

Les enjeux de l'enseignement-apprentissage de la transformation chimique au secondaire I : regards croisés sur les prescriptions officielles et ressources formelles en Suisse romande et en France

Marie Sudriès, Université de Genève et Université de Montpellier - UPVM

Florence Ligozat, Université de Genève

David Cross, Université de Montpellier - UPVM

Cet article propose d'interroger les conditions d'enseignement-apprentissage du concept de transformation chimique par des élèves de 13-15 ans, en Suisse romande et en France. L'analyse des prescriptions officielles et des ressources formelles nous montrent que, si ce concept est au cœur du curriculum de chimie dès le secondaire I, il est également présent en biologie/géographie/SVT, via la notion de « cycle du carbone », objet au cœur de questions complexes en lien avec le réchauffement climatique. Au-delà de l'enseignement-apprentissage de la transformation chimique dans le cadre strictement disciplinaire de la chimie, il s'agit donc de comprendre comment ce concept peut soutenir le traitement de questions complexes et d'ainsi contribuer à la formation des citoyen-ne-s.

1. Introduction

Au cours des deux dernières décennies, l'enseignement des disciplines scientifiques a fait l'objet de profondes mutations en regard des nouvelles problématiques qui se sont imposées dans la société, interrogeant tout particulièrement les rapports entre les êtres humains et leur environnement. À l'heure actuelle, dans la plupart des pays européens, l'enseignement des sciences ne consiste plus seulement à transmettre des savoirs disciplinaires - soit l'ensemble des concepts, modèles et méthodes propres à une discipline - pour former la relève scientifique, mais cherche à apporter aux futur·e·s citoyen·ne·s les connaissances, les compétences et les attitudes nécessaires à la compréhension du monde et de son fonctionnement.

Du point de vue des systèmes scolaires francophones, le double objectif consistant à « éduquer et instruire » est inscrit depuis longtemps dans les lois qui régissent l'enseignement. En introduction au Plan d'études, la Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin [CIIP] (2010a) stipule que : « L'École publique assume des missions d'instruction et de transmission culturelle auprès de tous les élèves. Elle assure la construction de connaissances et l'acquisition de compétences permettant à chacun et chacune de développer ses potentialités de manière optimale. » (para. 5). En France aussi, l'article L111-1 du Code de l'Éducation du 26 août 2021 stipule que « Le droit à l'éducation est garanti à chacun afin de lui permettre de développer sa personnalité, d'élever son niveau de formation initiale et continue, de s'insérer dans la vie sociale et professionnelle, d'exercer sa citoyenneté ».

A propos de l'enseignement des sciences en particulier, la Conférence intercantonale de l'instruction publique de Suisse romande et du Tessin, déclare que l'École publique :

Fonde et assure le développement [...] d'une culture scientifique s'appuyant à la fois sur les sciences humaines et sociales et sur les sciences de la nature ; intégrant des capacités relevant de la démarche scientifique et développant la capacité à comprendre son environnement humain, social et politique. (2010a, para. 6-10)

Le préambule au PER précise donc les enjeux de l'enseignement des sciences à l'École : fournir à chacun·e une culture scientifique et technique (CST), utile à l'exercice de sa citoyenneté. La même idée se retrouve dans les programmes français, selon lesquels l'enseignement des sciences doit permettre à l'élève :

De vivre et préparer une citoyenneté responsable, en particulier dans les domaines de la santé et de l'environnement : en construisant sa relation au monde, à l'autre, à son propre corps ; en intégrant les évolutions économiques et technologiques, pour assumer en citoyen les responsabilités sociales et éthiques qui en découlent. (Ministère de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports [MEN], 2018, p. 106)

Selon les textes officiels de ces deux systèmes éducatifs, l'enseignement des sciences dans la perspective de transmission d'une CST s'oriente donc vers une approche complexe au sens de Morin (1982) du monde et de son fonctionnement.

La chimie semble particulièrement à même de participer à la construction d'une CST. En effet, l'autonomie de la discipline s'est construite avec le développement de l'industrie, notamment via l'essor des produits de synthèse (Bensaude-Vincent et Stengers, 2001). Ainsi, si certains produits de la chimie peuvent être nocifs pour l'environnement, les modèles développés en chimie permettent également d'étudier les phénomènes en jeu dans les problèmes environnementaux. Considérons, par exemple, la combustion du charbon. En chimie ce phénomène est décrit comme une transformation chimique. Elle produit du dioxyde de carbone gazeux, considéré comme étant un gaz à effet de serre (GES), principal responsable du réchauffement climatique. Le modèle des combustions permet donc de comprendre la relation entre activités humaines (industrielles et transports) et réchauffement climatique. Dans le débat public, il est sous-entendu derrière les expressions « bilan carbone » et « émission de GES ». Nous pouvons voir, à travers cet exemple, quelques rapports entre les savoirs de la chimie et les questions environnementales.

La transformation chimique est un concept central de la chimie : il permet de modéliser, grâce à la réaction chimique, les transformations de la matière dans l'objectif de comprendre, d'interpréter et de prédire des phénomènes visibles (Kermen, 2018). Aussi, l'enseignement-apprentissage du concept de transformation chimique est une étape importante du curriculum de chimie permettant d'introduire un niveau d'explication microscopique, en mobilisant des objets spécifiques : les molécules et les atomes. Le concept a donc fait l'objet de recherches en didactique depuis les années 1980, à travers l'étude des conceptions des élèves et l'élaboration d'ingénieries didactiques qui ont permis d'appréhender les dimensions conceptuelles de son apprentissage. En outre, comme le souligne Rebaud (1994) : « la réaction chimique n'est pas circonscrite à une discipline. Elle est aussi au cœur de la compréhension des phénomènes biophysiques, géologiques et écologiques » (p. 9).

Dans la partie qui suit, nous allons discuter du potentiel de l'enseignement des sciences en général et de la chimie en particulier pour construire une CST.

2. Construire une CST à travers l'enseignement des sciences

2.1 Intentions des curricula

Dans les pays anglophones et d'Europe du Nord, des études sur les enjeux de l'enseignement scientifique sont menées depuis plusieurs décennies (Fensham, 1988; Hasni, 2005 ; Roberts 1988, 2007; Roberts et Bybee, 2014 ; Van Berkel, 2005).

Les travaux de Roberts et Bybee (2014), en particulier, identifient dans les curricula anglophones, deux visions de l'éducation scientifique, orientées vers des finalités distinctes :

- la *vision I* privilégie l'étude des concepts et des méthodes, notamment l'investigation scientifique, dans la filiation des disciplines académiques. Elle se concentre sur une approche conceptuelle des phénomènes étudiés en laissant à la marge les contextes sociaux et culturels dans lesquels ils s'inscrivent. Cette approche de l'éducation scientifique a pour principale finalité de transmettre les savoirs et les démarches nécessaires pour comprendre le monde et pour former les scientifiques de demain.
- la *vision II* considère que l'étude des concepts et des méthodes scientifiques est seulement une partie de l'éducation scientifique que l'école doit donner à la-au citoyen-ne. Elle met en avant la dimension complexe des situations qui impliquent les activités humaines, et incorpore l'étude des concepts et méthodes scientifiques à l'analyse de ces situations. Cette approche a pour objectif la formation de citoyen-ne-s éclairé-e-s.

Les auteurs précisent qu'un enseignement des sciences adapté à chacun-e, se doit de trouver un équilibre entre ces deux visions (p. 556).

