

Analyse didactique du programme de chimie au Baccalauréat Marocain: Cas de l'évolution des systèmes chimiques

Ali Ouasri

Laboratoire de Recherche Scientifique et Innovation Pédagogique (ReSIP); Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation, Madinat Al Irfane, B.P. 3210, Rabat; Maroc. Email: aouasri@yahoo.fr(ORCID:0000-0002-7145-7759)

Résumé : Cet article vise l'analyse de la structure du programme de chimie au Baccalauréat Marocain en termes de rapports didactiques entre contenus, activités, extraits des orientations pédagogiques, et compétences associées à l'enseignement de l'évolution des systèmes chimiques. Il s'agit d'identifier dans les orientations pédagogiques les savoirs à enseigner pour les trois thèmes de l'évolution des systèmes chimiques : Transformations chimiques non totales, équilibre chimique, et critère d'évolution spontané. Le cadre théorique sert du modèle de reconstruction didactique concernant l'analyse de la structure du contenu en termes d'élémentarisation du savoir pour aboutir à des idées clés (Duit, 2000), et sur le triangle de Johnstone (1993, 1999) repris par Kermen et Méheut (2009). Les compétences exigibles sont: détermination du caractère total ou non total d'une transformation chimique en calculant le taux d'avancement final, et la prédiction du sens d'évolution d'un système par le critère d'évolution.

La transformation non totale est mise en évidence par la mesure de pH, d'un avancement final x_f différent de l'avancement maximal x_{max} . L'écriture de l'équation de la réaction modélisante d'une transformation non totale est marquée par le symbolisme (\rightleftharpoons). L'expression du quotient de réaction Q_r en fonction des concentrations molaires des espèces dissoutes, pour un état du système, est donnée pour des systèmes aqueuses homogènes, puis généralisée aux systèmes hétérogènes. L'influence de la composition de l'état initial sur x_f est discutée. Une fois l'équation de la réaction chimique est fournie, les élèves devraient être en mesure de donner l'expression du quotient de réaction mise en jeu. Le critère d'évolution spontanée consiste à comparer le quotient de réaction du système dans l'état initial $Q_{r,i}$ et la constante d'équilibre relative à l'équation chimique mise en jeu $K=Q_{r,eq}$.

Cependant, l'intention de fournir une interprétation dynamique de l'état d'équilibre est affichée dans le programme sans que cette intention soit traduite par des compétences exigibles précises. Concernant la notion d'avancement, omniprésente tout au long du programme, elle n'est pas définie dans les documents officiels portant organiser l'enseignement de de l'évolution des systèmes chimiques au Baccalauréat Marocain.

Mots clés : Transformation chimique, réaction chimique, équilibre chimique, critère d'évolution spontané, élémentarisation du savoir.

Title: Didactic analysis of the chemistry curricula of Moroccan Baccalaureat : case of chemistry systems evolution

Abstract: This article aims to analyse the structure of the Baccalaureate classes chemistry program in Morocco in terms of didactic relationships between content, activities, educational guidelines extracts, and required skills associated to chemical systems evolution teaching. It is to identify in the pedagogical guidelines and official books program, the taught knowledge on three basic topics: "reversible chemical transformations", "Chemical equilibrium", and "Spontaneous evolution criterion". The theoretical framework is based on the didactic reconstruction model, concerning the content structure analysis in terms of knowledge elementarization, leading to key ideas (Duit, 2000), and on the Johnstone triangle model (1993, 1999) retaken by Kermen and Méheut (2009). The required skills for these themes: determining the total or reversible chemical transformation by calculating the final advancement, and the prediction of the system spontaneous evolution by the evolution criterion.

The reversible transformation is illustrated by pH measurement of a final advancement x_f different of the maximal one x_{max} . The equation reaction modeling the reversible transformation is displayed by symbolism (\rightleftharpoons). The reaction quotient Q_r expression versus the molar concentrations of dissolved species, for a given state of the system, is given for homogeneous aqueous systems, then generalized for heterogeneous systems. The composition influence of the initial state on x_f is discussed. Once the chemical reaction equation is provided, pupils should be able to give the expression of the reaction quotient. The spontaneous evolution criterion aims to compare the reaction quotient of the system in the initial state $Q_{r, i}$, and the equilibrium constant relating to the involved chemical equation $K = Q_{r, eq}$.

However, intentions to provide a dynamic interpretation of the equilibrium state is displayed without that these intentions have been translated into specific skills. The notion of advancement omnipresent along the program is not defined in the official documents, organizing the teaching of chemistry program in the Baccalaureate class.

Keywords: Chemical transformation, chemical reaction, knowledge elementarization, chemical equilibrium, spontaneous evolution criterion.

Contexte

La réforme des curricula constitue l'entrée stratégique de l'ensemble de la réforme du système enseignement/apprentissage; c'est dans ce contexte que la révision des programmes et la réforme du livre scolaire ont été mis au piédestal des chantiers privilégiés que le ministère de l'Éducation Nationale a ouverts au Maroc dans la dernière décennie. Pour accompagner les curricula, la réforme des livres scolaires mise en œuvre s'est articulée autour de plusieurs ruptures avec le passé, essentiellement l'ouverture de la concurrence pour la conception et la production des livres scolaires et la mise en place d'un processus de certification de la qualité des livres et de leur diversification. Malgré l'importance des réalisations accomplies au niveau des programmes et livres scolaires, ces réalisations restent encore fragiles; ce qui pourrait se manifester à travers certains dysfonctionnements relevés par leur confrontation au réel pédagogique.

Le développement des curricula renvoie au processus de transformation du curriculum énoncé en un curriculum en action; i.e. le curriculum prescrit

est inscrit dans celui mis en œuvre à l'école par l'action des enseignants, ne se matérialise et devient un curriculum réel que lorsqu'il est approprié par chaque élève. C'est dans le cadre du curriculum mis en œuvre et du curriculum réel que l'expertise professionnelle de l'enseignant (Marcelo, 2009) et l'efficacité des buts, assignés aux contenus stabilisés dans le curriculum prescrit, sont mises en jeu, en ce qui concerne les apprentissages effectifs réussis au niveau du curriculum réel.

Le concept fondamental qui structure un processus de développement des curricula est son orientation stratégique, i.e l'organisation d'un parcours d'enseignement-d'apprentissage, guidé par des buts curriculaires clairs, devant être pensé comme le plus approprié aux élèves en question, pour que ceux-ci puissent effectivement s'approprier des savoirs et devenir compétents dans différents domaines d'études. Le concept d'orientation stratégique suppose un processus d'autorégulation et d'inter-régulation permettant d'atteindre le succès souhaité. L'analyse didactique serait ainsi constituée comme un élément régulateur essentiel.

Dans cette perspective, il est utile de conduire une réflexion didactique, sur les programmes de chimie au lycée, en particulier ceux de la classe du Baccalauréat. Le présent travail vise alors deux finalités pédagogiques importantes : l'une est la mise au point didactique du nouveau programme afin de le rendre plus opérationnel et plus cohérent, l'autre est l'analyse de ce programme pour montrer certaines exigences, notamment en terme de précision des enjeux didactiques auxquels devrait satisfaire le curriculum de l'enseignement de la chimie au Baccalauréat marocain.

Introduction du nouveau programme

Tout d'abord, le cycle secondaire qualifiant (lycée) au Maroc compte trois niveaux : année de tronc commun, première année Baccalauréat (Bac1), et deuxième année Baccalauréat (Bac2) appelée terminale. Les programmes au lycée ont été modifiés dès la rentrée scolaire 2005 pour le Tronc Commun, puis en 2006 pour le Bac1, et enfin en 2007 pour la classe de Bac2. Le nouveau programme des sciences physiques mis en place pour la classe de Bac2 en septembre 2007, a pour trame commune aussi bien en physique qu'en chimie l'étude de l'évolution temporelle des systèmes. Le programme de chimie a proposé une approche renouvelée, à propos des transformations chimiques, qui explore l'évolution des systèmes chimiques.

L'étude de l'évolution des systèmes chimiques est amorcée dans les programmes de la Physique-Chimie dès le Tronc Commun, avec les notions d'états initial et final d'un système chimique en évolution. En effet, l'évolution d'un système chimique, dont la transformation est totale, est décrite dans le programme de Tronc commun comme une succession des états que traverse le système chimique; chaque état est caractérisé par les valeurs de différentes variables, en l'occurrence les quantités de matière des réactifs et produits exprimées par l'avancement à l'état initial, l'état intermédiaire, et l'état final caractérisé par l'avancement maximal x_m .

Ce thème développé en classe de Bac 2 sous l'aspect cinétique (Partie 1 du programme : Transformations rapides et transformations lentes d'un système chimique) et thermodynamique (Partie 3 du programme : Sens d'évolution d'un système chimique) constitue le fil directeur des

programmes de cette classe (sciences expérimentales, sciences et technologies). Dans le programme de chimie Bac2 est introduite une procédure systématique permettant la prévision et l'explication du sens d'évolution d'un système siège d'une transformation non totale, à l'aide de la comparaison du « quotient de réaction » du système avec la « constante d'équilibre ». A l'approche thermodynamique, s'ajoute une approche cinétique abordant le caractère dynamique des états d'équilibres chimiques.

