



La circulation des savoirs de la recherche en didactique(s) entre les espaces de l'enseignement, de la recherche et de la formation



Comité de rédaction

Catherine Audrin HEP Vaud
Stéphanie Boéchat-Heer, HEP BEJUNE
Isabelle Caprani, IFFP
Isabelle Capron Puozzo HEP-Vaud
Pierre-François Coen, HEP Fribourg
Stefano Losa, SUPSI
Isabelle Mili, IUFE/UNIGE
Christophe Ronveau, UNIGE/ FPSE
Edmée Runtz-Christan, CERF, Université de Fribourg
Bernard Wentzel, HEP Valais

Comité scientifique

Bernard Baumberger, HEP Lausanne
Jonathan Bolduc, Université d'Ottawa
Gérard Sensevy, IUFM de Bretagne
Cecilia Borgès, Université de Montréal
Pierre-Philippe Bugnard, Université de Fribourg
Evelyne Charlier, Facultés universitaires Notre Dame de la Paix de Namur
Serge Dégagné, Université Laval
Marc Demeuse, Université de Mons-Hainaut
Jacques Ducommun, HEP BEJUNE
Jean-François Desbiens, Université de Sherbrooke
Hô-A-Sim Jeannine, IUFM de Guyane
Thierry Karsenti, Université de Montréal
Jean-François Marcel, Université de Toulouse II
Matthis Behrens, IRDP
Lucie Mottier Lopez, Université de Genève
Danièle Périsset Bagnoud, HEP du Valais
Philippe Le Borgne, IUFM de Franche-Comté
Sabine Vanhulle, Université de Genève

Coordinatrices du N° 26

Corinne Marlot
et Mylène Ducrey-Monnier

Rédacteur responsable

Pierre-François Coen / coenp@eduf.fr.ch

Secrétariat scientifique

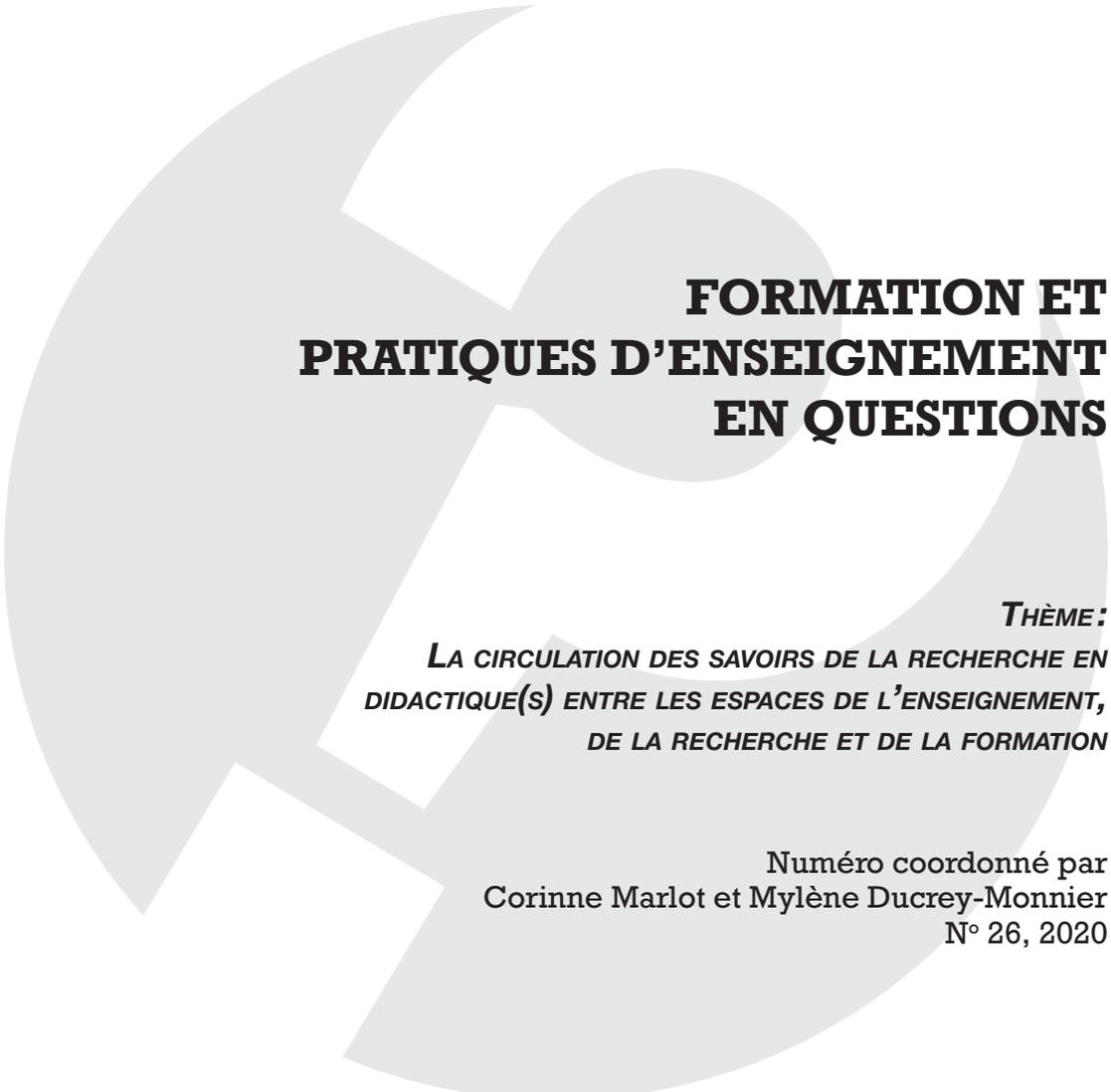
Sarah Boschung / boschungsa@eduf.fr.ch

Secrétariat de la revue

Revue « Formation et pratiques d'enseignement en questions »
Haute école pédagogique de Fribourg
Rue de Morat 36
CH - 1700 Fribourg
www.revuedeshep.ch

Edition

Conseil académique des Hautes écoles romandes en charge de la formation
des enseignant.e.s (CAHR)



FORMATION ET PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT EN QUESTIONS

THÈME:
***LA CIRCULATION DES SAVOIRS DE LA RECHERCHE EN
DIDACTIQUE(S) ENTRE LES ESPACES DE L'ENSEIGNEMENT,
DE LA RECHERCHE ET DE LA FORMATION***

Numéro coordonné par
Corinne Marlot et Mylène Ducrey-Monnier
N° 26, 2020

Comité de lecture

René Barioni, HEP Vaud (Suisse)
Francine Chaîné, Université Laval (Canada)
Anne Clerc, Haute école pédagogique du canton de Vaud (Suisse)
Marie-Noëlle Cocton, Université Catholique de l'Ouest (France)
Frédéric Darbellay, Université de Genève (Suisse)
Jean-Rémi Lapaire, Université de Bordeaux (France)
Valérie Lussi Borer, Université de Genève (Suisse)
Françoise Masuy, Université de Louvain-La-Neuve (Belgique)
Danielle Périsset, Haute école pédagogique du Valais (Suisse)
Marie Potapushkina-Delfosse, Université Paris-Est Créteil (France)
Sar Savrak, Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud (Suisse)
Gabriele Sofia, Université Paul Valéry Montpellier 3 (France)
Stéphane Soulaïne, Université de Montpellier (France)
Katja Vanini De Carlo, Université de Genève (Suisse)

Le contenu et la rédaction des articles n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

© Conseil académique des hautes écoles romandes en charge de la formation des enseignant.e.s
(CAHR)

ISSN 1660-9603

Secrétariat scientifique : Sarah Boschung
Rédacteur responsable : Pierre-François Coen
Conception graphique : Jean-Bernard Barras
Mise en page : Marc-Olivier Schatz



Thème : La circulation des savoirs de la recherche en didactique(s) entre les espaces de l'enseignement, de la recherche et de la formation