A propos de l'enseignement de la chimie spécifiquement, l'étude de Van Driel et al. (2005) utilise trois principales intentions du curriculum des Pays-Bas, qu'ils nomment : « Chimie, technologie et société », « Fondements théoriques de la chimie » et « Epistémologie de la chimie ». Une étude similaire menée en Allemagne par Eilks et al. (2013) identifie six « orientations » du curriculum du chimie : « Approche par les questions environnementales », « Approche par les questions techniques et industrielles », « Approche par les questions scientifiques socialement vives (QSSV) », « Approche par les questions de la vie quotidienne », « Structure de la discipline académique » et « Structure selon l'histoire de la chimie ».

La mise en perspective de ces trois études, montre que les travaux menés sur les curricula de chimie spécifient et précisent les deux visions de l'éducation scientifique de Roberts et Bybee (2014).

Tableau 1

Comparaison des études sur les intentions des curricula de sciences et de chimie

<i>Curriculum emphasis in chemistry</i> (Van Driel et al., 2005) Intentions du curriculum de chimie	« Fundamental Chemistry » Fondements théoriques de la chimie	« Knowledge Development in Chemistry » Epistémologie de la chimie	« Chemistry, Technology, Society » Chimie, technologie et société			
<i>General orientations of the chemistry curriculum</i> (Eilks et al., 2013) Orientations du curriculum de chimie	« Structure of the discipline orientation » Structure de la discipline académique	« History of chemistry orientation » Structure selon histoire de la chimie	« Everyday life orientation » Approche par des questions de la vie quotidienne	« SSI orientation » Approche par des QSSV	« Technology and industry orientation » Approche par des questions industrielles et techniques	« Environmental orientation » Approche par des questions environnementales
<i>Two visions of scientific education</i> (Roberts et Bybee, 2014) Les deux visions de l'éducation scientifique	Vision I		Vision II			

2.2 Mises en œuvre possibles en classe de chimie

Certains travaux anglophones s'intéressent aux possibilités d'articulation des questions environnementales à l'enseignement de la transformation chimique, dans une perspective de construire une CST. Nous allons maintenant les présenter. Les travaux de Mohan et al. (2009) d'une part, Zangori et al. (2017) d'autre part, pointent la nécessité de rendre explicite le rôle de la transformation chimique dans l'enseignement du cycle du carbone, en particulier dans l'objectif d'appréhender la complexité de l'anthropocène.

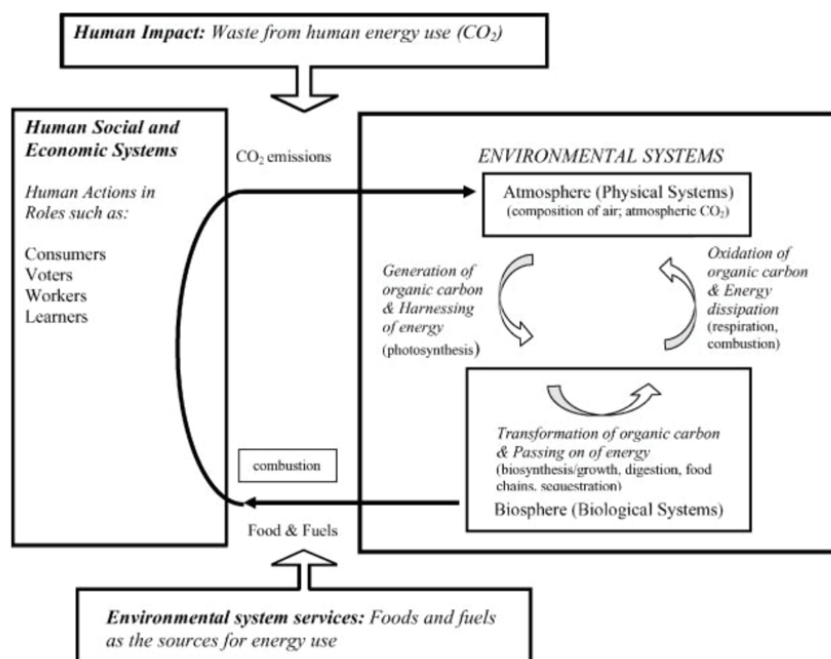
Dans un ensemble de travaux sur la construction de progressions d'apprentissages intégrant différentes disciplines scientifiques, Mohan et al. (2009) mettent en avant le rôle de modèles disciplinaires tel que la transformation chimique pour penser la complexité du cycle du carbone. Ces chercheur-e-s identifient également la difficulté que représente cette mise en relation. Dans le cas du cycle du carbone, la compréhension de certaines parties du système repose sur des lois physico-chimiques relatives à la matière et à l'énergie, en particulier le principe de conservation. Dans l'objectif de faire entrer les élèves dans l'approche complexe nécessaire à la compréhension de l'anthropocène, Mohan et al. (2009) proposent un cycle du carbone où les activités socio-économiques propres à l'espèce humaine sont distinguées des phénomènes biogéochimiques. Ces deux compartiments sont mis en relation par des flèches dont l'interprétation mobilise des réactions chimiques (combustion).

Mohan et al. (2009) cherchent à identifier différents niveaux de modélisation du cycle du carbone dans le discours d'élèves de 9 à 18 ans¹ lorsqu'elles-ils doivent expliquer une situation qui implique des transformations de l'élément carbone (combustion et décomposition, notamment). Ces niveaux sont décrits comme quatre paliers dont chacun regroupe les arguments ou les concepts similaires retrouvés dans les réponses des élèves pour interpréter un exemple de transformation de la matière. Parmi ces concepts, la transformation chimique et le principe de conservation de l'élément carbone sont particulièrement recherchés. Dans la perspective de reconnecter enseignement de la chimie et construction d'une CST², Mohan et al. (2009) proposent d'envisager les quatre paliers identifiés par leur étude comme autant d'étapes d'enseignement du cycle du carbone, jusqu'au palier 4, où la complexité de l'anthropocène est expliquée à la lumière des savoirs de chimie.

¹ L'étude concerne des classes américaines de 4th à 12th grades : de la 6^e H à la fin du cycle post-obligatoire dans le système scolaire suisse, du CM1 à la Terminale dans le système scolaire français.

² « science literacy » dans le texte, nous choisissons cette traduction pour insister sur la dimension « éducation » qu'elle porte.

Figure 1
Cycle du carbone extrait de Mohan et al. (2009, p. 677)



Dans leur étude, Zangori et al. (2017) cherchent une approche pour concilier enseignement du cycle du carbone et formation des citoyen-ne-s. Selon ces auteur-e-s, les savoirs scientifiques sont indispensables pour comprendre les enjeux environnementaux actuels tel que le changement climatique, mais doivent être mis en relation avec les dimensions politiques, sociales et économiques qu'ils impliquent (approche complexe). Pour y parvenir, ces auteur-e-s proposent d'entrer par une QSSV³ pour mettre en relation l'enseignement du cycle du carbone et le changement climatique (élèves de 15-16 ans⁴). À la fin de la séquence, les résultats montrent que les élèves mobilisent des savoirs spécifiques tels que la transformation chimique pour interpréter le changement climatique à l'aide du cycle du carbone mais que le modèle qui sous-tend la transformation chimique reste encore confus. Parmi ces modèles, la conservation de l'élément carbone leur semble être essentielle pour comprendre l'interdépendance des processus représentée dans le cycle du carbone et donc les causes de son déséquilibre. Les résultats de cette étude montrent que les élèves qui maîtrisent le concept de combustion du carbone parviennent à expliquer comment l'élément carbone peut se trouver en excès dans l'atmosphère, première étape pour comprendre le réchauffement climatique.