Intentions didactiques des concepteurs de programmes

Dès la classe Tronc Commun, le programme préconise une distinction claire entre la transformation subie par le système chimique et la réaction chimique qui modélise cette transformation. C'est donc une différenciation nette entre le registre empirique et le registre de modèles, soit entre « transformation chimique d'un système » et « modélisation de la transformation par une réaction chimique », entre « description phénoménologique » et « description modélisante » selon les termes utilisés dès 2002 par les auteurs du programme de chimie en classe terminale en France (Davous et al., 2003). Ces auteurs reprennent une préoccupation déjà affichée par les auteurs des programmes antérieurs (Goffard, 1994) qui ont insisté sur l'importance accordée à la notion du modèle, notamment par le double regard macroscopique-microscopique et font référence à des activités devant développer ce double regard chez les élèves.

L'introduction du quotient de réaction permet de proposer un critère d'évolution à caractère très général (Davous et al., 2002). Les auteurs du programme de chimie en France ont insisté sur la différence à considérer entre « faits expérimentaux » et « modèles ». Il s'agit d'une préoccupation déjà affichée par les auteurs du programme précédent (Goffard, 1994). En effet, caractériser la différence entre faits et modèles pour les phénomènes chimiques se fait par l'introduction de deux notions différentes : la transformation chimique du système qui est une description des faits et la réaction chimique, symbolisée par l'équation de réaction, qui l'interprète. Il en résulte que les auteurs du programme de chimie en Bac2 au Maroc ont proposé une approche de l'évolution des systèmes chimiques différente de celle adoptée dans le programme précédent (1996), une approche toute semblable à celle adoptée à la rentrée 2002 dans le programme de chimie en classe terminale de France (Kermen, 2007; Kermen et Méheut, 2008).

Choix des thèmes à analyser

De point de vue didactique, la comparaison des contenus du programme de chimie du niveau Bac 2 à ceux enseignés dans les classes antérieurs au Maroc nous conduit à nous intéresser à trois thèmes constituant des nouveautés conceptuelles pour les élèves de cette classe. Ces thèmes sont : « Transformations chimiques non totales », « état d'équilibre d'un système chimique » et « critère d'évolution spontanée ».

Nous nous proposons de mener une analyse didactique (objectifs de connaissances et de raisonnement) du document officiel adopté par le ministère de l'éducation nationale (les programmes et les orientations pédagogiques, Novembre 2006) pour accompagner et organiser l'enseignement de la Physique-Chimie au Baccalauréat. Cette analyse a pour objectif de dégager les lignes directrices du programme de chimie en

Bac 2 et ses limites. Nous essayons alors de préciser comment de telles indications traduisent-elles les intentions des auteurs des programmes? En effet, cette analyse comporte les étapes suivantes :

- une présentation du contenu scientifique relevant du programme de chimie au Baccalauréat sur l'évolution des systèmes chimiques de points de vue thermodynamique et cinétique (le savoir de référence),

- une présentation du savoir à enseigner au niveau de ce programme à travers les différentes rubriques dont les compétences exigibles.

Avant d'aborder ces questions, nous précisons tout d'abord le cadre théorique de référence adopté tout au long de ce travail.

Cadre théorique de référence

Le modèle de reconstruction didactique (Educational Reconstruction) (Duit, 2000) peut être vu comme un cadre théorique qui permet de structurer l'élaboration et la validation de séquences d'enseignement. Ce modèle comporte trois composantes principales: l'analyse de la structure du contenu, la conduite des recherches empiriques, et l'élaboration de la séquence. Notre étude s'appuie sur le modèle de reconstruction didactique, en particulier l'analyse de la structure du contenu considérée par Duit (2000) comme une « élémentarisation » du savoir scientifique afin d'aboutir à des idées clés, permettant de comprendre les intentions des concepteurs du programme sur le thème étudié (évolution des systèmes chimiques).

Lors du processus de reconstruction didactique (élaboration du contenu à enseigner, programme), ces idées sont enrichies par des éléments du contexte en rapport avec les finalités de l'enseignement. Parmi les buts affichés de l'analyse du contenu, il y a la clarification du contenu enseigné qui permettrait, dans une perspective de reconstruction didactique (Duit et al., 2005), de mener des recherches sur les conceptions des élèves autre qu'en l'absence de cette analyse, ce qui va nous aider à suggérer ainsi une élaboration différente d'un environnement d'apprentissage.

D'autre part, la compréhension des intentions didactiques des auteurs du programme par un enseignant permet à celui-ci l'approfondissement du contenu disciplinaire, l'appropriation du programme, et ainsi la construction de nouvelles représentations du contenu à enseigner, surtout quand ce contenu est modifié de manière profonde.

Ce qui est donc en jeu est le développement de l'action d'enseigner dans chaque contexte de façon appropriée à la situation afin de maximiser le succès de l'apprenant face à chaque contenu du curriculum. Il est donc essentiel d'analyser, choisir, ajuster, différencier, pour pouvoir atteindre avec efficacité et meilleure qualité l'apprentissage curriculaire souhaité.

Enseigner est une action stratégique complète, guidée et régulée pour accomplir l'apprentissage souhaité. L'enseignant n'a pas à se demander sur l'organisation et la présentation du contenu pour qu'il soit clair et perceptible, mais, plutôt, sur la conception et réalisation d'une ligne d'action (présentation du contenu, organisé et coordonné avec d'autres dispositifs), avec les tâches, ressources, étapes pour faire en sorte que ces élèves apprennent précisément le contenu qu'il compte enseigner (Roldão, 2009).

L'un des inefficacités de l'enseignement dans le système portugais est l'incidence faible des pratiques d'enseignement dans le développement intentionnel des opérations cognitives plus complexes, comme celles exigeant une pensée analytique (Roldão et al., 2006; Roldão, 2017). La fragilité de la pensée analytique, suggérée dans les activités d'apprentissage des élèves, peut être perçue dans plusieurs matériaux de travail et dans les manuels scolaires ou, dans les tâches réalisées en classe, qui ont tendance à se concentrer sur la constatation au détriment des fondements soutenus ou de la formulation et de la preuve des hypothèses.

Dans l'enseignement scientifique, on doit distinguer entre la chimie du chimiste, la chimie à enseigner, la chimie enseignée, la chimie apprise par les élèves, et la chimie évaluée par le système didactique ou à l'extérieur dans le système d'enseignement et dans la société (Boilevin, 2013). En outre, les paradigmes du scientifique sont différents de ceux qui organisent une discipline scolaire, comme l'épistémologie des savoirs de référence est différente de celle des savoirs enseignés à l'école (Develay, 1995, 2014).

Les concepts scientifiques ou « savoirs savants » (Chevallard, 1985) sont mis en forme pour les rendre accessibles aux apprenants au prix d'une transformation en rapport avec l'âge et les acquis préalables des élèves. Cette contrainte de transmission a des incidences sur les savoirs enseignés (Perrenoud, 1998). Ainsi, l'évolution des systèmes chimiques comme tout concept scientifique est soumis à ce processus de transposition didactique.

Le présent travail a pour objectif d'explorer certaines composantes nécessaires au développement des connaissances pédagogiques du contenu relatif à l'évolution des systèmes chimiques au profit des enseignants, à savoir leur connaissance du contenu disciplinaire, leur perception des enjeux autour desquels s'articule le programme; ce qui pourrait remédier aux difficultés rencontrées par les élèves. L'enseignant n'a pas nécessairement conscience des enjeux que portent les nouveaux programmes, et donc des difficultés des élèves et de l'étayage à fournir pour leur permettre l'interprétation et l'utilisation correctes du langage chimique, que ces programmes voulaient mettre en place.

Selon Reid (2020), Johnstone a considéré que la nature de la chimie et d'autres sciences, cause tant de difficultés aux apprenants. Johnstone avait développé son modèle triangulaire [descriptive-macro, symbolism-representational, submicroscopic-interpretation (micro)] qui est un moyen utile pour guider les concepteurs de programmes et enseignants à rendre la chimie plus accessible aux apprenants. En développant ce modèle, il établit que c'est la façon dont les sciences sont présentées dans des programmes et manuels qui ont fait un problème majeur pour les apprenants.

S'appuyant sur le triangle de Johnstone (1993, 1999), Kermen et Méheut (2009) ont présenté quatre niveaux de savoirs en chimie en interaction: deux niveaux pour les modèles macroscopique et microscopique, un niveau empirique, et un niveau symbolique. Pour Taber (2013), le langage du chimiste autour de la réaction chimique est considéré comme un méta niveau permettant de travailler à la fois sur le macroscopique (substances) et sur le microscopique (particules) à partir des mêmes symboles. Cette imprécision considéré comme une richesse pour le chimiste engendre des difficultés pour les apprenants. Un élève peut être compétent à manipuler

une équation chimique sans comprendre les concepts sous-jacents et modèles associés (Talanquer, 2011). Considérant le niveau symbolique comme un niveau de savoir ou un méta niveau, l'apprentissage de la chimie sans un enseignement de son langage en lien avec les niveaux empirique, macroscopique et microscopique peut mettre les élèves en difficulté.