Numéro coordonné par
Corinne Marlot et Mylène Ducrey-Monnier

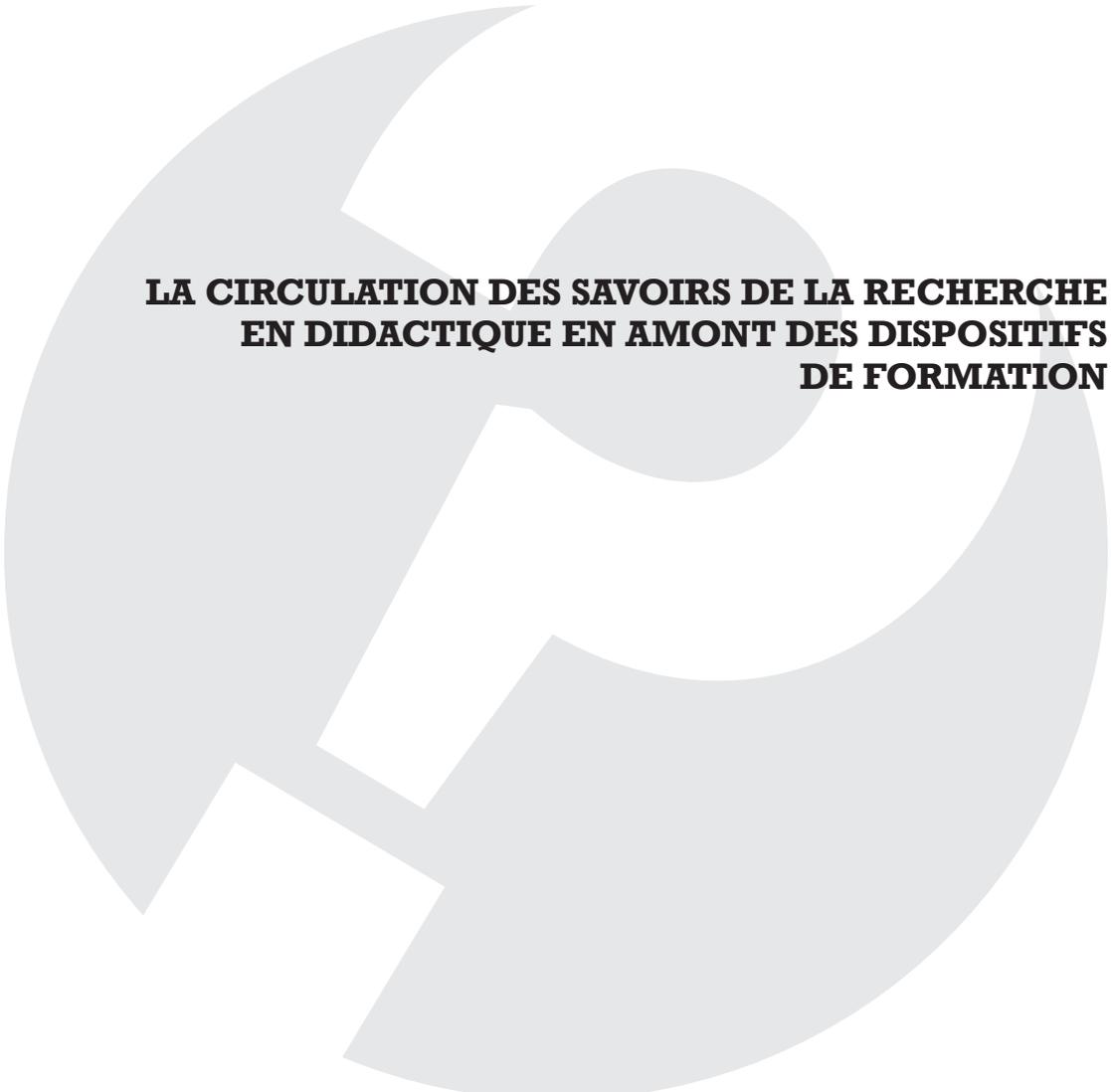
TABLE DES MATIERES

<i>Éditorial</i> Corinne Marlot	7
LA CIRCULATION DES SAVOIRS DE LA RECHERCHE EN DIDACTIQUE EN AMONT DES DISPOSITIFS DE FORMATION	
<i>«Je n'utilise pas la théorie dans ma pratique de tous les jours». Échanges entre praticiens formateurs et enseignants HEP autour de concepts théoriques issus des didactiques</i> Santiago Hernandez et Mylène Ducrey-Monnier	17
<i>Le français parlé comme objet d'enseignement ? Regards croisés d'une didacticienne et d'un linguiste</i> Roxane Gagnon et Christophe Benzitoun	37
<i>Des sites «tâches-concepts» en chimie : un outil didactique pour l'analyse des objets à enseigner dans le programme de chimie de maturité suisse</i> Miguel Herrero et Florence Ligozat	53
LA CIRCULATION DES SAVOIRS DE LA RECHERCHE EN DIDACTIQUE DANS DES DISPOSITIFS DE FORMATION INITIALE	
<i>Les gestes didactiques de métier : un outil d'analyse de la circulation des savoirs entre sphères de l'enseignement et de la formation</i> Fabienne Brière	75
<i>Conséquences de la circulation du concept de matérialité entre la recherche et la formation initiale des enseignants du primaire</i> Claire Taisson	93
<i>Mobilisation et circulation de savoirs scientifiques issus de la recherche en didactique dans un module de formation destiné à des professeurs des écoles stagiaires</i> Géraldine Boivin-Delpieu	113



LA CIRCULATION DES SAVOIRS DE LA RECHERCHE EN DIDACTIQUE DANS DES DISPOSITIFS DE FORMATION CONTINUE

<i>Entre formation et accompagnement des enseignants: conditions d'appropriation des savoirs didactiques et effets sur les acteurs</i> Jessica Penneman	129
<i>La Communauté Discursive de Pratiques: un dispositif de conception coopérative de ressources didactiques orienté par la recherche</i> Corinne Marlot et Patrick Roy	163
<i>Conditions et modalités de circulation des concepts et méthodes de la recherche en didactique des langues et cultures</i> Brigitte Gruson et Carole Le Henaff	185



**LA CIRCULATION DES SAVOIRS DE LA RECHERCHE
EN DIDACTIQUE EN AMONT DES DISPOSITIFS
DE FORMATION**



Des sites « tâches-concepts » en chimie : Un outil didactique pour l'analyse des objets à enseigner dans le programme de chimie de maturité suisse

Miguel HERRERO¹ (Ecole Internationale de Genève, Suisse)
et **Florence LIGOZAT**² (Faculté de Psychologie et des Sciences
de l'éducation, Université de Genève, Suisse)

A l'interface de la recherche en didactique et de la pratique enseignante sur le terrain, l'étude du degré de congruence entre le curriculum officiel prescrit par le SEFRI et les énoncés des examens de maturité suisse de chimie en discipline fondamentale nous a conduit à l'élaboration d'outils praxéologiques, appelés sites « tâches-concepts » en chimie, pour opérationnaliser deux thèmes majeurs du curriculum : les réactions d'oxydoréduction et la stœchiométrie. Sur le plan pragmatique, les deux sites présentés dans cet article constituent des outils potentiellement utilisables par les enseignants pour planifier leurs enseignements de chimie au collège en Suisse. Sur le plan épistémologique, ces deux sites sont aussi des artefacts émergeant de la pratique. Ils témoignent d'une forme d'appropriation de la notion de praxéologie conçue dans le cadre de la Théorie anthropologique du didactique, pour répondre à des questions professionnelles liées à l'opérationnalisation d'un curriculum.

Mots-clés : Chimie, oxydoréduction, stœchiométrie, type de tâche, site praxéologique, curriculum, maturité suisse

Introduction

Dans le cadre de ce numéro de la revue *Formation et Pratiques d'Enseignement en Questions* qui explore les conditions de la circulation des savoirs issus des recherches en didactique, notre contribution propose un exemple d'utilisation de la notion de praxéologie issue de Théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 2002a; 2002b) pour la mise en évidence des contenus à enseigner dans le curriculum de préparation aux épreuves de chimie (discipline fondamentale) de l'examen suisse de maturité.

L'examen de maturité suisse³ est organisé dans les différentes régions linguistiques de Suisse par le Secrétariat d'État à l'éducation et à la recherche (SEFRI). Il diffère des examens des maturités cantonales préparés dans les collèges et gymnases sous la seule autorité des Cantons. L'examen suisse

1. Contact : miguel.herrero@ecolint.ch

2. Contact : florence.ligozat@unige.ch

3. Il s'agit de l'examen de certification de fin d'études secondaires générales (18-19 ans) en Suisse.



de maturité est considéré comme plus difficile que les examens cantonaux car les notes obtenues durant l'année scolaire par les élèves ne sont pas prises en compte. Les sujets d'examen sont rédigés par une commission indépendante d'enseignants et les candidats ne sont pas interrogés par les enseignants de leur établissement scolaire habituel. Les candidats qui s'inscrivent à l'examen suisse de maturité sont pour la plupart issus d'écoles privées, et dans certains cas, ils peuvent être tout simplement autodidactes. Dans ce contexte, la définition et la structuration des contenus de savoir devant être maîtrisés pour réussir les épreuves dans les différentes disciplines est un enjeu majeur pour la réussite des candidats.

Du point de vue de l'enseignant qui prépare ses élèves à ce type d'examen, nous considérons que la construction de savoirs didactiques, c'est-à-dire des *savoirs pour enseigner (faire apprendre)* solidaires des savoirs à enseigner proprement dits (au sens de Hosfetter & Schneuwly, 2009), se fait progressivement en écho à l'identification des difficultés témoignées par les élèves, qui définissent certains problèmes professionnels. Notre questionnement de départ provient de la pratique d'enseignement de l'un de nous (Herrero, 2016). Ce questionnement existe à la fois du point de vue des élèves candidats aux examens de maturité suisse et de leurs enseignants, lorsque les premiers posent ouvertement les questions « a-t-on couvert tout le programme ? l'examen sera-t-il difficile ? » et lorsque les seconds se demandent « comment s'assurer que le programme est couvert ? Quelle adéquation entre le niveau d'exigence déployé à l'interne de la classe (ou de l'établissement) et le niveau d'exigence à l'examen ? Jusqu'où faut-il aller en termes de tâches, exercices, cas particuliers, etc. dans l'étude de chaque thématique imposée par le programme ? ».

Les réponses à ces questions relèvent d'un problème professionnel qui consiste à formaliser les éléments d'un curriculum nécessaire à la réussite d'épreuves certificatives dans un contexte particulier, où les textes institutionnels régissant l'enseignement post-obligatoire en Suisse sont très peu détaillés. Ce problème précède l'étude plus strictement didactique des conditions d'enseignement et d'apprentissage de ces éléments de savoir, qui ne sera pas abordée dans cet article.

Problématique

Au premier abord, ce questionnement pourra paraître relativement général et récurrent car il relève d'un problème professionnel aux fondements même du développement des recherches en didactique : « La nécessité d'une analyse approfondie de la matière enseignée est apparue assez vite dans les travaux de didactique des sciences, dès que s'est révélée l'insuffisance théorique des contenus de programmes et des progressions proposées par les manuels. » (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, & Toussaint, 2008, p.167). Les travaux développés dans le domaine de la didactique de la chimie ont mis en évidence les raisonnements typiques d'élèves qui apparaissent en écho aux difficultés épistémologiques posées par la structure des savoirs en chimie (Taber, 2001 ; Treagust et al. 2003 ; Kermen & Meheut 2009). Ces savoirs engagent une articulation conceptuelle entre trois niveaux de saisie



des phénomènes : macroscopique (ce qui peut être perçu par les sens), microscopique (nature, propriétés et mouvement des particules de la matière qui sont inaccessibles aux sens) et symbolique (systèmes de représentation des objets macroscopique et microscopique, tels que mesures, formules, structures, équations, etc.), qui demandent des stratégies didactiques spécifiques pour les surmonter, ainsi que le recours à un langage systématique pour éviter les confusions entre ces niveaux (Pekdag & Le Maréchal 2010; Pekdag & Azizoglu, 2013; Taber, 2013).

Cependant, l'analyse des objets à enseigner et de leur organisation dans les programmes et manuels⁴ en regard des exigences qui sous-tendent les évaluations restent encore peu explorés par les didacticiens⁵. Plus précisément, le problème de la congruence entre les contenus enseignés et les exigences qui se font jour dans les évaluations prend une signification bien particulière dans le contexte de la préparation des examens de maturité suisse. En effet, la définition des contenus à enseigner pour la chimie en discipline fondamentale dans le programme défini par le SEFRI reste très succincte⁶, et donc sujette à des interprétations différentes sur le détail des notions à travailler. Globalement, le programme de chimie en discipline fondamentale est divisé en quatre parties : corps ; étude de l'atome et de la liaison ; réactions ; applications en relation avec la vie quotidienne. Dans la partie « Réactions », voici la description de deux thèmes à aborder – la stœchiométrie et les réactions redox –, que nous nous proposons d'étudier dans la suite de cet article :

Réactions	La candidate, le candidat est capable de :
Stœchiométrie Mole, masse et concentration molaire Equation chimique Equation chimique (...)	Définir les notions mole, de masse molaire et de concentration molaire Établir les équations chimique
Réactions redox Equations redox, combustions	Définir les notions d'oxydation et de réduction Établir les équations redox pour quelques réactions simples : réaction entre métal et non-métal, combustions.