Toutefois, ces études de type « design-based research » se focalisent essentiellement sur la progression du processus de modélisation des élèves lorsqu'ils interprètent des phénomènes de transformation de la matière et ne prennent pas en charge l'étude des pratiques telles qu'elles découlent des prescriptions officielles.

2.3 Le potentiel de l'enseignement de la transformation chimique pour construire une CST en Suisse romande et en France : problématisation

Dans les pays francophones, la manière dont le concept de transformation chimique est enseigné ordinairement dans les classes reste peu investiguée. Afin de comprendre les enjeux et les contraintes en arrière-plan des situations d'enseignement-apprentissage de la transformation chimique, cette étude se propose de comparer les modes de transposition externe au sens de Chevallard (1991) de ce concept dans deux contextes éducatifs distincts que sont la Suisse romande et la France. Ligozat et Leutenegger (sous presse) montrent l'intérêt de comparer des pratiques didactiques à propos d'un même enjeu de savoir dans différents contextes institutionnels, et notamment différents pays. La comparaison prend alors une fonction de laboratoire anthropologique pour

³ « socio scientific issue » (p. 1252)

⁴ 10th grade aux Etats-Unis : début du cycle post-obligatoire dans le système scolaire suisse, classe de Seconde en France.

étudier les processus de transposition à l'œuvre dans chaque contexte, et en dégager les dimensions naturalisées dans chacun des systèmes. Le chapitre de Ligozat et Leutenegger (sous presse) et les études citées dans celui-ci montrent que, étant donnée leur langue commune et sous certains aspects de leurs organisations, les systèmes scolaires français et suisse-romand présentent des similitudes, qui facilitent la comparaison. Ainsi, nous nous demandons :

- Comment l'enseignement du concept de transformation chimique est-il prescrit en Suisse romande et en France ? Pour répondre à quels enjeux d'apprentissage ?
- Comment le concept de transformation chimique est-il représenté dans les ressources formelles en Suisse romande et en France ? Pour répondre à quels enjeux d'apprentissage ?

En mettant en perspective les modes de transposition de la transformation chimique dans deux contextes institutionnels, nous cherchons à mettre en évidence de quelle manière ce concept contribue à la construction d'une CST pour les élèves.

Enfin, dans les grands enjeux confiés à l'enseignement scientifique en Suisse romande et en France (voir introduction), nous pouvons reconnaître des éléments des *visions I* et *II* décrites par Roberts et Bybee (2014) : d'une part former la relève scientifique, d'autre part assurer la formation des citoyen-ne-s en offrant à chacun-e les outils nécessaires à la compréhension et à la critique de situations complexes. S'il paraît évident que dans la réalité de la mise en œuvre des curricula, ces deux visions ne peuvent être pensées de manière totalement dichotomique, elles nous apparaissent comme des catégories pertinentes pour étudier les choix de transposition qui sont faits à propos de l'enseignement de la transformation chimique. Par la suite, nous les nommerons : *vision I* ou « vision disciplinaire » ; *vision II* ou « vision complexe ».

3. Analyse des prescriptions officielles concernant la transformation chimique

3.1 Contextualisation : organisation des curricula en Suisse romande et en France

Dans les cantons de Suisse romande, le Plan d'études romand (PER) propose d'organiser l'enseignement des sciences dans la partie « Sciences de la nature » du domaine « Mathématiques et Sciences de la nature (MSN) » (CIIP, 2010g). Les Sciences de la nature s'organisent selon trois thématiques : *Phénomènes naturels et techniques*, *Corps humain*, *Diversité du vivant*, auxquelles s'ajoute la thématique *Modélisation*, partagée avec la partie « Mathématique ». En comparaison avec les disciplines académiques, la thématique *Phénomènes naturels et techniques* rassemble des contenus de l'ordre de la physique et de la chimie, et elle est souvent confiée à un-e enseignant-e physicien-ne de formation (au moins dans le canton de Genève). Les thématiques *Corps humain* et *Diversité du vivant*, à la charge d'un-e même enseignant-e, relèvent plutôt de la biologie.

En France les programmes scolaires suivent un découpage disciplinaire, complété par le « Socle commun de connaissances, de compétences et de culture ». Ainsi dans le secondaire, l'enseignement de la chimie, associé à celui de la physique, est à la charge d'un-e même enseignant-e, de même que la biologie et la géologie sont enseignées ensemble au sein de la discipline « Sciences de la vie et de la Terre » (SVT). Les programmes des disciplines se déploient en différents thèmes, au sein desquels les savoirs sont organisés et programmés en fonction des années du cycle (voir annexe 1 pour une comparaison de l'organisation des deux systèmes scolaires).

L'organisation de l'enseignement des sciences selon des thématiques comme le propose le PER paraît d'emblée favorable à la construction d'une CST. En effet, l'entrée dans les savoirs de physique ou de chimie par une thématique telle que *Phénomènes naturels et techniques* peut donner l'occasion aux élèves d'étudier des phénomènes rencontrés dans la vie quotidienne et qui soulèvent des questions complexes (les conséquences des activités humaines sur l'environnement par exemple). Pour Ligozat et Marty (2019), ce découpage en thématiques répond à une intention de continuité des apprentissages sur l'ensemble de la scolarité de l'élève. Cependant, elles relèvent un « resserrement » des thématiques vers les disciplines académiques au cycle 3 (biologie, physique et, dans une moindre mesure, chimie), alors que les contenus des premiers cycles font appel à plusieurs disciplines. En revanche, du côté des programmes français, ce découpage disciplinaire est explicite aux cycles 3 (9-12 ans) et 4 (12-15 ans). Toutefois, nous relevons la délimitation de disciplines strictement scolaires qui associent des savoirs de disciplines académiques distinctes : « physique-chimie », « Sciences de la vie et de la Terre », « Histoire-géographie » et sont confiées à des enseignant-e-s spécialistes de formation (de la physique et/ou de la chimie, de la biologie et/ou de la géologie, de l'histoire et/ou de la géographie).

3.2 Méthodologie

Notre analyse curriculaire s'intéresse dans un premier temps aux prescriptions officielles des contextes mis à l'étude : le domaine « Mathématiques et sciences de la nature » dans le PER, pour la Suisse romande, et les programmes de physique-chimie du collège promu au Bulletin Officiel (BO), pour la France. Nous utilisons les deux « visions de l'éducation scientifique » de Roberts et Bybee (2014) comme grille de lecture et cherchons, plus précisément à identifier :

Tableau 2

Guide d'analyse des prescriptions officielles

Dans quelle(s) discipline(s) scolaire(s) retrouve-t-on des traces du concept de transformation chimique ?
Quels enjeux d'apprentissage lui sont associés ? En particulier, est-ce qu'il existe des liens avec les questions environnementales ?