Plusieurs recherches se sont intéressées à la perception des intentions didactiques des auteurs des programmes par les enseignants. En France, Hirn (1995) et Couchoron et al. (1996) ont caractérisé l'écart important entre les intentions didactiques des auteurs des programmes et les représentations que se font certains enseignants ; ces auteurs ont montré aussi que les habitudes professionnelles chez ces enseignants constituent une limite, voir un handicap, à la perception des nouveautés lors de la modification des programmes. D'autres études didactiques sur les connaissances professionnelles des enseignants, notamment au niveau du contenu disciplinaire à enseigner ont été abordées. Martin del Pozo (1994) a proposé une définition du savoir professionnel nécessaire à l'enseignement d'un contenu (équilibres chimiques par exemple) comprenant trois aspects :

- la connaissance du contenu disciplinaire et du champ conceptuel qui lui est associé,
- la connaissance des conceptions des élèves pour définir les objectifs-obstacles,
- la connaissance du savoir scolaire déjà élaboré: le programme mis en jeu, les manuels scolaires et les documents pédagogiques contenant des innovations.

Martin del Pozo (2001) relie ces composantes à la notion de Pedagogical Content Knowledge (PCK), ou connaissances pédagogiques du contenu, due à Shulman (1986).

Nous nous sommes intéressés à développer une analyse didactique du programme de chimie au Baccalauréat, en particulier le contenu à enseigner en lien avec l'évolution des systèmes chimiques décliné en trois thèmes : « transformations non totales des systèmes chimiques », « état d'équilibre d'un système chimique » ainsi que « critère d'évolution spontanée ». Cette analyse consiste en un découpage du contenu scientifique d'une partie du programme en ses éléments clés (élémentarisation). Comme dans le début du processus de reconstruction didactique, nous cherchons à clarifier le contenu enseigné tout en essayant de croiser l'analyse de ce contenu avec les compétences exigibles qui constituent une forme de contraintes.

Cadre d'analyse d'un point de vue du contrat didactique

L'analyse didactique du programme de chimie du Baccalauréat consiste à étudier les délimitations que fixent les programmes et les orientations pédagogiques officielles au contenu à enseigner. Les programmes et les orientations pédagogiques relatifs à l'enseignement de la Physique-Chimie au Baccalauréat (Novembre 2006) comportent différentes rubriques dans lesquelles sont déterminés les contenus, les horaires, les exemples d'activités, et les compétences exigibles. Ces rubriques visent à préciser le savoir à enseigner au sens de Chevallard (1985). En effet, la réglementation du Baccalauréat stipule que seraient évaluées les compétences exigibles

contenues dans les programmes et les orientations pédagogiques officielles. C'est dans ce sens que nous pouvons parler d'une contrainte institutionnelle qui pèse fortement sur le contrat didactique (Brousseau, 2002).

Le Baccalauréat, examen national à sujet unique pour tous les élèves marocains, constitue donc une contrainte institutionnelle. De ce fait, les enseignants sont tenus d'une part d'enseigner ce qui correspond aux compétences exigibles figurant dans les programmes et les orientations pédagogiques et d'autre part de vérifier si les élèves les avaient acquises. Autrement dit, enseigner ces compétences exigibles constitue alors une obligation pour les enseignants vis-à-vis des élèves. Pour apporter des éclairages sur cette question, nous essayons, à travers cette analyse didactique, de préciser quels contenus feraient l'objet de compétences exigibles et lesquels ne le sont pas.

Analyse didactique du programme en rapport avec l'évolution des systèmes chimiques

Après le cadre d'analyse, nous présentons l'analyse du contenu du programme de chimie de la classe de deuxième année Bac en rapport avec l'évolution des systèmes chimiques selon deux lignes directrices différentes.

Commençons par présenter le contenu du programme sous l'angle du contrat didactique en précisant les commentaires/orientations pédagogiques et les compétences exigibles, puis nous allons enchaîner par la présentation des notions « transformations non totales d'un système chimique », « état d'équilibre d'un système chimique » et « critère d'évolution spontanée » que l'on considère comme le fil conducteur du programme de chimie du Bac 2 (sciences expérimentales et sciences et technologies) au Maroc.

Lignes directrices de l'analyse

Les programmes et orientations pédagogiques officiels (Novembre 2006) relatifs à l'enseignement de chimie en classe de Bac renferment différentes rubriques contenant chacune: contenus, activités proposées, compétences exigibles et commentaires/orientations pédagogiques. Ces orientations précisent certaines limites de la rubrique « contenus » ou explicitent la forme que doivent prendre ces contenus (expression du quotient de réaction par exemple); les activités sont expérimentales, sous forme de documentation ou d'utilisation de TICE. Les compétences exigibles comportent des définitions (par exemple la définition d'un acide ou d'une base selon Brønsted), des connaissances de faits (savoir qu'un système évolue spontanément vers un état d'équilibre), des savoir-faire théoriques (détermination de la constante d'équilibre associée à l'équation d'une réaction acido-basique à l'aide des constantes d'acidité des couples en présence) et des compétences expérimentales.

Cette étude s'intéresse aux parties du programme portant sur l'évolution spontanée des systèmes chimiques, et non plus aux transformations forcées traduites dans le programme par l'électrolyse. La lecture du programme et l'analyse du savoir de référence nous ont amenés à structurer l'analyse autour de trois thèmes, présentant certains recoupements qui sont:

- Transformations non totales d'un système chimique (Partie 2 du programme : Chapitre 3)

- Etat d'équilibre d'un système chimique (Partie 2 du programme: Chapitre 4)

- Critère d'évolution (Partie 3 du programme : Chapitre 6).

Cette analyse nous amène à préciser des notions-clés pour l'étude des différentes rubriques du programme de chimie au Baccalauréat.

Structure générale du programme

Les programmes de physique-chimie au Baccalauréat portent sur un thème commun, l'évolution temporelle des systèmes. En chimie, ce thème s'intéressant à l'évolution des systèmes chimiques apparaît dès la classe Tronc commun où l'étude des transformations totales comporte la définition d'un système chimique, les états d'un système et la notion de l'avancement qui permet de décrire l'évolution de ce système.

Dans la classe de Bac 1, l'étude de l'évolution des systèmes se poursuit essentiellement par des titrages mettant en jeu des réactions « acido-basiques » et « oxydo-réduction »; cette étude ne tient compte que des transformations chimiques totales sans pour autant étudier l'aspect cinétique de ces transformations.

Dans la classe de Bac 2, le thème « évolution temporelle des systèmes » donne lieu à quatre sous-thèmes constituant les quatre parties du programme de chimie, décrites comme suivant :

Partie 1 : Transformations rapides et transformations lentes d'un système chimique (Horaire : 8 heures).

Partie 2 : Transformations non totales d'un système chimique (Horaire : 13 heures)

Partie 3 : Sens d'évolution d'un système chimique (Horaire : 8 heures)

Partie 4 : Comment contrôler l'évolution des systèmes chimiques (Horaire : 9 heures pour le programme de SVT-AGR-STE-STM et 12 heures pour le programme MAT-PC)

La partie 1 s'intéresse à l'étude cinétique des transformations chimiques et renferme deux chapitres :

- Chapitre 1 : Transformations rapides et transformations lentes.

- Chapitre 2 : Suivi temporel d'une transformation chimique-vitesse de réactions.

La partie 2 comporte l'introduction des transformations non totales en lien avec les états d'équilibre chimique, à travers trois chapitres:

- Chapitre 3 : Transformations chimiques s'effectuant dans les deux sens.

- Chapitre 4 : Etat d'équilibre d'un système chimique.

- Chapitre 5 : Transformations associées à des réactions acido-basiques en solutions aqueuses.

La partie 3 est une contribution à la mise en place d'un critère d'évolution spontanée, à l'étude de piles et d'électrolyses ; elle renferme les trois chapitres suivants:

- Chapitre 6 : Evolution spontanée d'un système chimique.
- Chapitre 7 : Transformations spontanées dans les piles et récupération d'énergie.
- Chapitre 8 : Exemples de transformations forcées.

Il s'est avéré que la troisième partie du programme a un aspect plus au moins thermodynamique alors que la partie 1 est d'un aspect cinétique.

Quant à la partie 4, elle porte sur des exemples de transformations prises en chimie organique et s'intéresse essentiellement au contrôle de l'évolution des systèmes chimiques. Cette dernière partie du programme de chimie au Baccalauréat comporte deux chapitres qui sont les suivants :

- Chapitre 9 : Réactions d'estérification et d'hydrolyse
- Chapitre 10 : Contrôle de l'évolution d'un système par changement de réactif.

Cette partie a pour objectifs affichés, au niveau des manuels scolaires et des programmes et orientations pédagogiques, la connaissance que le choix d'un réactif permet, dans certains cas, de contrôler l'évolution d'un système chimique aussi bien au niveau de la vitesse (aspect cinétique des transformations) qu'au niveau du rendement (passage d'une transformation non totale à une transformation totale par le changement d'un réactif).