Figure 1 : Extrait de « Directives pour l'examen suisse de maturité, mis en vigueur le 01 janvier 2012 (pp.40-42)

4. Et à fortiori des objets effectivement enseignés dans les classes, mais nous ne traiterons pas de cela dans cet article.

5. C'est seulement récemment que les réflexions sur le statut de l'évaluation, ses modalités et ses conséquences sur l'enseignement se sont invités dans les travaux des didacticiens des disciplines scientifiques avec l'injonction institutionnelle de la mise œuvre de démarches d'investigation, démarches scientifiques, ou encore Inquiry-Based Learning dans les pays européens (cf. Colloque ASSIT-ME, Grenoble 2016, <https://assistmefr2016.sciencesconf.org/> ; ou encore le thème consacré à l'évaluation de la XIX^e École d'été de didactique des mathématiques, Paris 2017, <https://eedm19.sciencesconf.org/>).

6. Ce curriculum apparaît dans un document PDF intitulé « Directives pour l'examen suisse de maturité » (139 pages) qui compte trois pages dédiées au curriculum de chimie au niveau standard sous la rubrique « programme » de chimie en discipline fondamentale. <https://www.sbf.admin.ch/sbfi/fr/home/formation/maturite/maturite-gymnasiale/examen-suisse-de-maturite.html>



Sachant qu'il n'existe pas d'autres ressources associées à ce programme (et notamment pas de moyens spécifiques ou manuels), la question de savoir si « le programme est couvert » et plus précisément, quels types de tâches doivent être traitées en classe pour assurer la réussite de candidats à l'examen constitue un problème professionnel majeur. Ce problème se pose en amont des questions épistémologiques, langagières et cognitives liées aux modalités d'acquisition des savoirs en chimie, et qui occupent traditionnellement le devant de la scène dans les travaux de didactique dans ce domaine. Ce problème est avant tout un problème de curriculum, qui exige minimalement de délimiter les contenus à enseigner en regard des types de tâches qui les mobilisent. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes engagés dans la construction d'un outil nouveau en didactique de la chimie, que nous nommons site « tâche-concepts » et qui modélise les organisations praxéologiques locales (au sens de Chevallard, 2002) présentes dans les épreuves de chimie en discipline fondamentale de la maturité suisse.

Les travaux que nous présentons ici sont issus d'un travail de mémoire réalisé dans le cadre du Master of Advanced Studies « Education Internationale et Recherche » (Herrero, 2016). Ils ont une finalité professionnelle au sens où ils émergent d'un problème d'enseignement en vue de la préparation à l'obtention d'une certification en Suisse et ils assument un caractère opératoire pour les enseignants préparant les candidats à cette certification dans le domaine de la chimie. Toutefois, il nous semble intéressant d'une part de mettre nos résultats à disposition de la communauté de formateurs et d'enseignants en chimie en Suisse romande, et d'autre part de discuter de la démarche que nous avons adoptée en vue du développement de recherches en didactique de la chimie en lien avec la spécificité des structures d'enseignement et de certification en Suisse romande.

Dans ce qui suit,

- nous caractérisons la spécificité / intérêt de la notion de site praxéologique comme outil de contrôle de déploiement d'un curriculum en regard d'autres systèmes de représentation des savoirs dans les disciplines scientifiques, tels que les cartes conceptuelles ;
- nous donnons deux exemples de sites « tâches – concepts » : oxydoréduction et stœchiométrie, après avoir expliqué les raisons de notre choix ;
- nous terminons par une discussion de la portée des sites construits, pour la pratique des enseignants directement, mais également du point de vue de leur signification pour le développement professionnel des enseignants.



Cadrage théorique

Les cartes conceptuelles comme systèmes de représentation des connaissances scientifiques des élèves et des enseignants

Historiquement, les travaux de didactique des disciplines scientifiques se sont développés à partir d'innovations à grande échelle souvent placées sous la responsabilité de scientifiques reconnus, afin de mettre en place des enseignements de physique, chimie et biologie dans le cadre de l'extension de la scolarité obligatoire dans les années 70. La mise en évidence des difficultés des élèves dans ces démarches d'innovation a focalisé les travaux de didactique des sciences sur l'étude des conceptions des élèves comme levier pour faire évoluer les dispositifs d'enseignement et les curricula. Si la tradition des recherches francophones est marquée par une forte influence de l'épistémologie bachelardienne qui définit l'apprentissage comme un franchissement d'obstacles en imposant une rupture avec des connaissances antérieures, les traditions de recherches anglo-saxonnes et germaniques se réfèrent plutôt aux sciences du développement et de la cognition humaine pour considérer des changements conceptuels progressifs entre connaissances quotidiennes et scientifiques (Mercier & Tiberghien, 2008/2017). Selon ces perspectives, l'évolution de l'enseignement des savoirs scientifiques à l'école a longtemps été orientée par l'élaboration de modèles de connaissances des apprenants.

La notion de *carte conceptuelle* comme outil de représentation de ces connaissances a connu un vif succès à la suite des travaux de Novak & Gowin (1984) et Wandersee (1990). Reprenant la définition des *concepts maps* comme « a schematic device for representing a set of concept meanings embedded in a framework of propositions » (Novak & Gowin, 1984, p.15), Wandersee (1990) souligne leurs dimensions fondamentalement relationnelle (représentation des liens entre les concepts) et structurale (représentation d'une organisation hiérarchique). Pour Novak (1990), les cartes conceptuelles sont des outils importants pour que les élèves apprennent en donnant du sens à leurs apprentissages et que les enseignants deviennent plus efficaces. En ce qui concerne les enseignants, Novak ajoute qu'elles contribuent à se distancer de leur propre approche des apprentissages vers des pratiques davantage porteuses de sens en rendant la matière à étudier plus transparente du point de vue conceptuel et en mettant l'accent sur les concepts clés (1990, p.943). Langlois, Raulin & Chastrette (1994) ainsi que Tribollet, Langlois & Jacquet (2000) se penchent plus précisément sur la fonction des cartes conceptuelles dans les pratiques d'enseignement-apprentissage de la physique-chimie. Les cartes conceptuelles construites par les élèves leur permettent de se confronter à l'état de leur connaissance en amont d'une séquence d'enseignement, durant la séquence et aussi à l'issue d'un enseignement. Les élèves peuvent aussi comparer leurs cartes avec celles de leurs camarades, voire construire une carte conceptuelle collective. Du point de vue des enseignants, les cartes produites par les élèves leur permettent d'effectuer un état des lieux de leur niveau de connaissance et de compréhension d'un thème, puis d'utiliser cette connaissance dans le cadre d'une remédiation ou d'une évaluation formative.



Les cartes conceptuelles dont il est question dans ces travaux reflètent des organisations de connaissances que les enseignants et les élèves construisent à propos des savoirs à étudier en classe. Si les cartes conceptuelles expriment une forme de réflexivité des sujets sur leurs propres connaissances, nous notons qu'elles ne prennent pas en charge l'articulation entre la nature des problèmes ou types de tâches qui peuvent être mis à l'étude dans un curriculum et les objets de savoirs qui permettent de les traiter.

L'analyse des ressources, problèmes ou types de tâches dans le cadre de l'enseignement-apprentissage de la chimie

Dans les recherches francophones, les travaux qui concernent les enjeux de l'enseignement et de l'apprentissage des savoirs propres au domaine de la chimie au niveau de l'enseignement secondaire I et II restent peu nombreux⁷. Ils reflètent toutefois la manière dont les enseignants investissent les textes et ressources curriculaires (Kermen & Méheut, 2009; Kermen & Barroso, 2013), les connaissances professionnelles qui sont activées dans les transactions didactiques (Cross, 2010) ou encore le rôle des outils sémiotiques et des systèmes de représentations spécifiques du domaine dans l'articulation entre ce qui est proposé dans les manuels et les discours en classe (Khanfour-Armalé & Le Maréchal, 2009; Pekdag & Azizoglu, 2013). Ces travaux mettent en évidence des problèmes de congruence entre les différentes strates du processus de transposition didactique (Chevallard, 1985/1991), qui va de la définition des lignes directrices des programmes à la mise en œuvre de dispositifs d'enseignements en classe, en passant par la mise en forme des ressources textuelles (manuels et autres supports didactiques en ligne notamment) qui préfigurent en grande partie la nature des savoirs enseignés dans la classe, mais aussi les implicites et réification qui sont souvent source de difficultés pour les élèves.

Les travaux de Lafarge (2010) et de Cross & Le Maréchal (2013) s'intéressent plus particulièrement à l'analyse des tâches, exercices ou épreuves proposées aux élèves de lycée et de première année d'université, avec toutefois des objectifs, des critères et des cadres d'analyse différents. Cross & Le Maréchal (2013) se sont intéressés au degré de complexité des tâches d'évaluation proposées par une enseignante à ses élèves en classe de chimie terminale; certaines destinées à se préparer spécifiquement au baccalauréat français et d'autres relevant du contrôle continu en cours d'année. Leur cadre d'analyse s'appuie sur la charge cognitive intrinsèque (CCI) qui est corrélée à la nature de la tâche à effectuer. La CCI est fonction de la structure du contenu (ou niveau de structuration), de la complexité, du nombre d'étapes, de la nature des étapes, du contenu des questions et de l'occurrence au baccalauréat. Cette catégorisation permet de juger de ce qui est

7. S'il existe un corpus non négligeable de thèmes liés aux problèmes d'enseignement de la chimie dans des revues professionnelles (telles que le Bulletin de l'Union des Physiciens en France par exemple), les articles de recherche sur les conditions de l'enseignement et de l'apprentissage des objets de cette discipline (souvent traitée comme un sous-domaine des sciences physiques) adossés à des cadres théoriques spécifiques sont plus rares.



vraiment évalué dans les épreuves, sachant que d'autres recherches internationales ont montré que les compétences de résolution de problèmes de type algorithmique sont peu corrélées aux compétences de résolution de problèmes de type conceptuel (Papaphotis & Tsapalis, 2008). Lafarge (2010) s'est intéressé aux conditions de transformation de l'apprentissage et de l'enseignement de la chimie organique au niveau des deux premières années d'études supérieures universitaires. Il constate que dans les énoncés des examens, ce sont essentiellement des tâches qui appellent une restitution d'éléments mémorisés, tandis que les tâches demandant des formes de résolution de problèmes sont évacuées. Il propose de placer les élèves dans des situations proches du chimiste organicien d'une part et d'autre part d'intégrer les professeurs dans une démarche de développement d'outils didactiques les aidant à transformer le contenu disciplinaire. Cette transformation est organisée autour de six types de tâches (au sens de Chevallard, 2002a ; 2002b) :

Tâches du type I : proposer des réactifs ou une synthèse pour préparer une espèce chimique cible.

