

INTRODUCTION

Cet ouvrage est issu d'une note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches en didactique de la chimie. Ces recherches portent sur l'enseignement et l'apprentissage de la chimie, plus précisément sur les phénomènes accompagnant ces processus qui concernent deux types d'acteurs, les enseignants et les élèves ou étudiants, ayant un rapport dissymétrique au savoir en jeu, au sein d'institutions spécialisées dans l'éducation et la formation. Cet objet d'étude est celui de la didactique de la chimie, discipline de recherche (Reuter, 2007), qui, pour reprendre les termes de Christian Orange (2014), a pour programme de « lever les ambiguïtés sur ce qui s'enseigne, sur ce qui peut s'enseigner et sur ce qui peut s'apprendre » (p. 90). Par conséquent, le titre de cet ouvrage « enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée » ne doit pas être pris comme une invitation à découvrir ce qu'il faudrait faire pour cela. Le sous-titre précise les objets étudiés, le savoir lui-même constitué entre autres de modèles scientifiques scolaires, les raisonnements des élèves et certaines pratiques des enseignants lors de l'enseignement de ce thème.

Affirmer et caractériser la spécificité de la didactique de la chimie parmi les didactiques des autres disciplines constitue l'un des objectifs de cet ouvrage. Cette caractérisation s'appuie sur la délimitation de l'objet d'étude de la chimie elle-même dont Bensaude-Vincent (2005) dit qu'elle est engagée dans « un duel toujours recommencé » avec la physique et qu'elle s'en distingue dans l'étude de la matière par la recherche des grands principes qui régissent ses transformations alors que les physiciens sont « en quête des constituants ultimes de la matière » (p. 166). La chimie est une discipline scolaire (Reuter, 2007) qui dans le système secondaire français est enseignée avec la physique par le professeur de physique-chimie, dont la formation et l'intérêt pour la discipline (intérêt disciplinaire) ne coïncident pas toujours avec l'intérêt pour l'enseignement de la discipline (intérêt didactique) [Alturkmani, 2015]. Les caractéristiques épistémologiques de la chimie (discipline scolaire et science) sont différentes de celles de la physique.

La chimie en tant que science peut se définir par son objet d'étude et ses méthodes. L'objet d'étude de la chimie est la matière (inanimée, sinon on parle de biochimie) qu'il s'agit de transformer, de synthétiser (fabriquer des composés qu'on trouve dans la nature ou pas) ou d'inventer (recherche de médicaments, de matériaux nouveaux aux propriétés définies...). « La chimie est une science qui va du fictif au factice » résume la pensée de Bachelard selon Bensaude-Vincent (2005, p. 120). Les substances sont d'abord inventées,

fictives, à l'aide des « outils de papier » que constituent les formules moléculaires (Klein, 2001), puis fabriquées en mettant « les molécules au travail » (Bensaude-Vincent, 2005, p. 129). La chimie désigne aussi une industrie (à la différence de la physique) puissante à l'image assez négative (Chastrette et Dumon, 2007) dont les méthodes ne sont guère différentes de celle de la science, si on excepte les adaptations engendrées par le changement d'échelle du laboratoire à l'usine, et dont l'objet est aussi les transformations intentionnelles de la matière. Déterminer quelles sont les conditions les plus propices à la fabrication d'une substance donnée est un objectif répandu dans cette industrie. La chimie est aussi connue pour son langage symbolique dédié, vecteur de communication et véritable outil de travail, utilisé aussi bien dans l'enseignement qu'en recherche et dans l'industrie.

Dans l'enseignement de la chimie, reconnaître le caractère chimique d'une modification de la matière est un objectif affirmé dès le collège. Comprendre comment l'expérimentateur peut influencer sur les conditions expérimentales ou pas pour favoriser une synthèse est un objectif de fin d'enseignement secondaire. Ces différents aspects appartiennent au thème de l'évolution des systèmes chimiques. En effet, dès l'instant où des substances sont mélangées et susceptibles de réagir pour former d'autres substances, le système considéré n'est plus le même il évolue. Pourquoi avoir choisi de s'intéresser à l'enseignement de ce thème ?

Dans les programmes de lycée 2000-2002, l'enseignement de ce thème a été profondément renouvelé par l'introduction :

- de notions différentes, transformation chimique et réaction chimique, la distinction reposant sur l'idée de modélisation ;
- de modèles macroscopiques, terme absent jusque-là des programmes de chimie ;
- d'un modèle prédictif permettant de prévoir le sens d'évolution d'un système donné ;
- de deux modèles cinétiques explicatifs.