Une première lecture des PER/programme nous permet d'identifier que l'enseignement du concept de transformation chimique est prescrit au début du secondaire dans les contextes suisse-romand (cycle 3, élèves de 12-15 ans) et français (cycle 4, élèves de 11-15 ans). Guidés par les questions ci-dessus, nous avons analysé systématiquement le PER du cycle 3 de la thématique Phénomènes naturels et techniques du domaine « Sciences de la Nature » et les programmes de physique-chimie de cycle 4. L'objectif est de repérer dans les textes officiels les enjeux associés à ce concept et d'en déduire la vision de la science ainsi promue. Cette recherche nous a conduit à nous intéresser aux deux autres thématiques du domaine « Sciences de la Nature » du PER, ainsi qu'à la thématique Relations Homme-espace dans le PER de géographie pour le contexte suisse-romand, mais aussi aux programmes de SVT français. En ce qui concerne ces textes officiels, nous avons cherché la présence des concepts « transformation chimique » et « réaction chimique ». Nous avons aussi cherché les extraits où les PER/programmes faisaient référence au principe de conservation de la matière (concept associé à l'enseignement de la transformation chimique

3.3 Résultats

3.3.1 Entre découpage disciplinaire...

Dans le PER, nous retrouvons le concept de transformation chimique au cycle 3, dans le chapitre du MSN 36 intitulé « Matière » de la thématique *Phénomènes naturels et techniques*. Le PER demande que l'élève soit capable de « modéliser des transformations chimiques par des réactions chimiques (équation chimique) » et de « comprendre le principe de conservation de la matière par celle des atomes en utilisant le modèle de la réaction chimique, pour des cas simples, en se limitant à quelques combustions » (CIIP, 2010d, p. 40).

En France, le thème *Organisation et transformations de la matière* est au programme de physique-chimie du cycle 4. L'enseignement du concept de transformation chimique est prescrit à partir de la classe de 4^{ème} (élèves de 13-14 ans). En fin de 3^{ème}, il est attendu des élèves de savoir « interpréter une transformation chimique comme une redistribution des atomes » et d'« utiliser une équation de réaction chimique fournie pour décrire une transformation chimique observée » (MEN, 2020, p. 98).

Dans les deux institutions scolaires étudiées, le concept de transformation chimique apparaît comme particulièrement important pour l'apprentissage des fondements épistémologiques de la discipline. Il initie en effet la mise en relation des niveaux de modélisation macroscopique et microscopique⁵. Sous cet angle, il apparaît que la vision disciplinaire domine dans les textes prescriptifs des deux contextes.

3.3.2... et injonction d'interdisciplinarité

Le PER préconise la mise en relation des savoirs entre les disciplines. Le MSN 36 demande explicitement que : « l'ensemble des thèmes traités permette d'établir des liens avec d'autres domaines ou disciplines, notamment, la dynamique du climat » (CIIP, 2010d p. 39) et propose de faire des liens entre le chapitre à propos de la Matière (relatif à des savoirs de chimie), les thématiques *Diversité du vivant* du MSN 38 (biologie) et *Relation Homme-espace* du SHS 31 (géographie). En effet dans le contexte suisse-romand, certains savoirs qui se rattachent à la discipline académique géologie sont à la charge de l'enseignant-e de géographie.

⁵ Voir Kermen (2018) pour un modèle épistémologique de savoir centré sur la transformation chimique.

De même, le programme français de cycle 4 indique que :

Les transformations chimiques peuvent servir de support pour introduire ou exploiter la notion de transformation chimique dans des contextes variés (vie quotidienne, vivant, industrie, santé, environnement). Elles permettent d'aborder des sujets liés à la sécurité, à notre impact sur le climat et l'environnement (émission de gaz à effets de serre) (...) C'est l'occasion de sensibiliser ainsi les élèves à la notion d'empreinte (ou bilan) carbone. (MEN, 2020, p. 99).

Nous pouvons y voir des liens avec les savoirs relatifs à l'environnement, au programme de SVT du même cycle (MEN, 2020, p. 108). De plus, ces questions environnementales sont explicitement visées par l'introduction du programme de physique-chimie, selon laquelle, en fin de cycle 4, l'élève doit être capable « d'expliquer les impacts engendrés par le rythme et la diversité des actions de l'être humain sur la nature » et « d'approfondir la connaissance des notions indispensables à une bonne compréhension de l'origine du changement climatique et ses conséquences » (MEN, 2020, p. 95).

Avec la mise en relation des disciplines scolaires, les PER/programmes demandent d'enseigner la transformation chimique de sorte qu'elle permette de penser des situations complexes, en lien notamment avec le rôle des activités humaines dans le réchauffement climatique. Nous voyons dans ces prescriptions la prédominance d'une vision complexe de l'éducation scientifique.

3.4 Premières conclusions : la mise en évidence de tensions dans les prescriptions officielles

Les deux visions de l'enseignement scientifique (Roberts et Bybee, 2014) semblent être mises en tension par les prescriptions officielles de ces deux pays francophones. En effet, si les contenus thématiques des PER/programmes en chimie semblent se situer dans une vision strictement disciplinaire, les intentions générales insistent sur le rôle des concepts de chimie pour la formation des citoyen-ne-s, en particulier son rôle, en lien avec d'autres disciplines scolaires, pour la compréhension des questions environnementales (vision complexe). Ainsi, la transformation chimique devrait logiquement être mobilisée dans des situations qui traitent des transformations de la matière d'origines anthropiques et de leurs conséquences sur l'environnement. Ces situations sont majoritairement confiées aux disciplines biologie/géographie/SVT, tout en étant complexes par nature, nous l'avons dit en introduction. Si les prescriptions officielles insistent sur l'importance d'une approche qui dépasse le cloisonnement disciplinaire, les PER/programmes donnent peu d'indications quant à leurs possibles mises en œuvre en classe, en particulier en chimie.

Dans ce qui suit, nous interrogeons les ressources à disposition des enseignant-e-s afin d'identifier de quels moyens elles-ils disposent pour mettre en œuvre les deux intentions associées à la transformation chimique dans les textes officiels.

4. Analyse de quelques ressources à disposition des enseignant-e-s

Le choix des ressources formelles - au sens de l'UNESCO (2011) - que nous avons consultées est guidé par les résultats de l'analyse des prescriptions officielles. Les textes officiels suisse-romands et français préconisent la mise en relation de la transformation chimique avec les questions de climat et d'environnement, pris en charge par les disciplines biologie et géographie en Suisse romande, SVT en France. Le corpus étudié pour le cas suisse-romand comprend donc les Moyens d'enseignement romands (MER) (CIIP, 2010c, 2010f) proposés en accompagnement du PER MSN 36 (physique-chimie), MSN 38 (biologie) et SHS 31 (géographie). Les MER sont des ressources très investies par les enseignant-e-s du secondaire I. Ils se composent d'un ensemble de documents à l'intention des enseignant-e-s, mais aussi à destination des élèves, qui facilitent la mise en œuvre des séquences selon les recommandations du PER. Pour le contexte français nous avons consulté un panel de manuels de cycle 4 des disciplines physique-chimie, SVT et histoire-géographie. Dans une recherche d'exhaustivité, nous avons consulté un manuel de chaque principal éditeur (Azan, 2017 ; Bordi, 2017 ; Couteleau, 2017 ; Daujean, 2017 ; Desormes, 2017 ; Donadéi et Lévêque, 2017 ; Duco, 2017 ; Dulaurans, 2017 ; Franchot et Fray, 2017 ; Gardarein, 2017 ; Jubault-Bregler et Guillerme, 2017 ; Meneret Noisette, 2017 ; Pothet et Rebulard, 2017 ; Ruffenach, 2017 ; Salviat et Girault, 2017).

Pour chaque ressource, nous avons cherché à répondre aux questions suivantes :

Tableau 3

Guide d'analyse des ressources formelles

Quelles ressources les enseignant-es ont à disposition pour soutenir l'enseignement de la transformation chimique, notamment dans une perspective de formation des citoyen-nés ?
A quels moments intervient le concept de transformation chimique ? Pour soutenir quel(s) apprentissage(s) ?
Quelle vision de l'éducation scientifique est alors mise en avant ?