Tâches du type I' : autres tâches visant l'état initial d'une transformation, les réactifs d'une réaction.

Tâches du type II : fournir des éléments d'un mécanisme réactionnel.

Tâches de type II' : autres tâches visant la (les) transformation(s) chimique(s) d'une synthèse, les réactions chimiques.

Tâches du type III : déterminer la formule d'une espèce chimique organique cible dans une synthèse organique.

Tâches du type III' : autres tâches visant l'état final d'une transformation chimique, les produits d'une réaction, les sous-produits d'une synthèse organique.

Dans les travaux de Lafarge, nous relevons l'importance de la caractérisation des types de tâches qui sont au cœur des épreuves analysées afin de soutenir une démarche d'étude et d'étayage du curriculum par les enseignants eux-mêmes. Toutefois, le grain de *découpage des types de tâches* utilisé dans ce cas nous semble couvrir des champs de savoirs très étendus, sans doute adapté à l'étude curriculaire d'un domaine entier tel que « la chimie organique » dans les premières années universitaires. Dans notre travail, nous proposons de regrouper les problèmes posés dans les épreuves de chimie de maturité suisse selon un grain plus fin de types de tâches, correspondant à l'étude des thèmes imposés dans le programme du SEFRI.

La notion de « site praxéologique » pour soutenir l'étude d'une question dans les curriculums en mathématiques

Un tournant pragmatique s'est opéré dans les recherches en didactique dans de nombreux domaines de savoir, en lien avec les besoins accrus de formation et de professionnalisation des enseignants qui se sont fait jour dans les années 2000. Il ne s'agit plus seulement de comprendre comment les élèves apprennent dans le cadre de certaines activités qui leur sont proposées en



classe, mais de saisir les relations entre l'enseignement et l'apprentissage qui se jouent sous couvert des pratiques institutionnelles formalisées par les textes des plans d'étude et les ressources mises à disposition des enseignants. Ce mouvement s'inscrit dans une perspective anthropologique qui s'est développée progressivement depuis le début des années 80 avec la théorisation des processus de transposition didactique (Verret, 1975; Chevallard, 1985/1991), et progressivement élargie à l'étude des organisations des savoirs dans les pratiques humaines constitutives des institutions didactiques (Chevallard, 2007; Mercier, 2008).

Dans le cadre de l'analyse des pratiques d'étude des élèves de lycée en mathématiques, Duchet & Erdogan (2005) et Erdogan (2006) ont *élaboré* la notion de « site » pour décrire l'espace des objets mathématiques qui interviennent dans l'étude d'une fonction algébrique par des élèves en autonomie.

« the field of the mathematical items whose studying appears relevant – or is supposed such – for the understanding of a given scientific object O can be considered as a network of objects and relations, the mathematical site of O. Some objects and relations are visible, other are hidden. For any subject in position of a student, the mathematical site arises in the shape of a field of significance, investigation and experiment, a sufficiently stable field which confers on his studying a reliable reference » (Duchet & Erdogan, p.664).

Pour Duchet et Erdogan, le site mathématique d'une question est un outil de diagnostic de l'écologie des objets et de leurs relations dans une institution donnée. Il se présente sous la forme d'un diagramme qui articule des objets mathématiques, des techniques qui engagent ces objets et trois niveaux hiérarchiques de concepts sur lesquelles les techniques reposent. Nous notons que ce même concept a été repris par Silvy & Delcroix (2009) pour évaluer les compétences des élèves dans les activités de restitution organisées de connaissances au secondaire II, en mathématiques toujours.

À l'image de ces constructions, nous considérons qu'il est également possible de construire des sites, correspondant à une organisation praxéologique locale, pour différents thèmes à étudier dans le cadre du curriculum de chimie. À la différence du cas des mathématiques, nous ne partons pas d'une catégorie de problèmes que les élèves auraient à étudier, mais d'un ensemble de questions qui sont au cœur des épreuves de chimie de la maturité suisse, et que nous nous proposons de catégoriser. De notre point de vue, le principal intérêt de la mise en forme d'un site local en chimie est de chercher à rendre visible les différents éléments constitutifs de l'étude d'un thème et les liens qu'ils entretiennent avec des types de tâches qui les mobilisent. Nous postulons que l'enseignant de chimie qui prépare ses élèves à l'examen de maturité suisse peut prendre appui sur cet outil et s'assurer ainsi une couverture adéquate de la portion de curriculum à étudier avec les élèves.



La notion de praxéologie comme outil de construction d'un site « tâches-concepts » en chimie

Pour construire un site « tâches-concepts » en chimie, nous nous appuyons sur la notion de praxéologie qui définit une organisation de savoirs dans les pratiques humaines. Elle s'inscrit dans le cadre de la Théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 2002a; 2002b). Une praxéologie est définie par le quadruplet type de tâche, technique, technologie et théorie qui structure les manières de traiter d'une question ou d'un problème à étudier :

- un type de *tâches* (notée T) est l'ensemble des activités qui peuvent être menées à bien en faisant appel à une même technique.
- une technique (notée τ) permet la réalisation de la tâche.
- la technologie (notée θ) est littéralement le discours qui justifie, rend compréhensible, voire produit l'utilisation d'une technique pour réaliser une tâche.
- la théorie (notée Θ) sous-tend, justifie, voire produit la technologie.

Les tâches et les techniques forment le bloc praxis alors que la technologie et la technique constituent le bloc logos. Chevallard affirme que le premier bloc [T/ τ] nous permet de définir le concept de savoir-faire auquel il renvoie. Il s'agit d'un bloc pratico-technique ou praxique. Quant au bloc [θ/Θ] il désigne le concept de savoir, en un sens limité à celui de raison ou de discours raisonné toujours selon Chevallard. Il s'agit d'un bloc technologico-théorique.

Nous proposons de mettre à l'épreuve cette notion de praxéologie construite en didactique des mathématiques, dans le cadre de notre discipline, en cherchant à mettre en évidence des organisations praxéologiques propres aux savoirs de la chimie.

Méthodologie

Le corpus des épreuves analysées et les types de tâches dégagés

Pour répondre au problème professionnel que nous avons posé dans notre problématique, nous utilisons une démarche ascendante d'analyse des savoirs qui sont effectivement évalués dans les épreuves. Cela nous permet d'identifier les composantes de sites « tâches-concepts » qui délimitent l'espace des objets à enseigner minimalement. Le corpus des épreuves analysées est formé des énoncés des examens écrits de chimie en discipline fondamentale de la maturité suisse qui couvrent toutes les sessions dans la période hiver 2010-été 2014. Le corpus considéré couvre donc dix sessions d'examen, ce qui nous semble être suffisamment étendu pour couvrir nos objectifs.

Nous nous sommes focalisés sur deux thèmes : les « Réactions rédox » et la « Stœchiométrie ». Les réactions d'oxydo-réduction sont, dans le domaine de la chimie générale, comparées aux équations de réactions de dissociation, de neutralisation et de précipitation, celles qui présentent le plus de difficultés sur le plan didactique (Garnett & Treagust, 1992; Stains & Talanquer, 2008). Quant au thème intitulé « Stœchiométrie », il est incontournable dès



l'instant qu'il s'agit d'équilibrer une équation chimique ou de mener à bien des calculs stœchiométriques afin de déterminer des quantités de réactifs engagés ou de produits formés.

Pour chacun des deux thèmes étudiés, à savoir les « Réactions Rédox » et la « Stœchiométrie », nous avons procédé à l'identique. Pour commencer, nous avons recherché dans les énoncés de ces examens toutes les questions qui pouvaient être reliées de façon explicite ou implicite au thème étudié tel qu'il est décrit dans le programme officiel. A la suite de quoi, nous avons regroupé les questions par type de tâches et effectué une analyse à priori des questions relevant de chaque type de tâches, comme illustré à l'aide des deux exemples précédents.

- Nous avons identifié 42 questions relatives au thème « Réactions Rédox » qui ont été regroupées en 15 types de tâches libellées T_{or1} à T_{or15} .
- Nous avons identifié 43 questions relatives au thème « Stœchiométrie » regroupées en 22 types de tâches libellées T_{st1} à T_{st22} .

La simple lecture des énoncés des examens permet de débusquer des implicites en termes de tâches T donc de savoir-faire [T/τ]. La liste de ces implicites est certes utile, en ce sens, qu'elles complètent le programme en explicitant des savoir-faire. En revanche, d'une part, elles ne sont pas exhaustive, car elle est susceptible de se prolonger au gré de nouveaux examens et ne nous permet donc pas, de façon certaine, de couvrir la totalité du curriculum évalué et, d'autre part, elle ne nous permet pas de visualiser les concepts qui la sous-tendent et les liens qui les relient. Afin de matérialiser ces informations, nous avons décidé de construire, pour chaque thème, un site « tâche-concept ».

Pour chaque item d'épreuve de maturité suisse considéré, nous avons identifié au moins une organisation praxéologique possible a priori. Nous en donnons ici deux exemples extraits d'anciens sujets d'examens de maturité certificatifs.

1^{er} exemple, extrait de la session d'été 2014 :

1.4 Quel est le nombre d'oxydation du molybdène dans le composé $(NH_4)_2MoO_4$:
<input type="checkbox"/> +4
<input type="checkbox"/> +3
<input type="checkbox"/> +6
<input type="checkbox"/> +2

La **tâche** consiste à déterminer le nombre d'oxydation d'un élément dans un corps composé : dans ce cas celui du molybdène dans le composé $(NH_4)_2MoO_4$.