Ainsi, nous pouvons dégager certaines observations importantes concernant la structure générale ainsi que le contenu du programme en rapport avec la présentation des trois principaux thèmes retenus (transformations non totales, état d'équilibre chimique, critère d'évolution) :

- Transformations non totales: Il s'agit de spécifier dans quel cas on doit utiliser le terme « transformation chimique » et « réaction chimique ». Nous empruntons cette distinction au programme de chimie de Tronc commun en application au Maroc depuis 2005. Cette distinction a été explicitée par les auteurs des programmes mis en application en France dès 2000 (Davous et al, 1999). En effet, une transformation chimique correspond à l'évolution d'un système chimique d'un état initial à un état final, et une réaction chimique est le modèle théorique qui permet d'expliquer cette évolution. La réaction chimique ne concerne que les espèces chimiques, effectivement consommées (réactifs) ou qui apparaissent (produits); elle est symbolisée par une équation chimique. En Tronc commun et Bac 1, le choix didactique-institutionnel ne traite que les transformations simples, modélisées par une seule réaction chimique. Les transformations mises en jeu sont totales.

La notion d'avancement et l'utilisation du tableau d'avancement sont enseignées en classes de tronc commun et de première année Baccalauréat pour déterminer quantitativement la composition finale du système à partir de sa composition initiale et de l'équation de réaction chimique associée à la transformation totale mise en jeu.

Au niveau de Bac 2, les transformations chimiques non totales sont présentées au début de la partie 2 du nouveau programme de chimie sous forme de transformations chimiques pouvant s'effectuer dans deux sens, avec un avancement final qui n'est toujours pas égale à l'avancement maximal, mais il y est inférieur dans les transformations non totales où des

équilibres chimiques se sont établis; l'interprétation adoptée indique que les réactions ont lieu dans les deux sens. Les exemples proposés comportent des systèmes fermés homogènes et hétérogènes. Les transformations non totales sont aussi abordées dans les parties 3 et 4 de ce programme.

- Equilibre chimique: cette notion est rencontrée dans le programme à plusieurs reprises. L'état d'équilibre est tout d'abord introduit dans la partie 2 du programme, notamment dans le deuxième chapitre de cette partie, soit le quatrième chapitre du programme. Dans ce chapitre, l'état d'équilibre se présente comme étant un état final d'évolution d'un système pour lequel l'avancement n'atteint pas un éventuel avancement maximal. Deux nouvelles grandeurs sont alors définies: le quotient de réaction Q_r et la constante d'équilibre K (ou le quotient de réaction à l'équilibre $Q_{r,eq}$). L'état d'équilibre est caractérisé comme un état final pour lequel le quotient de réaction est égal à la constante d'équilibre relative à l'équation chimique.

Alors que dans la partie 2, l'étude menée dans le programme ne concernait que des systèmes qui renferment, à l'état initial, seulement les « réactifs », on constate que dans la partie 3, l'étude s'est élargi à des systèmes comprenant initialement toutes les espèces chimiques. Le mélange de toutes espèces chimiques à l'état initial a pour objectif de mettre en évidence l'évolution spontanée d'un système chimique et la prévision du sens d'évolution. Dans la partie 4 du programme est abordée l'étude de l'estérification-hydrolyse qui apporte des exemples concrets à propos des équilibres chimiques dans le domaine de la chimie organique.

- Critère d'évolution spontanée: Le critère d'évolution spontanée est introduit dans le premier chapitre de la partie 3, soit le chapitre 6 du programme, en vue de faire une comparaison entre le quotient de réaction du système dans l'état initial $Q_{r,i}$ et la constante d'équilibre relative à l'équation chimique mise en jeu $K = Q_{r,eq}$.

Dans ce paragraphe sont utilisés les systèmes chimiques mettant en jeu, initialement, toutes les espèces chimiques; les exemples traités ici portent sur des transformations acido-basiques et d'oxydoréductions relatives aux systèmes homogènes et hétérogènes, comportant initialement toutes les espèces figurant dans l'équation chimique.

Le critère d'évolution est ensuite utilisé dans la partie 3 du programme pour prévoir le sens du courant électrique pour les piles électrochimiques, puis pour aborder la notion de transformations forcées, introduite et appliquée à des électrolyses.

En outre, le critère d'évolution est qualitativement utilisé dans la partie 4 du programme concernant l'estérification-hydrolyse pour illustrer et expliquer un tel déplacement d'état d'équilibre.

Liens entre contenus, activités et compétences

Les tableaux (1, 2, 3.a-b) présentent les contenus des différentes parties du programme de chimie au Baccalauréat en lien avec les thèmes étudiés, des activités proposées, des extraits d'orientations relatives à ces contenus, et les compétences exigibles associées. Comme le montre la structure générale du programme présentée auparavant, les transformations non totales et l'état d'équilibre sont introduits, dans le chapitre 3 (Partie 2 du



programme) intitulé « transformation chimique s'effectuant dans les deux sens ». L'introduction de la transformation non totale s'est effectuée de manière expérimentale en mettant en évidence, par la mesure de pH, d'un avancement final x_f différent de l'avancement maximal x_{max} . L'écriture de l'équation de la réaction modélisante d'une transformation non totale est marquée par l'introduction d'un nouveau symbolisme: le signe

Il s'agit, à ce stade, d'une part d'introduire le taux d'avancement final d'une réaction qui est le rapport de l'avancement final et de l'avancement maximal, et d'autre part de donner une interprétation, d'un point de vue cinétique, à l'échelle microscopique de l'état d'équilibre. L'interprétation adoptée ici s'effectue en termes de chocs efficaces entre entités réactives d'une part et entités produites d'autre part, dans le cadre d'une « modélisation d'un état d'équilibre dynamique à l'échelle microscopique ».

Comme le montre le tableau 1, l'interprétation microscopique de l'état d'équilibre n'est associée à aucune compétence exigible contrairement aux autres contenus du chapitre 3 (Partie 2 du programme) auxquelles sont associées certaines compétences exigibles telles que :

- Savoir écrire de l'équation de la réaction associée à une transformation acido-basique, avec la connaissance des deux couples acide/base qui interviennent dans cette réaction.

- Définir pH des solutions aqueuses diluées et savoir mesurer sa valeur par pH-mètre.

- Connaître la concentration et la valeur du pH d'une solution d'acide, calculer l'avancement final de la réaction de cet acide sur l'eau et le comparer à l'avancement maximal

- Connaître la définition du taux d'avancement final et le déterminer à partir d'une mesure.

Quant aux orientations associées à ces contenus, elles indiquent :

- L'importance de différencier, en classe Bac 2, entre les concentrations des espèces solubles pour un système chimique à l'état initial et l'état final.

- Comment montrer qu'une telle transformation n'est pas totale à partir d'une mesure de pH.

- Comment montrer, à partir des expériences complémentaires de mesures de pH consécutives à l'addition d'une goutte d'acide éthanóique pur ou d'éthanoates de sodium, que la réaction chimique en jeu s'effectue dans deux sens, ce qui justifie l'utilisation d'un symbole symétrique \rightleftharpoons .

- La justification de l'introduction du taux d'avancement par la plus grande facilité à comparer, à concentration identique, les acides - respectivement les bases- entre eux ; ce qui permet d'une part de s'affranchir de la concentration initiale des espèces dissoutes et d'autre part de rendre les interprétations plus aisées.

L'état d'équilibre est ensuite développé dans le chapitre 4 (Partie 2 du programme) qui s'intitule « Etat d'équilibre d'un système ». La définition ainsi que l'expression littérale du quotient de réaction Q_r , en fonction des concentrations molaires des espèces dissoutes, pour un état donné du

système, sont données pour des systèmes homogènes en solution aqueuse puis généralisée pour des systèmes hétérogènes.

La détermination de la valeur de ce quotient dans l'état d'équilibre $Q_{r,eq}$ mène à définir la constante d'équilibre $K = Q_{r,eq}$ associée à l'équation d'une réaction à une température donnée. En outre l'influence de la composition de l'état initial sur le taux d'avancement final est traitée. En effet, une fois l'équation de la réaction chimique est fournie, les élèves devraient être en mesure de donner l'expression littérale du quotient de réaction mise en jeu.

Les mesures conductimétriques entreprises dans ce paragraphe ont pour objectif d'une part de déterminer la valeur du quotient de réaction dans l'état d'équilibre et d'autre part de mettre en évidence expérimentalement le caractère constant de ce quotient à l'état d'équilibre ($Q_{r,eq}=K$). Par ailleurs, la dépendance de la constante d'équilibre de la température est signalée sans pour autant aller jusqu'à le justifier expérimentalement.

Les contenus de ce chapitre sont accompagnés de certaines compétences exigibles :

- Utiliser la relation qui lie la conductance G et les concentrations molaires des ions existant dans une solution.

- Savoir que les quantités de matière n'évoluent plus lorsque l'état d'équilibre est établi, et que cet état d'équilibre est dynamique.