Guidés par ces questions, nous avons cherché dans un premier temps toutes les activités, résumés de cours et exercices faisant explicitement mention de « la transformation chimique », de la « réaction chimique » ou du « principe de conservation de la matière ». Nous nous sommes intéressé-e-s d'une part à ces expressions, mais aussi au langage symbolique propre à la chimie, à savoir l'équation de réaction chimique et le modèle moléculaire. En ce qui concerne le principe de conservation de la matière, nous avons également considéré les situations où la conservation des atomes ou de la masse sont évoquées. Une fois ces activités, résumés de cours ou exercices identifiés, nous avons décrit l'enjeu d'apprentissage qui lui était associé et nous en avons ainsi déduit la vision de la science qui était alors promue. Ces données ont été consignées de façon systématique dans un tableau, organisées par chapitre thématique (cf. annexe 4 pour la Suisse romande ; annexes 5 et 6 pour la France), dont la lecture nous permet de faire les constats exposés dans la partie qui suit.

4.1 Ressources en chimie

Les MER associés au MSN 36 sont conçus pour permettre aux élèves d'interpréter la transformation chimique comme une réaction chimique. Ainsi, les exercices proposés demandent de modéliser les phénomènes observés via des concepts spécifiques (molécule, atome, réactifs, produits, équation de réaction chimique). Nous ne relevons aucune activité/exercice qui permettrait à l'élève de mobiliser ce concept pour l'étude d'une situation complexe.

Mêmes constats pour tous les manuels de physique-chimie français. Si certains exercices mentionnent des expériences de la vie quotidienne (combustion du méthane ou du charbon pour cuisiner) ou des phénomènes étudiés en classe de SVT (photosynthèse et respirations), ces expériences servent en réalité d'éléments de contextualisation. Par exemple, l'exercice présenté en illustration 1 fait référence à l'équation de réaction de photosynthèse. Cette transformation chimique pourrait permettre de questionner la transformation du gaz dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère, en gaz dioxygène, nécessaire à la vie sur Terre. Mis en relation avec un autre type de transformation chimique : la combustion, via la problématique de la déforestation, cet exemple pourrait favoriser une vision complexe de l'éducation scientifique. Ce n'est pas le cas de l'exercice proposé par ce manuel. En effet, l'enjeu est ici strictement disciplinaire, avec une centration sur l'acquisition de concepts : savoir définir « réactif » et « produit » et mobiliser le principe de conservation en termes de redistribution des atomes.

Illustration 1


Exercice issu du manuel de physique-chimie Ruffenach (2017, p.105)

12 Photosynthèse

Le frère de Rachid a écrit l'équation de la photosynthèse, la transformation chimique à la base de la croissance des plantes, de la façon suivante :

$$6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$$

dioxyde de carbone
eau
sucre
dioxygène



1. Identifier les réactifs et les produits.
2. Cette équation est-elle équilibrée ?

De façon générale, à l'exception de rares activités - relevées dans les manuels Daujean et al. (2017, p. 98) ; Meneret Noisette (2017, p. 70) ; Ruffenach (2017, p. 89) - les exercices des manuels consultés n'introduisent pas de situation suffisamment complexe pour donner l'occasion à l'élève de penser les rapports de l'être humain à l'environnement tels que les programmes l'envisagent.

Dans la continuité des contenus de chimie des prescriptions officielles, les ressources étudiées de ces deux pays semblent se concentrer sur la construction du modèle de la réaction chimique et se rapprochent ainsi d'une vision quasi exclusivement disciplinaire de l'éducation scientifique.

4.2 Ressources en biologie/géographie/SVT

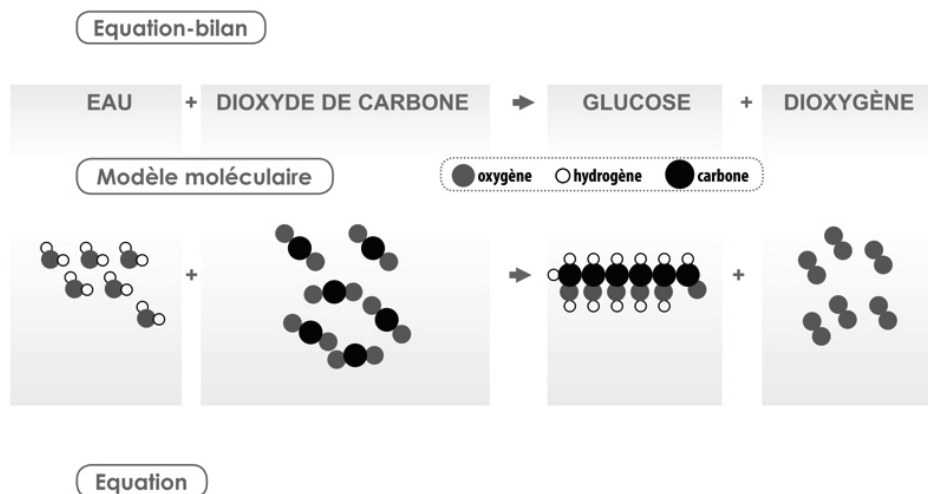
Dans les MER associés au MSN 38 « Unité et diversité du vivant » (CIIP, 2010f) la transformation chimique intervient d'une part pour expliquer la transformation de matière inorganique en matière organique (et inversement) au cours des processus de photosynthèse et de respiration, d'autre part pour penser l'anthropocène (en particulier l'émission de gaz à effet de serre dû à la combustion des hydrocarbures).

Pour les cas de la photosynthèse et de la respiration, l'enjeu d'apprentissage est l'appropriation de ces concepts spécifiques. Certains savoirs de chimie interviennent, notamment l'équation de réaction qui sert dans ce cas à représenter la conservation de la matière à l'échelle microscopique. C'est le cas de l'exemple présenté en illustration 2. Dans ces situations, c'est plutôt la vision disciplinaire de la science qui domine.

Illustration 2

Exercice issu des MER MSN 38 (CIIP, 2010b)

La **photosynthèse** est un ensemble de réactions chimiques qui peut se modéliser de différentes façons :



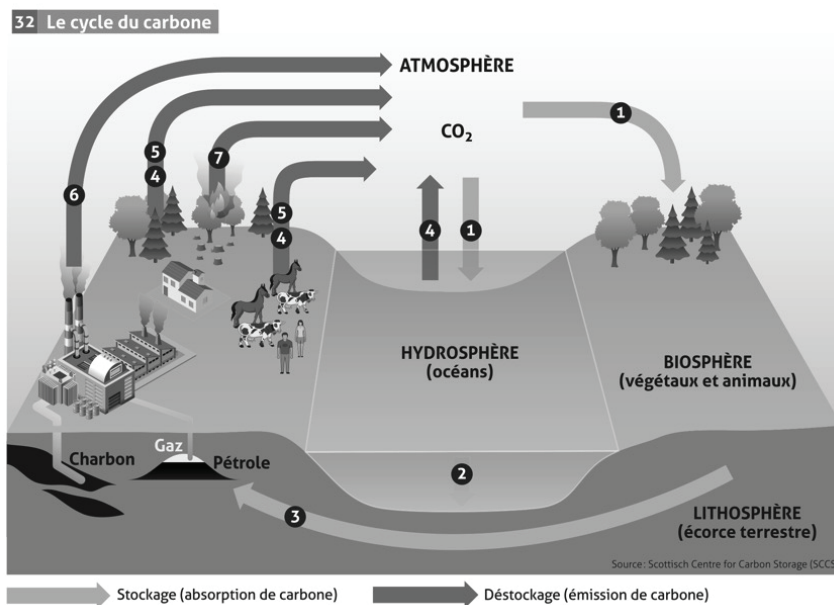
1. Ecris l'équation chimique représentant la photosynthèse :



La relation de l'être humain à l'environnement est une situation plus complexe. Sa représentation dans les MER mobilise le cycle du carbone. Il représente les « transferts de carbone » entre atmosphère, hydrosphère, lithosphère et biosphère, transferts que la chimie modélise comme des « transformations chimiques » (photosynthèse, respiration, combustion, formation des hydrocarbures). Le rôle des activités humaines dans le déséquilibre du cycle du carbone est mis en évidence par la production de dioxyde de carbone gazeux : gaz identifié comme étant « à effet de serre », dans le compartiment « atmosphère ». Ainsi la mise en relation du concept de combustion (transformation chimique) et de celui de l'effet de serre doit permettre à l'élève de penser l'origine anthropique du réchauffement climatique. Cette situation complexe, représentée par le cycle du carbone est également retrouvée dans les MER de SHS 31 (CIIP, 2010c) pour l'étude des mêmes questions.