Une **technique** habituelle pour résoudre cette tâche peut se présenter ainsi :

$$-3+1 \quad ? \quad -2$$
$$(NH_4)_2MoO_4 \quad ; \quad 2(-3 + 4(+1)) + x + 4(-2) = 0 \quad ; \quad 2 + x - 8 = 0 \quad ; \quad x = +6$$

Réponse : le nombre d'oxydation du molybdène vaut +6



La **technologie** correspondante peut se verbaliser ainsi: j'attribue les nombres d'oxydation à chaque élément du composé (en m'aidant éventuellement des tables et formulaires); j'associe l'inconnue «*x*» à la valeur du nombre d'oxydation cherché; j'établis l'équation de la somme des nombres d'oxydation qui doit être nulle ici; je la résous; je trouve le nombre d'oxydation du molybdène et je réponds à la question en sélectionnant la bonne réponse parmi celles proposées.

La **théorie** qui sous-tend ce type de tâches est la neutralité électrique d'un corps pur non ionique. Autrement dit, la valeur absolue de la somme des charges entières ou partielles électriques positives doit être égale à la valeur absolue de la somme des charges entières ou partielles électriques négatives.

2^e exemple, extrait de la session d'hiver 2014

Soit la réaction : $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2 \text{HCl}$

6.3. Quelle masse de sulfate de calcium obtient-on en faisant réagir 50 g d'acide sulfurique avec 50 g de chlorure de calcium ? Réponse détaillée et quantitative.

La **tâche** consiste à calculer la masse d'un produit formé connaissant la masse de chaque réactif engagé dans la réaction.

La **technique** peut s'écrire :

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{m}{M} = \frac{50}{2 \times 1 + 32 + 4 \times 16} = \frac{50}{98} \cong 0.51 \text{ mol}; \quad n_{\text{CaCl}_2} = \frac{m}{M} = \frac{50}{40 + 2 \times 35.5} = \frac{50}{111} \cong 0.45 \text{ mol};$$

$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2 \text{HCl}$ et $n_{\text{CaCl}_2} < n_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ et la stœchiométrie dans l'équation de la réaction est 1 : 1, donc CaCl_2 est le réactif limitant et $n_{\text{CaSO}_4} = n_{\text{CaCl}_2}$; $m_{\text{CaSO}_4} = n \cdot M = 0.45 \times (40 + 32 + 4 \times 16) = 0.45 \times 136 = 61.2 \text{ g}$

La **technologie** peut s'écrire: la réaction est quantitative (transformation totale) je calcule la quantité de matière, exprimée en moles de chaque réactif en calculant le rapport de leur masse à leur masse molaire. Je compare ces quantités entre elles et à la stœchiométrie de la réaction. J'en déduis que le réactif limitant, totalement transformé est le chlorure de calcium et qu'il limite précisément la quantité de sulfate de calcium formé. Enfin je détermine la masse de sulfate de calcium formée en calculant le produit de sa quantité de matière par sa masse molaire.

La **théorie** qui sous-tend cette question fait appel au principe de conservation de la matière ainsi qu'aux concepts de quantité de matière, de masse, de masse molaire et de réactif limitant et en excès.

Un même type de tâches T peut être réalisé par différentes techniques τ . L'exploration des différentes techniques possibles relève du travail de préparation des leçons par l'enseignant lorsqu'il décide de proposer un type de tâche donné. Dans le cadre de cet article, notre but n'est pas de descendre à ce niveau d'analyse pour chaque type de tâche que nous avons répertoriée, mais de cartographier les concepts qui doivent être nécessairement



travaillés dans chaque thème. Nous décidons donc de ne pas faire apparaître les *techniques* τ dans nos sites locaux ni, par voie de conséquence, les *technologies* θ qui y en découlent. En revanche les concepts issus de la *théorie* Θ et utiles à la réalisation des *tâches* T figurent dans un site en chimie tel que nous les avons construits. Nous construisons donc des sites « tâches-concepts » en chimie qui contribuent à une didactique du curriculum pour cette discipline au secondaire II.

Résultats

Le site « tâches-concepts » pour le thème « Stœchiométrie »

Nous présentons ci-après le site « tâches-concepts » que nous avons construit pour le thème « Stœchiométrie » (figure 2). Nous avons identifié 22 types de tâches, qui apparaissent sous formes d'énoncés encadrés, et qui ont été disposées dans la partie située à gauche de notre site⁸. Les types de tâches sont le point de départ du site « tâches-concept » en chimie. Elles sont reliées par des flèches aux concepts qui les sous-tendent. Elles sont unidirectionnelles car la réalisation de la tâche implique le recours aux concepts, en revanche l'utilisation d'un concept n'implique pas nécessairement de réaliser exclusivement la tâche proposée. Les concepts, entourés par des ellipses, sont situés à droite dans notre site. Les concepts peuvent être reliés à un deuxième niveau de concepts plus englobants reflétant ainsi un gradient de spécificité-généricité du thème « Stœchiométrie », au sein de la discipline « Chimie ». Ces concepts ont été libellés Θ_{st1} à Θ_{st13} , puis Θ_{gp1} « gp » se réfère à gaz parfaits.

Afin de synthétiser l'information dans le site « tâches-concept » ci-dessus, nous avons choisi de n'écrire qu'une formulation de chaque loi quelles que soient les données et l'inconnue de l'exercice à traiter. Par exemple nous n'avons noté que $c = \frac{n}{V}$ qu'il s'agisse de déterminer effectivement la concentration molaire (c) connaissant la quantité de matière de soluté (n) exprimée en moles et le volume (V) de solution exprimé en litres ou d'utiliser l'une ou l'autre des deux autres formulations équivalentes $V = \frac{n}{c}$ ou $n = c \cdot V$ de cette loi.

Ce site en chimie permet de visualiser que les trois concepts théoriques le plus souvent convoqués, dans le cadre du thème « stœchiométrie », sont ceux de *concentration molaire* via la relation $c = \frac{n}{V}$, de *quantité de matière* à travers la relation $n = \frac{m}{M}$ et celui du *principe de conservation de la matière*. Ce site permet de mettre en évidence que le concept le plus central et quasiment omniprésent de façon explicite ou implicite est celui de quantité de matière (exprimée en moles et noté n). En effet, il apparaît de façon explicite dans les quatre relations $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, $c = \frac{n}{V}$, $n = \frac{m}{M}$ et *nombre molécules, ions... = $n \cdot N_A$* , ainsi que dans la définition du concept de mole lui-même. Nous le retrouvons, de façon implicite, dans trois autres concepts. D'abord, le principe de dilution repose en réalité sur le fait que la quantité de matière de soluté prélevée dans la solution initiale est égale à celle transvasée dans la solution finale.

8. Pour gagner de la place dans les encadrés désignant les types de tâche, nous avons parfois utilisé les symboles n , v , c , pour désigner respectivement la quantité de matière, le volume et la concentration.



Le site «Stoéchiométrie»

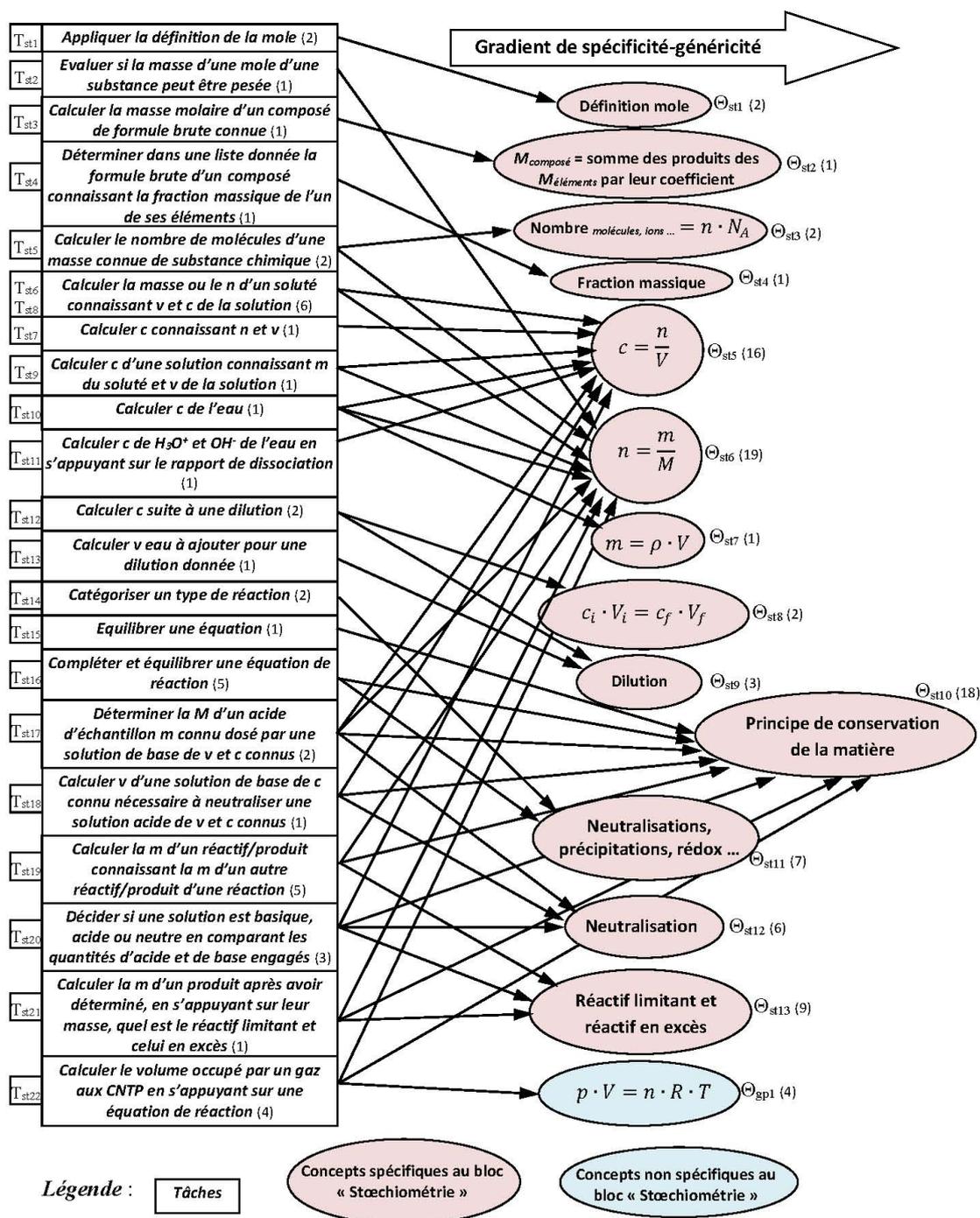


Figure 2: Site chimie relatif au thème «Stoéchiométrie» issu des analyses à priori menées sur les énoncés des examens de chimie de maturité suisse (effectifs).