- Donner à partir de l'équation de réaction l'expression littérale du quotient de réaction Q_r .

- Savoir que dans l'état d'équilibre d'un système le quotient de réaction à l'état d'équilibre $Q_{r,eq}$, prend une valeur, indépendante des concentrations, appelée constante d'équilibre associée à l'équation de réaction.

- Savoir que le taux d'avancement final d'une transformation donnée dépend de la constante d'équilibre et de l'état initial du système chimique.

Les recommandations officielles associées à ces contenus donnent la définition du quotient de réaction Q_r , indiquent que seuls les concentrations molaires des espèces dissoutes interviennent dans l'expression de ce quotient qui n'a pas de dimension (pas d'unité), et précisent que la valeur de Q_r est constante, à l'état d'équilibre, quel que soient les état initiaux du système chimique. De ce fait, le quotient de réaction à l'état d'équilibre est identifié à la constante d'équilibre ($Q_{r,eq} = K$).

Le critère d'évolution est ensuite introduit dans le chapitre 6 (Partie 3 du programme) sous le thème « Evolution spontanée d'un système chimique ». Ce chapitre s'articule autour de deux points : le critère d'évolution spontanée dont l'énoncé est : « Au cours du temps la valeur du quotient de réaction Q_r tend vers la constante d'équilibre K », et l'illustration de ce critère sur des réactions acido-basiques et des réactions d'oxydo-reduction.

Les recommandations officielles indiquent que la constante d'équilibre K ne permet pas de prévoir le sens d'évolution spontanée d'un système chimique; c'est pourquoi elles explicitent le critère d'évolution sous la forme d'une comparaison du quotient de réaction Q_r avec la constante d'équilibre K , tout en détaillant les différents cas possibles (inégalités, égalité) ; mais en ne tenant compte d'aucune considération cinétique. Il est alors possible

donc de connaître le sens d'évolution d'une réaction en disposant des concentrations molaires des espèces dissoutes dans l'état initial.

A noter que la constante d'équilibre n'a aucun sens s'elle ne soit pas associée à une réaction chimique. En effet, l'énoncé du critère d'évolution s'accompagne de certaines compétences telles :

- En disposant de la réaction chimique, l'élève devrait être en mesure de donner l'expression littérale du quotient de réaction et de calculer sa valeur dans un état donné du système.

- Savoir qu'un système chimique évolue spontanément vers un état d'équilibre.

- Déterminer le sens d'évolution d'un système donné en comparant la valeur du quotient de réaction dans l'état initial à la constante d'équilibre, dans le cas de réactions acido-basiques et d'oxydoréduction.

Les notions de transformations non totales, équilibre chimique, et critère d'évolution spontanée sont encore réinvesties en chimie organique, dans la quatrième partie du programme dont le thème est : « comment contrôler l'évolution des systèmes chimiques ».

Le chapitre 9 « Réactions d'estérification et d'hydrolyse » de cette partie traite des transformations non totales dans la chimie organique ainsi qu'une illustration du critère d'évolution dans ce nouveau contexte. Dans ce paragraphe, sont introduits certains contenus essentiels : tout d'abord la formation d'un ester à partir d'un acide et d'un alcool ainsi que l'équation de la réaction chimique correspondante, puis l'hydrolyse d'un ester et l'équation de la réaction chimique qui lui est associée ; enfin la mise en évidence expérimentale d'un état d'équilibre chimique dans le cas des transformations mettant en jeu les deux réactions d'estérification et d'hydrolyse. Après, il y avait certaines généralités telles la définition du rendement et du catalyseur, le contrôle de la vitesse d'une réaction chimique (température, catalyseur) et de l'évolution de l'état d'un système que ce soit par l'ajout d'un réactif ou par l'élimination d'un produit.

Ces contenus sont accompagnés de certaines compétences exigibles ; lesquelles portent essentiellement sur :

- L'écriture de l'équation des réactions d'estérification et d'hydrolyse,

- Savoir que les réactions d'estérification et hydrolyse sont inverses l'une de l'autre, et les transformations chimiques liées à ces réactions sont lentes,

- Savoir que l'excès de l'un des réactifs et /ou l'élimination de l'un des produits déplace l'état d'équilibre du système dans le sens direct. Il s'agit donc de proposer différents contrôles de l'état d'un système, dont l'élimination d'un produit ou l'excès d'un réactif.

Le chapitre 10 (Partie 4 du programme) est consacré à l'étude de « Contrôle de l'évolution d'un système par changement de réactif ». Il s'agit de réaliser la synthèse d'un ester à partir d'un anhydride d'acide et d'un alcool, l'hydrolyse basique d'un ester et d'en donner certaines applications : saponification des composés gras et synthèse de savon, et en fin l'illustration de la relation structures-proprietes sur des exemples choisis.

Ces contenus sont accompagnés de compétences exigibles, que devraient être retenus par les élèves, dont certaines sont citées comme suivant :

- Calcul du rendement d'une transformation chimique,
- Ecriture de l'équation de la réaction d'un anhydride d'acide avec un alcool et l'équation d'hydrolyse basique d'un ester,
- Savoir que la réaction d'un anhydride d'acide avec un alcool, donnant un ester, est une réaction rapide (contrôle de vitesse) et que l'avancement de réaction est maximal, soit donc une transformation totale (contrôle de l'évolution de l'état du système).

Les commentaires associés à cette partie concernant le contrôle de l'évolution d'un système indiquent que cette étude est l'occasion d'une utilisation qualitative du critère d'évolution. Il s'agit d'un raisonnement qualitatif permettant d'amener l'élève à concevoir que l'ajout d'un des réactifs ou l'élimination d'un des produits entraîne la diminution du quotient de réaction, et ainsi le déplacement de l'état d'équilibre dans le sens direct.

D'autre part, l'utilisation de l'anhydride d'acide au lieu d'un acide, permet d'améliorer le rendement ainsi que la vitesse de la réaction d'estérification, ce qui donne une transformation chimique totale et rapide. Par ailleurs, la synthèse du savon est utilisée, comme exemple, pour l'illustration d'une réaction d'hydrolyse des esters dans un milieu basique ; il serait donc une occasion pour exploiter la relation structures-propriétés que les élèves ont déjà vues lors de l'étude des solutions électrolytiques et de l'influence des chaînes carbonique sur les propriétés physiques des produits organiques.

Discussion

Considérant le triangle de Johnstone (1993, 1999) et les niveaux de savoirs en chimie de Kermen et Méheut (2009), l'analyse didactique du programme de chimie en rapport avec les différentes thèmes étudiées en termes de contenus, activités, et compétences exigibles illustrés dans les tableaux 1, 2, 3a-b, permet de conclure que les quatre niveaux macroscopique, microscopique, empirique, et symbolique avaient fait l'objet des intentions des concepteurs du programme de deuxième année Baccalauréat Marocain, avec bien sûr des différences notées entre l'importance des quatre niveaux pour les trois thèmes étudiés.

Cependant l'analyse a montré quelques disparités entre certaines intentions affichées et compétences exigibles, au niveau microscopique. Ces intentions didactiques exprimées par les auteurs de ce programme ne font pas l'objet de savoirs à évaluer dans la classe de Bac2, i.e. que quelques contenus du programme ne sont pas accompagnés de compétences exigibles à évaluer au niveau microscopique, ce que Johnstone (1999) avait indiqué dans son triangle par « sub-microscopic, interpretation level ».

Par exemple pour le thème « Transformations non totales d'un système chimique » (tableau 2), le contenu portant sur « l'interprétation à l'échelle microscopique de l'état d'équilibre en considérant les chocs efficaces entre espèces réactives d'une part et espèces produites d'autre part » n'est pas associé à aucune compétence exigible. L'utilisation des modèles cinétiques n'est pas imposée, et le double regard « macroscopique-microscopique » n'est pas alors valorisé. A cet égard, Johnstone avait observé que la chimie

est construite sur trois niveaux de pensée, qui se sont avérés beaucoup plus important pour acquérir une compréhension lors de l'étude de la chimie.

En outre, les commentaires dans les extraits des orientations pédagogiques du programme de chimie Bac n'indiquent pas clairement que le modèle utilisé dans les classes antérieures, pour représenter les transformations chimiques totales, est modifié lorsque le champ empirique s'élargit aux transformations non totales et que, à l'état d'équilibre chimique, la distinction entre transformation et réaction, entre avancement final x_{final} pour transformation non totale et avancement maximal pour transformation totale x_{max} , prend un nouveau relief. Le taux d'avancement maximal est introduit directement dans la définition et l'expression du taux d'avancement final d'une réaction $\tau = x_{\text{final}}/x_{\text{max}}$ ($\tau < 1$) pour étudier les transformations spontanées et le sens d'évolution du système chimique. Cela peut engendrer des ambiguïtés chez les apprenants au niveaux symbolique et microscopique, soit les niveaux symbolisme (representational) et sub-microscopique (interpretation) selon le triangle de Jhonstone (1999).