Illustration 3

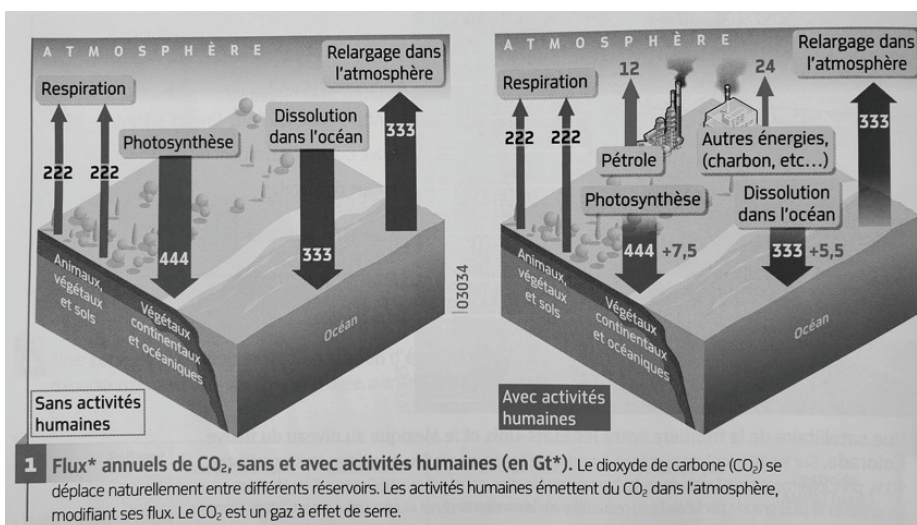
Représentation du cycle du carbone issu d'une activité d'étude documentaire des MER SHS 31 (CIIP, 2010c)



Mêmes constats pour l'ensemble des manuels de SVT français : le concept de transformation chimique intervient implicitement pour l'interprétation de la photosynthèse et de la respiration (en particulier l'idée que la matière est conservée au cours de ces deux processus biologiques). Nous n'avons relevé dans aucune des ressources françaises de représentation microscopique de la transformation chimique. La photosynthèse y est parfois définie comme un « ensemble de réactions chimiques ». De plus, le cycle du carbone est un objet incontournable des manuels pour amener les élèves à penser le rapport de l'être humain à son environnement. Dans l'exemple présenté en illustration 4, le rôle des activités humaines dans l'émission du dioxyde de carbone dans l'atmosphère est clairement mis en avant par la comparaison des deux cycles (sans activités humaines et avec activités humaines). Ces représentations du cycle du carbone font partie d'un ensemble de documents qui doivent être mis en relation pour répondre à une question complexe : « le lien entre exploitation du pétrole et émissions de CO₂ ». Ces activités de type « étude documentaire » sont typiques de l'enseignement des SVT au secondaire en France.

Illustration 4

Document issu d'une activité d'étude documentaire du manuel Gardarein (2017, p. 72)



Contrairement au contexte suisse-romand, aucune représentation du cycle du carbone n'a été retrouvée dans les manuels de géographie français consultés. Les conséquences des activités humaines sur l'environnement y sont tout de même questionnées sous un angle socio-économique et via la question de l'espace et des ressources naturelles. Nous rappelons qu'en France les savoirs rattachés à la géologie sont associés à ceux de biologie au sein de la discipline scolaire SVT.

Nous retrouvons les deux visions de la science telles que décrites par Roberts et Bybee (2014) dans les ressources de biologie/géographie/SVT consultées. En effet, *la vision I* est présente dès lors qu'il s'agit de transmettre un savoir disciplinaire spécifique tel que les mécanismes de photosynthèse ou de respiration des végétaux. Les MER suisse-romands ou les manuels français proposent alors des exercices/activités qui amènent les élèves à s'approprier le savoir visé sont le plus souvent décontextualisés. La transformation chimique et le modèle de la réaction chimiques y sont parfois cités ou représentés via l'équation de réaction. Davantage en accord avec les intentions générales des prescriptions officielles, les ressources de biologie/géographie/SVT étudiées abordent des situations complexes qui s'intéressent aux conséquences des activités humaines sur l'environnement et semblent favoriser l'entrée des élèves dans une vision complexe de la science. Dans ce cas aussi, le concept de la transformation chimique (notamment le principe de conservation) est mobilisé implicitement pour interpréter les phénomènes. En effet, il intervient dans le cadre d'un système complexe propre aux disciplines biologie et géologie : le cycle du carbone.

5. Discussion et perspectives

Dans cette section, nous rappelons brièvement les principaux résultats de notre étude à partir desquels nous dessinons une ligne de recherche possible.

Tout d'abord, notre étude met en évidence la nécessité du concept de transformation chimique pour la compréhension de situations complexes, qui dépassent le cadre d'un enseignement de la chimie, centré sur la transmission de savoirs disciplinaires scolaires. Le concept apparaît en effet comme essentiel pour comprendre le cycle du carbone, qui n'est pourtant pas présent dans les programmes et ressources pour l'enseignement de la chimie dans ces deux contextes. Se pose alors la question de l'articulation des disciplines scolaires dans l'étude de questions complexes telles que les problèmes environnementaux. Nous avons relevé dans les textes officiels une injonction à « l'interdisciplinarité » qui se traduit dans la réalité par des pratiques d'enseignement hétérogènes et controversées (Schneuwly, 2016) et pour laquelle il n'existe pas de résultats de recherche attestant de bénéfices concrets en termes de conceptualisation/progression pour les élèves. Mais qui entraîne également des difficultés pour l'évaluation des contenus, d'autant plus que la mise en œuvre de cette interdisciplinarité semble rester à l'initiative seule des enseignant-e-s, faute de ressources dédiées. A l'instar de Martinand nous interrogeons l'enseignabilité des questions environnementales dans le cadre rigide des disciplines scolaires. En particulier leur potentiel « défaut de scientificité » dû à la prévalence des points de vue économique et politique dans leur formulation, qui rendraient difficile leur articulation aux contenus de sciences au début du secondaire (2016, p. 27).