Précisons : c'est par substitution de $n = c \cdot V$ dans la loi $n_i = n_f$ que nous obtenons $c_i \cdot V_i = c_f \cdot V_f$. Ensuite, afin de déterminer si un réactif est limitant ou en excès, nous nous appuyerons systématiquement sur la comparaison de leurs quantités de matière respectives au regard de l'équation équilibrée, que ces quantités de matière soient connues ou qu'il soit nécessaire de les calculer à partir des données fournies. Enfin, la notion de quantité de matière est également au cœur du principe de la conservation des éléments chimiques et de la masse des réactants dans les réactions, souvent résumé par la formule « rien ne se crée, rien ne se perd, tout se transforme » (énoncée par Lavoisier pour la première fois en 1789).

Le concept de quantité de matière, exprimé en moles, est donc central puisqu'il se décline dans plusieurs lois et qu'elles peuvent se combiner entre elles précisément via la quantité de matière (en moles), noté n .

Le site « tâches-concepts » pour le thème « Rédox »

Nous présentons ci-après le site « tâches-concepts » que nous avons construit pour le thème « Réactions redox » (figure 3). Nous avons identifié 10 types de tâches, qui apparaissent sous formes d'énoncés encadrés et qui ont été disposées dans la partie située à gauche de notre site. Comme dans le cas du thème de la stoechiométrie, les types de tâches sont le point de départ du site « tâches-concept » pour les réactions redox. Les types de tâches sont directement reliées par des flèches aux concepts théoriques qui les sous-tendent. Ces derniers peuvent être reliés à un deuxième niveau de concepts plus englobants, reflétant ainsi un gradient de spécificité-généricité du thème « Rédox », considéré au sein de la discipline « Chimie ». Par exemple, les combustions complètes des alcools ou des hydrocarbures, dans le cas étudié, peuvent être traitées par l'élève de façon restrictive. Il complète l'équation de la réaction en écrivant comme produits le dioxyde de carbone et l'eau, préalablement mémorisés comme tels, puis il équilibre l'équation. Il peut conduire ce processus correctement et complètement sans faire appel aux nombres d'oxydation des éléments mis en jeu, ni s'intéresser aux variations de ces états d'oxydation, ni même catégoriser ce type de réaction comme appartenant aux réactions d'oxydoréductions. Il n'en reste pas moins que les combustions sont un type de réaction d'oxydoréduction, raison pour laquelle ces deux concepts sont reliés. De façon analogue, nous avons dégagé un troisième niveau de concept théorique qui se résume dans le cas étudié à un seul concept : le principe de conservation de la matière (conservation des éléments chimiques et de la masse des réactifs). Ce niveau théorique est non spécifique aux équations d'oxydoréductions dans la mesure où il s'applique à tous les types de réactions chimiques et il est convoqué dès qu'il s'agit d'équilibrer une équation de réaction ou de mener à bien des calculs stoechiométriques relatifs aux quantités de matière des réactifs engagés ou de produits formés.



Le site « Réactions rédox »

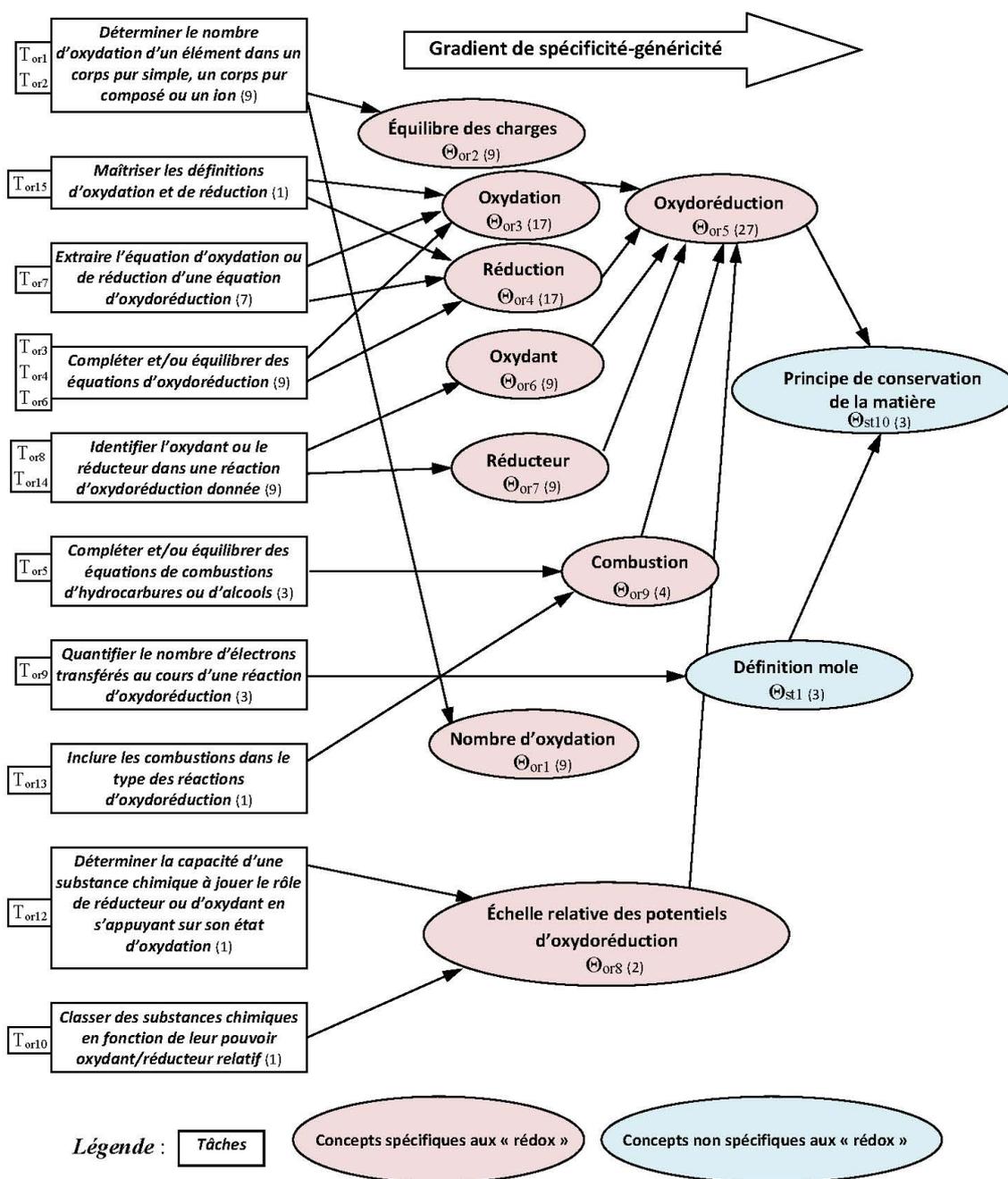


Figure 3 : Site en chimie relatif au thème « Réactions rédox » issu des analyses à priori menées sur les énoncés des examens de chimie de maturité suisse (effectifs).



Dans cette représentation spatiale, nous avons à nouveau tenté de situer les concepts dans l'ordre croissant de l'étendue du champ qu'ils couvrent. Le concept d'oxydoréduction se situe à droite des concepts d'oxydation, de réduction, d'oxydant et de réducteur car il les englobe de facto. L'échelle relative des potentiels d'oxydoréduction nous permet de prévoir si une réaction d'oxydoréduction peut effectivement avoir lieu spontanément ou pas. Nous la situons donc à gauche du concept d'oxydoréduction. Enfin le concept situé le plus à droite est le principe de conservation de la matière (selon la Loi de Lavoisier) d'une portée très générale.

Quelques réflexions plus générales sur la structure des sites

Nous notons qu'un même concept, peut figurer de façon spécifique ou non spécifique, dans les sites « tâches-concepts » en chimie de deux ou plusieurs thèmes, ce qui permet de relier des sites en chimie entre eux. Le concept de mole est non spécifique au thème des réactions d'oxydoréduction, nous le situons donc dans la partie droite du site « Réactions Rédox », alors qu'il occupe une position plus centrale dans le site « Stœchiométrie ». Enfin les sites permettent de mettre en évidence que le nombre de concepts qui sous-tendent un type de tâche peut varier d'un à quatre, ce qui permet d'ouvrir la question du degré de difficulté d'un type de tâche en fonction du nombre de concepts à convoquer. Nos sites rendent donc visibles la relation épistémologique entre certains types de tâches et les concepts qu'elles opérationnalisent ; l'ensemble des types de tâches traités dans une série de session d'examen et le maillage des concepts devant être maîtrisés, ainsi que le degré de spécificité – généricité de certains concepts en regard d'un thème. Ce dernier aspect nous semble fondamental dans une perspective de planification des thèmes à traiter au fil de l'année, mais aussi de régulation du travail des élèves.

Un exemple d'opérationnalisation des sites « tâches-concepts » : le problème de la détermination de la composition chimique d'une pièce de monnaie

Une application possible des deux sites créés consiste à élaborer des problèmes à résoudre par les élèves, en prenant comme point de départ les concepts dégagés dans les deux sites. Nous montrons à cette occasion comment les deux sites « Stœchiométrie » et « Réactions redox » sont inter-reliés.