Dans ce contexte, nous avons étudié les difficultés des élèves marocains (18-19 ans) de deuxième année Baccalauréat pour résoudre les problèmes d'équilibre chimique liés à la réactivité des ions éthanoate avec l'eau et l'acide méthanoïque, et à la pile cuivre-aluminium, siège d'une transformation spontanée, pour s'approprier les objets de savoirs liés aux titrations acido-basiques, et d'autres concepts chimiques (Ouasri, 2016, 2017, 2019 ; Ouasri et El Mhammedi, 2018). Ces travaux ont montré que plusieurs élèves éprouvent des difficultés en résolution de problèmes chimiques qui sont dues à la non compréhension des concepts chimiques fondamentaux, et des phénomènes chimiques dans les niveaux symbolique, microscopique, et macroscopique ; cela a été mis en évidence dans les problèmes portant sur la réactivité acido-basique reactivity, et la pile Cuivre-Aluminium (Ouasri, 2017). Le manque de prérequis sur l'expression et le calcul de l'avancement maximal, l'avancement final, le quotient de réaction, nécessaires pour traiter les transformations et leur évolution spontanée, a été mis en évidence comme une difficulté majeure.

Ainsi, nous pouvons dire qu'une simple comparaison des contenus du programme de Bac 2 à ceux relatif aux programmes des classes antérieures permet de dégager certaines remarques et de soulever quelques problèmes. Un exemple illustratif de ces problèmes concerne la notion de la transformation d'un système chimique qui se distingue des deux réactions chimiques (directe et inverse) permettant de la modéliser. La présente étude montre que les auteurs du programme de chimie de Bac 2 ne mettent pas cet aspect en lumière alors qu'ils l'avaient fait dans le programme de Tronc commun. Ce qui pose un problème : Est ce que cette distinction est prise en considération par les enseignants lorsqu'il est question de l'évolution du système chimique ou de son arrêt. En effet, la transformation chimique est terminée alors que la conception des deux réactions chimiques opposées ayant la même vitesse permet d'expliquer l'absence d'évolution du système en dépit de la présence de toutes réactifs chimiques.

Certaines notions semblent être plus explicitées que d'autres. L'introduction du critère d'évolution s'accompagne de développements précis, et de consignes claires quant aux capacités à évaluer, surtout de

point de vue thermodynamique. Ce qui permet de dire que le thème/enjeu « évolution et critère » apparaît clairement affirmé, puisque l'évolution des systèmes en général est considéré comme le fil conducteur du programme de physique et de chimie, tandis que les autres thèmes « transformations et réactions » et « équilibre et modèles » sont moins affirmés.

Comme dans le début du processus de reconstruction didactique et dans la première phase de l'ingénierie didactique, nous avons cherché à travers cette mise en oeuvre didactique du programme de chimie au Baccalauréat à en clarifier le contenu enseigné tout en essayant de croiser l'analyse de ce contenu avec les activités proposées, les compétences exigibles, et les extraits des orientations à suivre dans l'enseignement de ces thèmes.

L'analyse montre certaines contraintes didactique, épistémologique, et institutionnelle. Dans la présente étude, on ne s'intéresse qu'à la dimension didactique sans pour autant toucher ce qui est épistémologique ou institutionnel, sauf pour quelques disparités soulevées sur les compétences à évaluer face aux intentions affichées par les concepteurs du programme.

Problématique : pédagogie par compétences ou par objectifs

Dans la rubrique « Eléments du contenu », les concepteurs du programme de chimie au Baccalauréat se sont contentés d'énumérer les grandes lignes ou les titres du contenu enseignable, sans qu'il y ait parfois des spécifications qui pourraient enchaîner les éléments du contenu dans une approche constructiviste, surtout que les documents officiels « programmes et orientations pédagogiques » pour l'enseignement de la Physique-Chimie dans le cycle secondaire qualifiant insistent sur l'approche par activités ou par compétences. Comme signalé auparavant, le temps imposé par le programme de chimie au Baccalauréat est insuffisant pour assurer un enseignement par activités/compétences. D'ailleurs, tout retard dans l'accomplissement du programme est généralement mal vu par l'administration ou par les inspecteurs. Comment dans les conditions imposées, les élèves peuvent-ils acquérir leurs connaissances/savoirs? Est les enseignats sont-ils conscients des niveaux de pensée évoqués par Jhonstone (1999) et Kerman(2009) pour qu'ils puissent faire entraîner les apprenants à ce va et vient entre les niveaux empirique, macroscopique, microscopique, et symbolique. Comment les concepteurs de ce programme peuvent-ils prétendre que le programme est basé sur des principes constructivistes ou socioconstructivistes?

Dans la rubrique « Activités proposées », nous dégagons ensemble de recommandations d'activités expérimentales ou de modélisations qui sont en rapport avec certains éléments du contenu à enseigner. Ces activités sont proposées afin de permettre aux apprenants de construire les connaissances et les concepts que contient la rubrique « contenus ». Or, réaliser une activité expérimentale ou de modélisation en classe constitue-t-elle une situation problématique? A noter que les documents officiels accordent une place importante à la situation-problème, au niveau de l'introduction des programmes et des orientations pédagogiques relatifs à l'enseignement de Physique-Chimie en classe de Tronc Commun (Mars 2005).

Dans les pratiques enseignantes, et vue la non suffisance de l'horaire imposé par le programme, est ce que tous les professeurs s'efforcent

d'enseigner par les activités proposées en vue de pousser leurs élèves à construire les compétences exigibles ou ils se contentent de transmettre des connaissances exposées dans les livres scolaires comme étant des vérités absolues sans émettre au moins des hypothèses ou des questionnements. De telles pratiques restent éloignées de toute forme de constructivisme.

Dans la rubrique « Compétences exigibles associées », bien que les documents officiels, programmes et orientations pédagogiques, s'affirment de constructivisme, l'approche par compétences y paraît parfois confondue avec l'approche béhavioriste : dans une perspective constructiviste, la compétence ne peut pas se réduire à des objectifs opérationnels comportementalistes comme c'est le cas de certains objectifs signalés dans cette rubrique du programme. Le concept de compétence subit encore une forte influence de la pédagogie par objectifs, et ne s'en sépare pas au moins jusqu'à maintenant. Ce concept n'appartient à aucun courant épistémologique ; il peut être utilisé dans une perspective constructiviste ou dans une perspective comportementaliste.

Dans cette rubrique, les concepteurs du programme se sont contentés d'énoncer une liste de « compétences » sans s'intéresser aux situations (situations-problèmes ou situations problématiques ouvertes) auxquelles font référence. L'absence, dans les programmes de chimie au Baccalauréat, de rapports clairs entre de telles situations et les activités que doivent faire les apprenants fait que ces programmes sont caractérisés à la fois par une pédagogie par objectifs comportementalistes et par une approche constructiviste. Selon Jonnaret et al. (2005) : l'activité et la situation sont incontournables dans une logique curriculaire de compétences. Toute compétence est par nature fonction de l'activité de la personne en situation.

Conclusion et implications

L'analyse du savoir à enseigner dans le programme de chimie au Baccalauréat est effectuée selon un aspect didactique, en déterminant dans quelle mesure les intentions affichées par les auteurs des programmes se sont traduites dans ce programme, en particulier en termes des contenus, activités, compétences exigibles, et extraits des orientations pédagogiques.

Nous avons relevé la rigueur apportée par ce programme à la détermination du caractère total ou non d'une transformation chimique avec le calcul du taux d'avancement final, à la détermination du sens d'évolution d'un système avec le critère d'évolution, thèmes qui ont fait l'objet de compétences exigibles claires. Une intention de fournir une interprétation dynamique au niveau microscopique de l'état d'équilibre est affichée sans que cette intention soit traduite par des compétences exigibles précises.

Au cours de la deuxième année du Baccalauréat, les élèves seraient donc amenés à découvrir que les réactions chimiques ne parviennent pas nécessairement à l'état d'avancement maximal compatible avec l'état initial du système et que la réaction pourrait avoir lieu dans les deux sens. La notion d'avancement est omniprésente tout au long du programme de chimie au Baccalauréat, mais elle n'est pas définie dans les documents officiels (les programmes et les orientations pédagogiques, Novembre 2006) qui organisent didactiquement l'enseignement de la chimie au Baccalauréat.

L'analyse et la clarification du contenu enseigné permettent dans une perspective de reconstruction didactique de mener des recherches didactiques sur les conceptions des élèves afin de contribuer à l'élaboration des environnements et des séquences d'apprentissage aussi pertinents. Une étude plus approfondie au niveau épistémologique de ces thèmes est en cours de préparation, elle sera publiée dès qu'elle soit achevée.

Références

Boilevin, J.-M. (2013) *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques*. Bruxelles : de Boeck.

Brousseau, G. (2002). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques*. <http://perso.orange.fr/daest/guy-brousseau>.

Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*, Grenoble : La Pensée Sauvage.