La mise en évidence de nos résultats questionne le rôle des textes officiels et ressources d'enseignement dans le processus de transposition didactique, en particulier à l'articulation transposition didactique externe/transposition didactique interne (Chevallard, 1991). A ce propos, Bruillard rappelle que les manuels scolaires sont non seulement des intermédiaires entre les textes officiels et les pratiques d'enseignement-apprentissage, mais qu'ils sont également eux-mêmes influencés par ces pratiques. Étudier cette partie « d'un système complexe » (2005, p. 24), nous renseigne alors sur l'épistémologie et le discours de la discipline scolaire, données qui peuvent éclairer le fonctionnement effectif des pratiques dans les classes. En effet, les tensions mises en évidence dans cette étude nous conduisent à investiguer les pratiques effectives d'enseignement-apprentissage de la chimie en Suisse romande et en France. Dans cette perspective, nous envisageons l'introduction du modèle du cycle du carbone en classe de chimie au secondaire I, en nous inspirant des travaux de Mohan et al. (2009) ; Zangori et al. (2017). Cette proposition, adressée à des enseignant-e-s suisse-romand-e-s et français-e-s, devrait permettre d'étudier à quelles conditions il est possible de construire des liens entre les savoirs conceptuels sur la transformation chimique et l'étude des problèmes complexes liés aux flux de dioxyde de carbone dans l'environnement. Cette approche s'oriente vers la « co-disciplinarité » au sens de Chevallard (2004) : approche qui permet d'entrer dans la complexité de telles problématiques tout en faisant valoir les points de vue disciplinaires spécifiques qui entrent en ligne de compte. Elle devrait permettre la construction d'une CST par les élèves, enjeu fort des textes officiels, comme le montrent nos analyses.

Bibliographie

- Article L111-1 du Code de l'éducation français du 26 août 2021.
- Azan J.-L. (Éd.). (2017). *Physique Chimie cycle 4 5^e, 4^e, 3^e*. Nathan.
- Bensaude-Vincent, B. et Stengers, I. (2001). *Histoire de la chimie*. La découverte. <https://doi.org/10.3917/dec.bensa.2001.01>
- Bordi, C. (Éd.). (2017). *SVT, sciences de la vie et de la Terre cycle 4*. Lelivrescolaire.fr.
- Bruillard, E. (2005). Les manuels scolaires questionnés par la recherche. Dans E. Bruillard (Éd.), *Manuels scolaires, regards croisés* (p. 13-36). CRDP de Basse-Normandie.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné* (3^{ème} éd.). La Pensée Sauvage éditions.
- Chevallard, Y. (2004). *Vers une didactique de la codisciplinarité. Notes sur une nouvelle épistémologie scolaire* [communication orale]. Journées de didactique comparée, Lyon, France.
- Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin. (2010a). Déclaration de la CIIP. Dans *Plan d'études romand (PER)*. <https://www.plandetudes.ch/web/guest/pg2-declaration>
- Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin. (2010b). Diversité du vivant (cycle 3). Dans *Plan d'études romand (PER)*. https://www.plandetudes.ch/web/guest/MSN_38/
- Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin. (2010c). Géographie cycle 3. Dans *Moyens d'enseignement romands*. <https://www.plandetudes.ch/group/shs-c3/geo>
- Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin. (2010d). Phénomènes naturels et techniques (cycle 3). Dans *Plan d'études romand (PER)*. https://www.plandetudes.ch/web/guest/MSN_36/
- Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin. (2010e). Relation Homme-Espace (cycle 3). Dans *Plan d'études romand (PER)*. https://www.plandetudes.ch/web/guest/SHS_31/
- Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin. (2010f). Sciences de la nature cycle 3. Dans *Moyens d'enseignement romands*. <https://www.ciip-esper.ch/#/discipline/6/9,10,11/>
- Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin. (2010g). Structure du Plan d'études romand. Dans *Plan d'études romand (PER)*. <https://www.plandetudes.ch/web/guest/pg2-structure>
- Couteleau, L. (Éd.). (2017). *Sciences de la vie et de la Terre cycle 4 nouveau programme 2016*. Hatier.
- Daujean, C. (Éd.). (2017). *Physique chimie 4^e nouveaux programmes 2016*. Hatier.
- Desormes, H. (Éd.). (2017). *SVT, sciences de la vie et de la Terre cycle 4*. Hachette éducation.
- Donadéi, E. et Lévêque, T. (Éds.). (2017). *Physique Chimie 4^e, Cycle 4 Nouveau Programme*. Belin Éducation.
- Duco, A. (Éd.). (2017). *SVT, sciences de la vie et de la Terre cycle 4 5^e, 4^e, 3^e nouveau programme, brevet 2017*. Nathan.
- Dulaurans, T. (Éd.). (2017). *Physique, chimie cycle 4*. Hachette éducation.
- Eilks, I., Rauch, F., Ralle, B. et Hofstein, A. (2013). How to allocate the chemistry curriculum between science and society. Dans I. Eilks et A. Hofstein (Éds.), *Teaching chemistry - A Studybook*. Sense Publisher. https://doi.org/10.1007/978-94-6209-140-5_1
- Fensham, P. (1988). *Development and dilemmas in science education*. Routledge Falmer.
- Franchot, N. et Fray, B. (Éds.). (2017). *Physique chimie 4^e*. Lelivrescolaire.fr.
- Gardarein, J. (Éds.). (2017). *SVT, sciences de la vie et de la Terre manuel de cycle 4*. Hatier.
- Hasni, A. (2005). La culture scientifique et technologique à l'école : de quelle culture s'agit-il et quelles conditions mettre en place pour la développer ? Dans D. Simard et M. Mellouki (Éds.), *L'enseignement profession intellectuel*. Presses Universitaires de Laval.
- Jubault-Bregler, M. et Guillerme, D. (Éds.). (2017). *SVT Sciences De La Vie Et De La Terre 4^e, Cycle 4*. Nathan.
- Kermen, I. (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée*. Presses Universitaires de Rennes.
- Ligozat, F. et Leutenegger, F. (sous presse). Didactique comparée. Un champ de recherche pour l'étude des systèmes didactiques (Chapitre 1). Dans F. Ligozat et F. Leutenegger (Éds.), *L'exercice comparatiste en didactique. Outils pour l'étude des systèmes didactiques*. Presses Universitaires de Bordeaux.
- Ligozat, F. et Marty, L. (2019). Une lecture de l'enseignement des sciences physiques dans le plan d'études romand à la lumière d'une comparaison avec les programmes français. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, (24), 17-40.
- Martinand, J. L. (2016). Défis et problèmes de l'éducation populaire au développement durable. *Cahiers de l'action*, (1), 25-33.
- Meneret Noisette, D. (Éds.). (2017). *Physique chimie cycle 4, 5^e, 4^e, 3^e programme 2016*. Magnard.
- Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports. (2018, novembre). *Programme du cycle 4*. https://www2.ac-poitiers.fr/math_sp/sites/math_sp/IMG/pdf/cycle_4_programme_consolide_1038204.pdf
- Ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports. (2020, juillet). *Programme d'enseignements du cycle des approfondissements (cycle 4)*. https://cache.media.education.gouv.fr/file/31/89/1/ensel714_annexe3_1312891.pdf
- Mohan, L., Chen, J. et Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(6), 675-698. <https://doi.org/10.1002/tea.20314>
- Morin, E. (1982). *Sciences avec conscience*. Fayard.
- Pothen, A. et Rebulard, S. (Éds.). (2017). *SVT, sciences de la vie et de la Terre, 4^e cycle 4 nouveau programme*. Belin éducation.
- Rebaud, D. (1994). Enseignement et réaction chimique : une délicate alchimie. *Aster*, (18), 3-9.
- Roberts, D. A. (1988). What counts as science education. Dans P. Fensham (Éd.), *Development and dilemmas in science education*. Routledge Falmer.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. Dans S. K. Abell et N. G. Lederman (Éds.), *Handbook of Research on Science Education*. Routledge.
- Roberts, D. A., et Bybee, R. W. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. Dans N. G. Lederman et S. K. Abell (Éds.), *Handbook of research on science education* (vol. 2, pp. 559-572). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch27>
- Ruffenach, M. (Éd.). (2017). *Physique chimie cycle 4, 5^e, 4^e, 3^e programme 2016*. Bordas.
- Salviat, B. et Girault, J. (Éd.). (2017). *SVT, sciences de la vie et de la Terre Cycle 4, 5^e, 4^e, 3^e*. Magnard.

