de la phase de construction (transformation chimique et modèle) nous semble discutable. Elle fournit une vision inductive de la construction du modèle, contestable dans la mesure où l'élaboration de ce dernier repose aussi sur des considérations théoriques (Justi & Gilbert, 2002) avec des allers-retours entre modèle et registre expérimental (Chomat et al., 1988).

Dans la mesure où les textes institutionnels ne donnent pas d'exemple d'évaluation de la notion de modèle ou de ses fonctions explicatives et prédictives, nous faisons l'hypothèse que cela n'incite pas les enseignants à faire explicitement travailler les élèves avec des modèles et réfléchir sur leurs fonctions

## 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>
- Chomat, A., Larcher, C., & Méheut, M. (1988). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, 7, 143-184. <https://doi.org/10.4267/2042/9222>

- Éduscol. (2019). Modéliser, au niveau macroscopique, une transformation chimique par une réaction chimique. En ligne <<https://eduscol.education.fr/1648/programmes-et-ressources-en-physique-chimie-voie-gt>>
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387. <http://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Kermen, I. (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée*. Presses Universitaires de Rennes.
- Kermen, I., & Colin, P. (2017). Trois mises en œuvre d'une transformation chimique pour introduire le thème des piles : Des choix didactiques très contrastés. *Éducation & didactique*, 11(2), 187-212. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.2772>
- Kermen, I., & Méheut, M. (2008). Mise en place d'un nouveau programme à propos de l'évolution des systèmes chimiques : Impact sur les connaissances professionnelles d'enseignants. *Didaskalia*, 32, 77-116. <https://doi.org/10.4267/2042/23981>
- Larcher, C. (1996). La physique et la chimie, sciences de modèles. In J. Toussaint (Éd.), *Didactique appliquée de la physique-chimie* (p. 160-178). Nathan.
- Larcher, C., Chomat, A., & Méheut, M. (1990). A la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ses différents états. *Revue française de pédagogie*, 93(1), 51-61. <https://doi.org/10.3406/rfp.1990.1373>
- Ministère de l'Éducation Nationale. (2019a). Programme de l'enseignement de physique-chimie de la classe de seconde générale et technologique. BOEN Spécial n°1 du 22 janvier 2019.
- Ministère de l'Éducation Nationale. (2019b). Programme de physique-chimie de terminale générale. BOEN Spécial n°8 du 25 juillet 2019.
- 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>
- Robardet, G., & Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Presses Universitaires de France.
- Robert, A. (2008) La double approche didactique et ergonomique pour l'analyse des pratiques d'enseignants de mathématiques. In F. Vandebrouck, *La classe de mathématiques : Activités des élèves et pratiques des enseignants* (p. 59-68). Octarès éditions.
- Sjöström, J., Eilks, I., & Talanquer, V. (2020). Didaktik models in chemistry education. *Journal of chemical education*, 97(4), 910-915. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01034>
- Soler, L. (2013). Qu'est-ce qu'un modèle scientifique ? *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 52(1), 177-214. <https://doi.org/10.3406/spira.2013.1067>
- Taber, K. S. (2015). The role of conceptual integration in understanding and learning chemistry. In J. García-Martínez & E. Serrano-Torregrosa (Eds.), *Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends* (p. 375-394). Wiley.
- Taber, K. S. (2020). Conceptual confusion in the chemistry curriculum : Exemplifying the problematic nature of representing chemical concepts as target knowledge. *Foundations of Chemistry*, 22(2), 309-334. <https://doi.org/10.1007/s10698-019-09346-3>
- Talanquer, V. (2015). Threshold concepts in chemistry : The critical role of implicit schemas. *Journal of Chemical Education*, 92(1), 3-9. <https://doi.org/10.1021/ed500679k>