Couchoron, M., Viennot L., et Courdille J.-M. (1996). Les habitudes des enseignants et les intensions didactiques des nouveaux programmes d'électricité en classe de quatrième; *Didaskalia*, 8, 81-96. <http://hdl.handle.net/2042/23777>

Davous, D., Feore, M. C., Fort, L., Leveque, T., Mauhourat M. B., Perchard, J. P. et Jullien, L. (1999). Transformations chimiques d'un système, le modèle de la réaction chimique, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 93, 1-35.

Davous, D., Dumont, M., Feore, M.-C., Fort, L., Gleize, R., Mauhourat, M.-B., et Zobiri, T. (2002). À propos des nouveaux programmes en terminale S Questions/réponses, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 96, 846, 21-32. <http://agregation.capes.free.fr/bup/sommaires-2002bup.htm>

Davous, D., Dumont, M., Feore, M.-C., Fort, L., Gleize, R., Mauhourat, M.-B., Zobiri, T., Jullien L. (2003). Les nouveaux programmes de chimie au lycée, *L'Actualité chimique*, 263, 31-44. <https://new.societechimiquedefrance.fr/numero/les-nouveaux-programmes-de-chimie-au-lycee-p31-n263>

Develay, M. (1995) *Savoirs scolaires et didactique des disciplines. Une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris : ESF.

Develay, M. (2014) *Donner du sens aux savoirs*. Communication personnelle, Journée d'étude du Cripedis et du Cecafof, Université catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve.

Duit, R. (2000). *A model of educational reconstruction as a framework for designing and validating teaching and learning sequences*, Paper presented at the International Symposium "Designing and validating Teaching-learning Sequences in a Research perspective", Paris, November 23-25.

Duit, R., Gropengieber, et H., Kattman, U. (2005). *Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction*, in Hans E.

Fisher (Ed) (2004). *Developing Standards in Research on Science Education*, the ESERA Summer School, London, Taylor & Francis, 1-9.

Goffard, M. (1994). Des programmes de chimie à leur mise en oeuvre, *Didaskalia*, 3, 129-137. <http://hdl.handle.net/2042/23208>

Hirn, C. (1995). Comment les enseignants des sciences physiques lisent-ils les intentions didactiques des nouveaux programmes d'optique de classe de quatrième? *Didaskalia*, 6, 39-54. <http://hdl.handle.net/2042/23753>

Jonnaret, Ph., Barrette, J., Boufrahi, S., et Masciotra, D. (2005). Contribution critique au développement des programmes d'études : compétences, constructivisme et interdisciplinarité. *Revue des sciences de l'éducation*. 30 (3), 667-696. <https://id.erudit.org/iderudit/012087ar>

Johnstone, A. H. (1993). The Development of Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*; 70(9), 701-705. <https://pubs.acs.org/toc/jceda8/70/9>

Johnstone, A. H. (1999). The nature of chemistry, *Education in Chemistry*, 36(2), 45-48.

Kermen, I. (2007). « *Prévoir et expliquer l'évolution des systèmes chimiques, observation de la mise en place d'un nouveau programme de chimie en terminale S: réactions des enseignants et des élèves face à l'introduction de l'évolution des systèmes chimique* », Thèse de Doctorat, Université Paris-Diderot-Paris7.

Kermen, I., et 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*; 3, 77-116. <http://hdl.handle.net/2042/23981>

Kermen, I., et Méheut, M. (2009). Different models used to interpret chemical changes: analysis of a curriculum and its impact on French students' reasoning. *Chemistry Education Research and Practice*; 10(1), 24-34. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2009/rp/b901457h>

Marcelo, C. (2009). Desenvolvimento profissional docente: passado e futuro. *Sísifo/revista de ciências da educação* (8). <http://sisifo.ie.ulisboa.pt/index.php/sisifo/article/view/130>

Martin Del pozo, R. (1994). Tentative de définition d'un savoir professionnel sur le changement chimique pour la formation des enseignants, *Aster*, 18, 217-240. http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/8606/ASTER_1994_18_217.pdf?sequence=1

Martin Del pozo, R., et Porlan R. (2001). Spanish prospective teacher's initial ideas about teaching chemical change; *Chemical Education Research and practice*, 2, 265-283. <https://doi.org/10.1039/B1RP90028E>

Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir des pratiques : des savoirs aux compétences; *Revue des Sciences de l'Éducation* 24 (3), 487-514. http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_1998/1998_26.html

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. http://khimiya.org/show_issue.php?y=2016&vol=25&issue=5&i_id=63#695

Ouasri A. (2017). Study of Moroccan pupils' difficulties at second Baccalaureate year in solving chemistry problems relating to reactivity of ethanoate ions and to Copper-Aluminium cell; *Chemistry Education Research and Practice*, 18, 737-748. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2017/rp/c7rp00071e>

Ouasri, A., et EL Mhammedi, M.A. (2018). Observation et analyse des difficultés des élèves de première année Baccalauréat marocain en résolution de problèmes de Physique-chimie, *Slavonic Pedagogical Studies Journal*, 7 (1) 178-200. http://www.pegasjournal.eu/2018_07_01_17.html

Ouasri, A. (2019). Study of Moroccan pupils' skills in solving chemistry problems at first year of high-school. *Chemistry: Bulgarian Journal of Sciences Education*, 28(3), 351-383. http://khimiya.org/show_issue.php?y=2019&vol=28&issue=3&i_id=79#351

Reid, N. (2020). The triangle model -the contribution of the late professor Alex H. Johnstone, *Journal of Science Education*, 2(1), 47-61. <http://journal.aiou.edu.pk/journal1/index.php/jse/article/view/273>

Roldão, M. C., Neto-Mendes, A., Costa, J. A., Alonso, L. (2006). Organização do trabalho docente: uma década em análise (1996-2005). Investigar em educação – *Revista da Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação*, 5, 17-148. <http://www.spce.org.pt/assets/files/Revista-n.5.pdf>

Roldão, M.C. (2009). Estratégias de Ensino. O saber e o agir do professor. Villa Nova de Gaia: Fundação Manuel Leão.

Roldão, M.C. (2017); Évaluation et curriculum : à la recherche d'une nouvelle signification de l'enseignement et de l'apprentissage; *Evaluer. Journal international de Recherche en Education et Formation*, 3(1-2), 37-50. <http://hdl.handle.net/10400.14/25088>

Shulman L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15 (2), 4-14. <https://doi.org/10.2307/1175860>

Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156-168. DOI <https://doi.org/10.1039/C3RP00012E>

Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry "triplet." *International Journal of Science Education*, 33(2), 179–195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>

Annexe 1: Récapitulatif des contenus, activités proposées, extraits de commentaires et compétences exigibles du programme pour le thème « Transformations non totales d'un système chimique »
<https://p0.storage.canalblog.com/01/84/651696/43779810.pdf>

Partie ou paragraphe	Partie 2 du programme/ Chapitre 3 : «Transformations chimiques s'effectuant dans les deux sens»
Éléments du contenu	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en évidence expérimentale, sur une transformation chimique donnée par la mesure de pH, d'un avancement final différent de l'avancement maximal. - Symbolisme d'écriture de l'équation de la réaction modélisante d'une transformation chimique non totale : le signe \rightleftharpoons - Identification d'une transformation chimique non totale : avancement $x_{\text{final}} < x_{\text{maximal}}$ - Taux d'avancement final d'une réaction $\tau = x_{\text{final}}/x_{\text{maximal}}$ avec $\tau < 1$ - Interprétation à l'échelle microscopique de l'état d'équilibre en considérant les chocs efficaces entre espèces réactives d'une part et espèces produites d'autre part.
Activités proposées	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en évidence, par la mesure de pH, que la transformation n'est pas toujours totale et que la réaction correspondante s'effectue dans les deux sens : A prendre des exemples dans le domaine « acide-base ». - Modélisation de l'état d'équilibre dynamique à l'échelle microscopique.
Compétences exigibles associées	<ul style="list-style-type: none"> - Définition d'un acide et d'une base selon Bronsted - Ecrire l'équation de la réaction associée à une transformation acido-basique et connaître les deux couples acide/base intervenant dans cette réaction. - Définition du pH des solutions aqueuses diluées et savoir mesurer sa valeur par pH-mètre. - Connaissant la concentration et la valeur de pH d'une solution acide, calculer l'avancement final de la réaction de cet acide sur l'eau et le comparer à l'avancement maximal. - Connaître la définition du taux d'avancement final et le déterminer à partir d'une mesure
Extraits des orientations	<ul style="list-style-type: none"> - Il est très important en classe de Bac de différencier entre les concentrations des espèces solubles pour un système chimique dans l'état initial et l'état final, c'est pourquoi on utilise l'indicateur <i>i</i> pour les concentrations à l'état initial et eq ou f à l'état final. - Les expériences complémentaires de mesures de pH consécutives à l'addition d'une goutte d'acide éthanoïque pur ou d'éthanoate de sodium solide montrent que la réaction chimique mise en jeu s'effectue dans les deux sens, ce qui justifie l'utilisation d'un symbole symétrique. - Le taux d'avancement final a été choisi pour s'affranchir de la concentration initiale apportée en espèces dissoutes et pour rendre les interprétations plus aisées, en particulier lors de la comparaison, à concentration identique, des acides – les bases respectivement – entre eux.
Partie ou Paragraphe	Partie 2 du programme/ Chapitre 4 : «Etat d'équilibre d'un système chimique»
Éléments du contenu	- Quotient de réaction Q_r : Expression littérale en fonction des concentrations molaires des espèces dissoutes pour un état donné du système.