Ces programmes ont constitué une rupture par rapport aux précédents (Kermen, 2007). Essayer d'identifier l'impact des changements apportés aussi bien en termes de savoir à enseigner, que d'appropriation de ces savoirs par les élèves et les enseignants constituait donc un programme de recherche. Les programmes actuels en classe de terminale ne comportent plus l'enseignement d'un modèle prédictif, ce qui confère à certains des résultats présents dans cet ouvrage un caractère un peu particulier. Cependant, l'empreinte de certains des changements apportés est durable et irrigue encore les programmes actuels.

Cet ouvrage présente une réflexion épistémologique et didactique sur le savoir à enseigner « évolution des systèmes chimiques ». Cette réflexion s'articule autour d'une caractérisation des modèles scientifiques et d'une analyse des cadres didactiques incluant la modélisation dans l'enseignement secondaire en France. Cette réflexion est mise à profit pour analyser des raisonnements d'élèves de terminale en réponse à des questionnaires ou lors de séances de classe. Ce thème disciplinaire est le fil rouge des séances de classe de terminale observées dont l'étude permet d'aborder les pratiques d'enseignants de chimie selon deux axes complémentaires, la caractérisation de leur activité et de certaines de leurs connaissances professionnelles.

Plus précisément l'ouvrage est constitué de trois parties. La première partie intitulée « Modèles et enseignement de la chimie en France » regroupe trois chapitres. Le premier chapitre situe brièvement le contexte d'élaboration des programmes de chimie du lycée

2000-2002 et brosse les principales modifications apportées par ce programme. Dans le deuxième chapitre, nous portons un regard épistémologique sur la notion de modèle scientifique que nous complétons par une caractérisation des modèles scientifiques scolaires et les différentes significations du terme modéliser en classe. Dans le troisième chapitre, nous présentons différentes approches ayant guidé les recherches sur l'enseignement de la chimie, puis celles se réclamant explicitement de la modélisation en sciences et technologie (Martinand) ou en physique (Tiberghien) qui ont généré les approches dédiées à l'enseignement de la chimie ayant pris pour cadre la modélisation. Il s'agit des approches de Laugier et Dumon d'une part, de Le Maréchal, d'autre part.

La deuxième partie s'intitule « L'évolution des systèmes chimiques » et regroupe deux chapitres. Le premier présente notre analyse épistémologique et didactique du savoir évolution des systèmes chimiques incluant une prise en compte explicite des modèles macroscopiques et de la distinction entre transformation chimique et réaction chimique ce qui nous conduit à différents schémas catégorisant le savoir à enseigner dont nous proposons l'usage. Le second chapitre donne à voir la compréhension des élèves pour différents aspects de ce savoir (usage des modèles, de l'équation de réaction, du concept de transformation chimique) à travers deux types de travaux où l'analyse concerne soit des réponses à des questionnaires soit des raisonnements effectués en classe, sur le vif. Les analyses sont guidées par les schémas produits de la réflexion précédente.

La troisième partie aborde nos recherches sur les pratiques enseignantes en deux chapitres. Au cours du premier chapitre, nous présentons le cadre théorique et méthodologique (issu de la didactique des mathématiques) que nous avons utilisé et légèrement adapté à l'enseignement de la chimie, la double approche didactique et ergonomique des pratiques (Robert et Rogalski, 2002). Cette présentation est suivie d'une synthèse de nos recherches sur l'activité de quatre enseignants à propos de deux thèmes de chimie, qui met en évidence des logiques d'action contrastées et illustre les marges de manœuvre qu'ils peuvent investir. Dans le second chapitre, nous abordons la question des connaissances professionnelles des enseignants et notamment celle des *pedagogical content knowledge* PCK dont nous exposons une brève esquisse de l'évolution de sa conceptualisation dans les travaux internationaux. Puis nous articulons connaissances professionnelles et double approche didactique et ergonomique. Nous terminons par deux études de cas mettant en évidence des conditions de développement des PCK, et la richesse d'une inférence de ce type de connaissance par une analyse de l'activité.

Le dernier chapitre de cet ouvrage conclut en proposant quelques pistes de recherches futures.