Le problème proposé ci-dessous (figure 4) permet de traiter de multiples tâches liées aux thèmes des oxydoréductions et de la stœchiométrie. Il repose sur plusieurs concepts tirés des deux sites issus de ces thèmes : Θ_{or1} , Θ_{or2} , Θ_{or3} , Θ_{or4} , Θ_{or5} , Θ_{or6} , Θ_{or7} , Θ_{or8} , Θ_{st4} , Θ_{st5} , Θ_{st6} , Θ_{st10} , Θ_{st12} et Θ_{st13} . Les types de tâches reliées à ces concepts sont contextualisées dans un problème qui a une pertinence sociale : la détermination de la composition chimique des pièces de monnaie est un moyen de vérifier si elle peut être le fruit d'une contrefaçon ou non. L'analyse de la composition chimique d'une pièce de 5 CHF, formée d'un alliage de cuivre et de nickel, peut se faire par la réaction du nickel avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl), dont l'excès est titré en retour. Nous veillons à utiliser des valeurs réelles, telles que la masse



d'une pièce de 5 CHF et les pourcentages de cuivre et de nickel d'une pièce authentique ou, des valeurs réalistes, telles que les concentrations molaires des solutions d'acide et de base, ainsi que les volumes engagés, notamment celui de la solution d'hydracide qui doit être au moins en léger excès.

Les pièces de monnaie helvétiques de 5 francs sont fabriquées en cupronickel. Il s'agit d'un alliage de cuivre à 75% et de nickel à 25%. Une pièce de 5 CHF a une masse de 13.2 g. Régulièrement, des faussaires en fabriquent des contrefaçons. Afin de vérifier un lot de pièces de 5 CHF, un laboratoire procède à l'analyse de la composition chimique d'une pièce de 5 CHF.



- A.** La pièce est plongée dans 60 mL d'une solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 2 mol/L. Le cuivre (Cu) n'a pas réagi avec l'acide chlorhydrique, en revanche le nickel (Ni) a totalement réagi.
- 1) Expliquez pour quelle raison le cuivre ne réagit pas avec la solution d'acide chlorhydrique, alors que le nickel réagit.
 - 2) Ecrivez l'équation équilibrée de la réaction de l'acide chlorhydrique avec le nickel, sachant qu'il se forme du chlorure de nickel (NiCl_2) et de l'hydrogène (H_2).
 - 3) Attribuez les nombres d'oxydation de chaque élément des substances de cette réaction.
 - 4) Justifiez qu'il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction.
 - 5) Ecrivez la demi-équation d'oxydation.
 - 6) Ecrivez la demi-équation de réduction.
 - 7) Identifiez le réducteur en justifiant votre réponse.
 - 8) Identifiez l'oxydant en justifiant votre réponse.
- B.** Une partie des 100 mL de la solution d'acide chlorhydrique a été consommée en réagissant avec le nickel; le reste de cette solution n'a pas réagi. Afin de déterminer l'excès d'acide chlorhydrique, on le fait réagir avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 1 mol/L. Le volume de la solution d'hydroxyde de sodium nécessaire à atteindre le point équivalent vaut 38 mL.
- 1) Calculez le pourcentage de nickel présent dans la pièce de 5 CHF et déduisez si la pièce de 5 CHF est authentique ou est une contrefaçon.

Figure 4 : le problème de la détermination de la composition chimique d'une pièce de CHF 5.-

Dans le tableau ci-dessous (cf. tableau 1), nous avons résumé pour chaque étape, les éléments de réponses qui font apparaître des techniques et/ou des technologies nécessaires à la résolution de ce problème, et plus systématiquement les concepts théoriques en jeu, tels que nous les avons formalisés dans les sites «Stoechiométrie» et «Réactions redox».



Questions	Éléments de réponses : techniques / technologies	Théorie								
A.1)	$E^\circ (\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) > E (\text{H}^+/\text{H}_2) > E^\circ (\text{Ni}^{2+}/\text{Ni})$	Θ _{or8}								
A.2)	$2 \text{HCl} + \text{Ni} \rightarrow \text{NiCl}_2 + \text{H}_2$	Θ _{st10}								
A.3)	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">+1 -1</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">+2 -1</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">HCl</td> <td style="text-align: center;">Ni</td> <td style="text-align: center;">NiCl₂</td> <td style="text-align: center;">H₂</td> </tr> </table>	+1 -1	0	+2 -1	0	HCl	Ni	NiCl ₂	H ₂	Θ _{or1}
+1 -1	0	+2 -1	0							
HCl	Ni	NiCl ₂	H ₂							
A.4)	C'est une réaction d'oxydoréduction en raison des variations des états d'oxydations subis par le nickel et l'hydrogène. Elles sont le signe d'un transfert d'électrons, caractéristique des équations d'oxydoréduction.	Θ _{or5}								
A.5)	$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2 \text{e}^-$	Θ _{or3}								
A.6)	$2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	Θ _{or4}								
A.7)	Le réducteur est le réactif donneur d'électrons, autrement dit celui qui subit l'oxydation. Dans ce cas, il s'agit de l'atome de nickel (Ni)	Θ _{or7}								
A.8)	L'oxydant est le réactif qui gagne des électrons autrement dit celui qui subit la réduction. Dans ce cas c'est l'ion hydrogène (H ⁺)	Θ _{or6}								
B.1)	$\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$	Θ _{st12} Θ _{st10}								
	$n_{\text{NaOH}} = c \cdot V = 1 \times 0.038 = 0.038 \text{ mol}$	Θ _{st5}								
	$n_{\text{HCl en excès}} = n_{\text{NaOH}} = 0.038 \text{ mol}$	Θ _{st10}								
	$n_{\text{HCl initial}} = c \cdot V = 2 \times 0.060 = 0.120 \text{ mol}$ $n_{\text{HCl ayant réagi}} = 0.120 - 0.038 = 0.082 \text{ mol}$	Θ _{st13}								
	$n_{\text{Ni}} = \frac{n_{\text{HCl}}}{2} = \frac{0.082}{2} = 0.041 \text{ mol}$	Θ _{st10}								
	$m_{\text{Ni}} = M \cdot n = 58.7 \times 0.041 \cong 2.41 \text{ g}$	Θ _{st6}								
	Pourcentage de Ni dans la pièce de 5 CHF = $\frac{2.41}{13.2} \times 100 \cong 18.3 \%$	Θ _{st4}								
En comparant ce pourcentage de nickel à celui d'une pièce de 5 CHF authentique : 18.3% ≠ 25%, il est possible d'en déduire que l'écart est tel que la pièce analysée est une contrefaçon.										

Tableau 1 : les réponses au problème

Ainsi dans la détermination de la composition chimique de la pièce de 5 CHF par la réaction du nickel avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl) dont l'excès est titré en retour, différents concepts peuvent être mobilisés (cf. tableau 2).

Site « Réaction Rédox »	Site « Stœchiométrie »
<ul style="list-style-type: none"> - l'échelle relative des potentiels redox des espèces chimiques en jeu, - les nombres d'oxydation des réactifs et des produits, - l'identification d'une réaction d'oxydo-réduction, - la demi-équation d'oxydation et la demi-équation de réduction, - les notions d'oxydant et de réducteur 	<ul style="list-style-type: none"> - principe de conservation de la matière (conservation des espèces chimiques et des masses de réactifs) - neutralisation d'une solution acide par un base - détermination de la quantité de matière à partir de la concentration et du volume - notion de réactif en excès - détermination de la masse à partir de la quantité de matière et de la masse atomique - fraction massique d'une espèce chimique dans un mélange homogène (alliage)

Tableau 2 : les concepts mobilisés dans le problème

A travers la construction de ce problème, nous montrons comment un enseignant qui prépare ses élèves à l'examen de chimie de la maturité suisse, peut contrôler le déploiement des concepts nécessaires à la maîtrise des thèmes prescrits dans le programme, en proposant des questions qui mobilisent précisément ces concepts. En l'état de l'énoncé, le niveau de guidance de la partie A est volontairement très élevé : il correspond aux attentes de l'examen de maturité de chimie au niveau standard (discipline fondamentale). En revanche, la partie B de ce problème engage l'élève dans un travail de résolution qui compte huit étapes dépourvues de sous-questions offrant



alors un problème complexe, dans lequel les élèves doivent décider d'une stratégie de résolution (et sans doute en essayer plusieurs). En diminuant ainsi le niveau de guidance, celui de difficulté est augmenté. Cette partie du problème pourrait être destinée, par exemple, à des élèves ayant choisi le niveau de chimie avancé (option spécifique) pour l'examen de maturité. A l'inverse, le niveau de difficulté, pourrait être réduit en donnant, par exemple, l'équation d'oxydoréduction déjà équilibrée, ou encore, en choisissant une équation d'oxydoréduction dans laquelle tous les coefficients stœchiométriques valent 1.

Discussion des résultats

En prenant appui sur les travaux de Erdogan & Duchet (2005), et Silvy, Delcroix & Mercier (2013) en didactique des mathématiques, nous avons élaboré des sites « tâches-concepts » en chimie qui modélisent les éléments de savoirs en lien avec les types de tâches présentes dans les épreuves de chimie de la maturité suisse. Le premier constat qui s'impose est que les objets à enseigner à propos des deux thèmes que nous avons exploré sont bien plus étendus que ce qui est officiellement désigné dans les Directives données par le SEFRI. Les deux sites présentent, à nos yeux, un caractère qui est avant tout opérationnel. Différents types d'utilisations sont envisageables pour ce type de sites en plus de la raison initiale qui nous a conduit à les créer. Nous pensons à un outil d'apprentissage ou de consolidation des savoirs et savoir-faire pour les élèves, ou encore à la formation initiale des enseignants en chimie en Suisse romande. Nous réfléchissons par ailleurs à la création de nouveaux sites correspondants aux autres thèmes présents dans le programme, tels que les pH, les liaisons chimiques ou les équilibres chimiques, pour en citer quelques-uns, puis à la création de représentations explicitant les liens que ces différents sites entretiennent entre eux.

A travers l'exemple d'opérationnalisation que nous avons proposé, nous montrons que la construction de sites « tâches-concepts » dans le contexte d'un enseignement aboutissant à une certification permet de déployer les contenus conceptuels d'un curriculum prescrit. Ces sites diffèrent donc fondamentalement des cartes conceptuelles (au sens de Novak et Wandersee), car ils ne reflètent pas des organisations de connaissances élaborées par des sujets singuliers (élèves ou enseignants), mais ils rendent visible une certaine écologie des concepts scientifiques dans des types de tâches propres à chacun des thèmes étudiés. Ces types de tâches reflètent des pratiques institutionnelles de l'enseignement de la chimie au secondaire II et il appartient aux enseignants de faire entrer les élèves dans ces pratiques. Les sites « tâches-concepts » pourraient enrichir les outils didactiques pour les enseignants, au sens où ils fournissent une aide à la programmation des contenus à enseigner, mais aussi une aide à la régulation de l'étude des élèves lorsque ces derniers traitent de problèmes complexes, (composés de plusieurs types de tâches). Du point de vue de la recherche en didactique, les sites « tâches-concepts », fournissent également des systèmes de représentation liminaires des organisations institutionnelles des savoirs, comme point de départ pour interroger les techniques et technologies effectivement utilisées dans les



classes. Dans ce cadre, nos sites pourraient progressivement être amendés par la présence d'objets et de techniques non-strictement liées aux concepts de la chimie, mais qui sont nécessaires à leur opérationnalisation (ex : notion de proportionnalité).