	<ul style="list-style-type: none"> - Généralisation à divers exemples en solution aqueuse homogène ou hétérogène (présence de solide) - Détermination de la valeur du quotient de réaction dans l'état d'équilibre du système, noté $Q_{r,eq}$. - Constante d'équilibre K associée à l'équation d'une réaction, à une température donnée. - Influence de l'état initial d'un système sur le taux d'avancement final d'une réaction chimique.
Activités proposées	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en évidence, par la mesure de conductance, que le quotient de réaction Q_r d'un système à l'équilibre est constant quelque soit l'état initial de ce système : Il existe des exemples d'acides carboxyliques de concentrations différentes. - Détermination, par la mesure de la conductance, du taux de l'avancement final de la réaction des divers acides avec l'eau, pour la même concentration initiale.
Compétences exigibles associées	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de la relation qui lie la conductance G d'une partie d'une solution et les concentrations molaires des ions existant dans cette solution. - Savoir que les quantités de matière n'évoluent plus lorsque l'état d'équilibre est établi ; et que cet état d'équilibre est dynamique. - Donner, à partir de l'équation de réaction, l'expression littérale du quotient de réaction Q_r. - Savoir que, dans l'état d'équilibre d'un système, $Q_{r,eq}$ prend une valeur indépendante des concentrations, appelée constante d'équilibre associée à l'équation de réaction. - Savoir que le taux d'avancement final d'une transformation donnée dépend de la constante d'équilibre et de l'état initial du système chimique.
Extraits des orientations	<p>- Dans l'état initial du système (p, T, concentrations molaires des espèces dissoutes) le quotient de réaction :</p> <p>$aA_{(aq)} + bB_{(aq)} \rightleftharpoons cC_{(aq)} + dD_{(aq)}$ est défini par :</p> $Q_r = \frac{[C]_i^c [D]_i^d}{[A]_i^a [B]_i^b}$ <ul style="list-style-type: none"> - Dans l'expression du quotient de réaction n'interviennent que les concentrations molaires des espèces dissoutes. - La valeur de Q_r n'a aucune dimension. - L'activité expérimentale basée sur la mesure de la conductance, a pour objectif de déterminer la valeur du quotient de réaction dans l'état d'équilibre, et montrer que sa valeur est constante quelques soient les états initiaux du système chimique. - La valeur du quotient de réaction dans l'état d'équilibre $Q_{r,eq}$ est identifiée à la constante d'équilibre K. - La constante d'équilibre K ne dépend que de la température ; et ceci pourrait être signalé sans démonstration expérimentale.
Partie ou Paragraphe	Partie 3 du programme/ Chapitre 6 : « Evolution spontanée d'un système chimique »
Éléments du contenu	<ul style="list-style-type: none"> - Critère d'évolution spontanée : Au cours du temps la valeur du quotient de réaction Q_r tend vers la constante d'équilibre K. - Illustration du critère d'évolution spontanée sur des réactions acido-basiques et d'oxydoreduction.
Activités proposées	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en évidence du critère d'évolution spontanée d'un système à partir de certaines expériences: Mélange de l'acide éthanoïque, éthanoate de sodium, acide méthanoïque et méthanoates de

	<p>sodium.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exemples de transformations prises du domaine d'oxydo-réduction : Mélange d'une solution de fer (II), d'une solution de Fer (III), une poudre de Fer et de Cuivre.
Compétences exigibles associées	<ul style="list-style-type: none"> - En disposant de l'équation d'une réaction, donner l'expression littérale du quotient de réaction Q_r et calculer sa valeur dans un état donné du système. - Savoir qu'un système évolue spontanément vers un état d'équilibre. - Etre capable de déterminer le sens d'évolution d'un système donné en comparant la valeur du quotient de réaction dans l'état initial à la constante d'équilibre, dans le cas des réactions acido-basiques et des réactions d'oxydoreduction
Extraits des orientations	<ul style="list-style-type: none"> - La constante d'équilibre K ne permet pas de prévoir le sens d'évolution du système ; c'est pourquoi il est proposé d'utiliser, comme critère, la comparaison du quotient de réaction Q_r avec la constante d'équilibre K, à l'exclusion de toute considération cinétique. - Trois cas peuvent être envisagés : <ul style="list-style-type: none"> * $Q_r < K$, le sens spontané de la transformation est le sens direct ; * $Q_r > K$, le sens spontané de la transformation est le sens inverse ; * $Q_r = K$, le système n'évolue pas macroscopiquement ; l'état d'équilibre du système est atteint. - En disposant donc des concentrations molaires des espèces chimiques dissoutes dans l'état initial, il est possible donc de connaître le sens d'évolution d'un système chimique.
Partie ou paragraphe	<p>Partie 4 du programme Chapitre 9: «Réactions d'estérification et d'hydrolyse» Chapitre 10: «Contrôle de l'évolution d'un système par changement de réactif»</p>
Éléments du contenu	<ul style="list-style-type: none"> * <u>Réactions d'estérification et d'hydrolyse</u> - Formation d'un ester à partir d'un acide et d'un alcool ; écriture de l'équation de la réaction d'estérification correspondante. - Hydrolyse d'un ester ; écriture de l'équation de la réaction correspondante. - Mise en évidence expérimentale d'un état d'équilibre mettant en jeu des réactions d'hydrolyse et d'estérification. - Savoir définir le rendement ainsi que le catalyseur. - Contrôle de la vitesse d'une réaction : la température, le catalyseur - Contrôle de l'état final : ajout d'un réactif, élimination d'un produit. * <u>Contrôle de l'évolution d'un système par changement de réactif</u> - Synthèse d'un ester à partir d'un anhydride d'acide et d'un alcool. - Hydrolyse basique d'un ester; applications: saponifications des composés gras et synthèse du savon. - Relation structure- propriétés
Activités proposées	<ul style="list-style-type: none"> * <u>Réactions d'estérification et d'hydrolyse</u> - Adoption des activités permettant de découvrir que les transformations, faisant intervenir les réactions d'estérification et d'hydrolyse, sont lentes et mènent à un état d'équilibre chimique, et qu'il est possible de faire varier de la vitesse de réaction ou du taux d'avancement final de ces réactions.

	<p>* <u>Contrôle de l'évolution d'un système par changement de réactif</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Synthèse de l'acétate d'isomyle. - Mise en application de la réaction d'ester avec les ions $\text{OH}^-_{(\text{aq})}$ pour la synthèse du savon. Mise en évidence des propriétés du savon.
<p>Compétences exigibles associées</p>	<p>* <u>Réactions d'estérification et d'hydrolyse</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Connaissance des groupes caractéristiques: $-\text{COOH}$; $-\text{OH}$; $-\text{COOH}$; $-\text{CO-O-CO-}$ - Ecriture de l'équation des réactions d'estérification et d'hydrolyse - Nomenclature des esters contenant au moins cinq atomes de carbone - Savoir que les réactions d'estérification et d'hydrolyse sont inverses l'une de l'autre et que les transformations associées à ces réactions sont lentes. - Savoir que le catalyseur augmente la vitesse de la transformation sans qu'il change l'état d'équilibre du système. - Savoir que l'excès de l'un des réactifs et/ou l'élimination de l'un des produits déplace l'état d'équilibre du système dans le sens direct. <p>* <u>Contrôle de l'évolution d'un système par changement de réactif</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Calcul du rendement d'une transformation chimique - Ecriture de l'équation d'une réaction d'un anhydride d'acide avec un alcool et l'équation d'hydrolyse basique d'un ester ; - Savoir que la réaction d'un anhydride d'acide avec un alcool, donnant un ester, est une réaction rapide, et que l'avancement de réaction est maximal.
<p>Extraits des orientations</p>	<p>* <u>Réactions d'estérification et d'hydrolyse</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - En chimie organique, l'insertion de deux nouveaux groupes : les esters et les anhydride d'acides, est une occasion pour discuter de certaines applications industrielles, et aussi pour consolider les pré requis des élèves à propos des groupes caractéristiques <p>* <u>Contrôle de l'évolution d'un système par changement de réactif</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Concernant le contrôle de l'évolution d'un système, un raisonnement qualitatif permet d'amener l'élève à concevoir que l'ajout d'un des réactifs ou l'élimination d'un des produits entraîne la diminution du quotient de réaction. - Pour améliorer le rendement de synthèse de l'ester, on n'utilise que l'anhydride comme exemple, - On utilise le savon comme exemple pour illustrer la réaction de l'hydrolyse des esters dans un milieu basique. Il serait donc une occasion pour exploiter la relation structures-propriétés que les élèves ont vues déjà lors de l'étude des solutions électrolytiques et de l'influence des chaînes carboniques sur les propriétés physiques des produits organiques.