Au-delà du traitement des thèmes « Réactions rédox » et « stœchiométrie », les deux sites présentés constituent des artefacts émergeant d'une forme d'appropriation de la notion de praxéologie par un enseignant de chimie au secondaire II. Cette appropriation, qui vise à construire un outil de pilotage du curriculum mis en œuvre dans la classe, dévoile un usage spécifique de la notion de praxéologie par contraste avec les recherches en didactique qui analysent les formes historiques et sociales de transposition didactique des savoirs en interrogeant la nature des praxéologies en vigueur dans un système didactique donné, à la lumière d'autres organisations possibles (cf. par exemple Croset & Gardes, 2019 ; Pelissier & Venturini, 2016). L'analyse praxéologique qui fonde nos sites « tâches-concepts » produit une densification des rapports de connaissance (au sens de Chevallard, 1992) que l'enseignant doit établir aux objets institutionnels définis par le « texte du savoir », que sont les Directives pour l'examen de maturité du SEFRI. Les deux sites que nous avons construits mettent en évidence les gestes d'étude qu'un enseignant de chimie peut mettre en œuvre pour se rendre capable de construire les problèmes pertinents pour ses élèves afin de « couvrir le programme » au-delà des démarches préconstruites dans les manuels à disposition sur le marché scolaire. Ils constituent ainsi un moyen d'accroître l'agentivité des enseignants dans leur participation au processus de transposition interne (Ligozat & Marlot, 2016).

Ces gestes d'étude consistent en une classification des questions typiquement posées aux élèves dans les épreuves, une analyse praxéologique de ces questions qui fait ressortir les concepts sous-jacents et une mise en réseau des types de tâches autour des concepts noyaux. Ce travail dans les « savoirs à enseigner » pour dégager des « savoirs pour enseigner » est coûteux ; il relève sans doute de ce que Ma (1999) désigne par la notion de « deep pedagogical content knowledge » que les enseignants acquièrent lorsqu'ils travaillent collectivement sur les contenus des manuels de mathématiques. La construction des deux sites « Réactions rédox » et « Stœchiométrie » a fait ici l'objet d'un mémoire professionnel individuel. Cette voie mériterait d'être explorée pour développer de nouveaux rapports aux objets à enseigner par les professeurs, rapports qui peuvent et doivent se construire collectivement comme un marqueur de la profession (Chevallard & Cirade, 2010).

Nous tenons à remercier l'un des experts qui nous a conseillé des références bibliographiques pertinentes et nous a permis de progresser dans l'écriture de cet article, par ses commentaires bienveillants.



Références

- Astolfi, J.P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences : repères, définitions, bibliographies* (2. éd). Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Chevallard, Y. (1985,1991). *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné* (2. éd.). Grenoble, France : La pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (2002a). Organiser l'étude. Structures et fonctions (Cours 1). Dans J.-L. Dorier, M. Artaud, M. Artigue, R. Berthelot et R. Floris (dir.), *Actes de la 11e Ecole d'été de Didactique des Mathématiques, Corps, 21-30 Août 2001*. (vol. 1, p. 3-22). Grenoble, France : La Pensée sauvage
- Chevallard, Y. (2002b). Organiser l'étude. Ecologie et régulation (Cours 3). Dans J.-L. Dorier, M. Artaud, M. Artigue, R. Berthelot, et R. Floris (dir.), *Actes de la 11e Ecole d'été de Didactique des Mathématiques, Corps, 21-30 Août 2001*. (vol. 1, p. 41-56). Grenoble, France : La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (2007). Passé et présent de la théorie anthropologique du didactique. Dans L. Ruiz-Higuera, A. Estpa et F. Javier García (dir.), *Aportaciones de la Teoría Antropológica de la Didáctica*. (p. 705-746). Jaén, Espagne : Universidad de Jaén.
- Chevallard, Y. et Cirade, G. (2010). Les ressources manquantes comme problèmes professionnel. Dans G. Gueudet et L. Trouche (dir.), *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs de mathématiques* (41-56). Lyon, France : PUR & INRP.
- Croset, M.-C. et Gardes, M.-L. (2019). Une comparaison praxéologique pour interroger l'enseignement du nombre dans l'institution Montessori. *Recherches en didactique des mathématiques*, 39(1), 51-96.
- Cross, D. (2010). Action conjointe et connaissances professionnelles de l'enseignant. *Éducation et didactique*, 4(3), 39-60. Repéré à <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.850>
- Cross, D. et Maréchal, J.-F. L. (2013). Analyse de sujets de devoirs en chimie en classe de terminale : point de vue de la charge cognitive. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 8, 169-192. Repéré à <https://doi.org/10.4000/rdst.725>
- Duchet, P. & Erdogan, A. (2005). Pupil's autonomous studying: From an epistemological analysis towards the construction of a diagnosis. *Proceedings of the 4th. Congress of the European society for Research in Mathematics Education, 18-21 February 2005, WG6* (p. 663-674). Repéré à https://www.mathematik.uni-dortmund.de/~erme/CERME4/CERME4_WG6.pdf
- Erdogan, A. (2006). *Le diagnostic de l'aide à l'étude en mathématiques. Analyse didactique des difficultés relatives à l'algèbre et aux fonctions en Seconde* (Thèse de doctorat, Paris 7 Diderot, Paris, France). Repéré à <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00261943/>
- Garnett, P.J. & Treagust, D.F., (1992), Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of research in science teaching*, 29(2), 121-142.
- Herrero, M. (2016). *Curricula et évaluations. Etude de cas comparatiste au regard des examens de chimie certificatifs de la maturité suisse et du baccalauréat international* (Maîtrise d'études avancées). Université de Genève, Genève, Suisse.
- Hofstetter, R. et Schneuwly, B. (2009). *Savoirs en (trans) formation : au cœur des professions de l'enseignement et de la formation*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Kermen, I. et Barroso, M.T. (2013). Activité ordinaire d'une enseignante de chimie en classe de terminale. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 8, 91-114. doi: 10.4000/rdst.785
- Kermen, I. & 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.
- Khanfour-Armalé, R. et Le Maréchal, J.-F. (2009). Représentations moléculaires et systèmes sémiotiques. *Aster*, 48, 63-88.
- Lafarge, D. (2010). *Analyse didactique de l'enseignement-apprentissage de la chimie organique jusqu'à bac+2 pour envisager sa restructuration*. (Thèse de doctorat). Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.
- Langlois, F., Raulin, P. et Chastrette, M. (1994). Une activité pour les modules : la construction de cartes conceptuelles. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 88(760), 69-83.
- Lavoisier, A. (1864). *Traité élémentaire de chimie*. Paris, France : Editions Ministère de l'instruction publique.
- Ligozat, F. et Marlot, C. (2016). Un espace interprétatif partagé entre l'enseignant et le didacticien est-il possible ? Développement de séquence d'enseignement scientifique à Genève et en France. Dans F. Ligozat, M. Charmillot et A. Muller (dir.), *La partage des savoirs dans les processus de recherche en éducation* (p. 143-164). Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.



- Ma, L. (1999). *Knowing and teaching elementary mathematics: Teachers' understanding of fundamental mathematics in China and the United States*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mercier, A. (2008). Pour une lecture anthropologique du programme didactique. *Éducation et didactique*, 2(1), 7-40.
- Mercier, A. et Tiberghien, A. (2008, 2017). Didactique des mathématiques et des sciences. A. van Zanten et P. Rayou (dir.), *Dictionnaire de l'éducation* (2^e ed., p. 187-190). Paris, France : Presses universitaires de France.
- Novak, J.D. & Gowin, D.B. (1984). *Learning How to learn*. New York, NJ: Cambridge University Press.
- Novak, J.D. (1990). Concept Mapping: A useful tool for science education. *Journal of research in science teaching*, 27(10), 937-49.
- Pekdağ, B. & Azizoğlu, N. (2013). Semantic mistakes and didactic difficulties in teaching the “amount of substance” concept: A useful model. *Chemistry education research and practice*, 14(1), 117-129.
- Pekdağ, B. & Le Maréchal, J.-F. (2010). An exploratory framework for chemistry education: The two-world model. *Eğitim ve Bilim / Education and Science*, 35(157), 84-99.
- Pélissier, L. et Venturini, P. (2016). Analyse praxéologique de l'enseignement de l'épistémologie de la physique : Le cas de la notion de modèle. *Éducation et didactique*, 10(102), 63-90.
- SEFRI. (s.d.). Examen suisse de maturité. Repéré à <https://www.sbf.admin.ch/sbfi/fr/home/themes/1-espace-suisse-de-formation/maturite/examen-suisse-de-maturite.html>.
- Silvy, C. et Delcroix, A. (2009). Site mathématique d'une Restitution Organisée de Connaissances : une nouvelle façon d'interroger un exercice ? *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 14, 103-122.
- Silvy, C., Delcroix, A. et Mercier, A. (2013). Enquête sur la notion de « pedagogical content knowledge », interrogée à partir du « site local d'une question ». *Éducation et didactique*, 7(1), 33-58.
- Stains, M. & Talanquer, V., (2008), Classification of chemical reactions: stages of expertise, *Journal of research in science teaching*, 45(7), 771-793.
- Taber, K.S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some consideration from educational research. *Chemistry education research and practice*, 2(2), 123-158.
- 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.
- Tribollet, B., Langlois, F. et Jacquet, L. (2000). Protocoles d'emploi des cartes conceptuelles au lycée et en formation des maîtres. *Tréma*, (18), 61-78.
- Treagust, D., Chittleborough, G. & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International journal of science education*, 25(11), 1353-1368.
- Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Paris, France : Libr. Honoré Champion.
- Wandersee, J.H. (1990). Concept mapping and the cartography of cognition. *Journal of research in science teaching*, 27(10), 923-936.