- Schnewly, B. (2016). Le concert des disciplines. Des réponses possibles aux questions posées du point de vue de l'interdisciplinarité. *Educateur*, (2), 6-9.
- UNESCO. (2011). *Classification Internationale Type de l'Éducation, CITE 2011* (publication no UIS/2012/INS/10). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000220879>
- Van Berkel, B. (2005). *The Structure of Current School Chemistry. A Quest for Conditions for Escape*. CD-ß Press.
- Van Driel, J. H., Bulte, A. M. W. et Verloop, N. (2005) The conceptions of chemistry teachers about teaching and learning in the context of a curriculum innovation, *International Journal of Science Education*, 27(3), 303-322. <https://doi.org/10.1080/09500690412331314487>
- Zangori, L., Peel, A., Kinslow, A., Friedrichsen, P. et Sadler, T. (2017). Student Development of Model-Based Reasoning About Carbon Cycling and Climate Change in Socio-Scientific Issues Unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(10), 1249-1273. <https://doi.org/10.1002/tea.21404>

Mots-clefs : Transformation chimique ; cycle du carbone ; question complexe ; curriculum ; ressources d'enseignement

Das Unterrichten und Erlernen der chemischen Umwandlung in der Sekundarstufe 1 als Kernfrage: Ein Vergleich der offiziellen Vorschriften und formalen Quellen in der Westschweiz und Frankreich

Zusammenfassung

Wie wird das Prinzip der chemischen Umwandlung 13- bis 15-jährigen Schüler*innen in der Westschweiz und in Frankreich begrifflich beigebracht? Ein tieferer Einblick in die offiziellen Vorschriften und das herkömmliche Lehrmaterial legt nahe, dass der Begriff zwar hauptsächlich im Chemie-Kurrikulum der Sekundarstufe I bearbeitet, im Biologie-, Erdkunde- und Geografieunterricht in Bezug auf den Kohlenstoffzyklus allerdings auch angesprochen wird. Dieser Zyklus hängt mit komplexen Fragen betreffend Klimawandel zusammen. Ziel dieser Untersuchung ist es, zu verstehen, wie der Begriff nicht nur im engeren Rahmen des Chemie-Unterrichts unterrichtet und erlernt, sondern auch bei der Verarbeitung komplexer Fragen eingesetzt werden und somit als Beitrag zur Bildung aufgeklärter Bürger*innen dienen kann.

Schlagworte: Chemische Umwandlung; Kohlenstoffzyklus; komplexe Frage; Kurrikulum; Lehrmaterialien

Le sfide dell'insegnamento-apprendimento della trasformazione chimica nella scuola media: un confronto delle normative ufficiali e delle risorse formali nella Svizzera francese e in Francia

Riassunto

Questo articolo esamina le modalità d'insegnamento e di apprendimento della trasformazione chimica presso allievi di età compresa tra i 13 e i 15 anni in Svizzera romanda e in Francia. Dall'analisi delle normative ufficiali e delle risorse formali si evince che, se questo argomento costituisce il fulcro del programma di chimica a partire dalla scuola media, esso è presente ugualmente nei curricula di biologia/geografia/geologia in relazione al ciclo del carbonio. Questo ciclo è collegato a questioni complesse legate al cambiamento climatico e può quindi supportarne la comprensione. Al di là dell'insegnamento-apprendimento della trasformazione chimica in ambito strettamente disciplinare, l'obiettivo di questo lavoro è comprendere come questo concetto possa costituire uno strumento per far comprendere agli studenti questioni complesse e possa così contribuire alla loro alfabetizzazione scientifica ambientale.

Parole-chiave: Trasformazione chimica; ciclo del carbonio; tema complesso; curriculum; risorse didattiche

Teaching and learning chemical transformation: a comparison of curriculum texts and teaching resources in the French-speaking part of Switzerland and in France

Summary

The aim of this study is to investigate the conditions under which the chemical transformation concept is taught and learned at lower secondary school (13- to 15-year-old students) in the French-speaking part of Switzerland and France. Chemical transformation is a central concept of the chemistry curriculum, and it can be a key to understand natural/technical phenomenon like the carbon cycle, meaning this concept can support the understanding of global warming. The analysis of curriculum texts and teaching resources shows that for these reasons, chemical transformation is also part of biology/geography/geology curriculums. The purpose of this work is to understand how this concept can be a tool for students to understand complex issues and can contribute to environmental science literacy.

Keywords: Chemical transformation; carbon cycle; complex issue; curriculum; teaching resources

Marie Sudriès est doctorante en cotutelle internationale de thèse entre les universités de Genève et de Montpellier. Elle est également assistante d'enseignement et de recherche au sein du Groupe de recherche en didactique comparée (Faculté de psychologie et de sciences de l'Éducation (FPSE), Université de Genève). Son sujet de thèse adopte une double approche didactique de la chimie et didactique comparée.

Université de Genève, FPSE, Pavillon Mail - Bureau 141, 40, Boulevard du pont d'Arve, CH-1205 Genève
E-Mail: marie.sudries@unige.ch

Florence Ligozat, professeure associée, est titulaire de la chaire de didactique comparée de la FPSE de l'Université de Genève.

Université de Genève, FPSE, Pavillon Mail - Bureau 135, 40, Boulevard du pont d'Arve, CH-1205 Genève
E-Mail: florence.ligozat@unige.ch

David Cross est maître de conférences habilité à diriger les recherches (HDR) au sein du Laboratoire interdisciplinaire de recherche en éducation et formation (LIRDEF, Université de Montpellier, Université Paul Valéry de Montpellier). Ses recherches portent sur la didactique des sciences physiques et chimiques, l'analyse de l'action conjointe de l'enseignant·e mais aussi les connaissances professionnelles des enseignant·e·s.

Université de Montpellier, Faculté d'Éducation, 2, place Marcel Godechot, Bureau A 339, BP4152, F-34092 Montpellier Cédex

E-Mail: david.cross@umontpellier.fr

Annexes

Annexe 1 : comparaison des systèmes scolaires suisse-romand et français

Cycles	Suisse romande	France	
Cycle 1	1 Primaire-Harmos (4-5 ans) 2 P-H (5-6 ans) 3 P-H (6-7 ans) 4 P-H (7-8 ans)	Petit section de maternelle (3-4 ans) Moyenne section de maternelle (4-5 ans) Grande section de maternelle (5-6 ans)	Enseignement primaire
Cycle 2	5 P-H (8-9 ans) 6 P-H (9-10 ans) 7 P-H (10-11 ans) 8 P-H (11-12 ans)	Cours Préparatoire (6-7 ans) Cours Élémentaire 1 (7-8 ans) Cours Élémentaire 2 (8-9 ans)	
Cycle 3	Cycle d'Orientation 9 CO (12-13 ans) 10 CO (13-14 ans) 11 CO (14-15 ans)	Cours Moyen 1 (9-10 ans) Cours Moyen 2 (10-11 ans) Collège 6 ^{ème} (11-12 ans)	Enseignement secondaire I
Cycle 4		5 ^{ème} (12-13 ans) 4 ^{ème} (13-14 ans) 3 ^{ème} (14-15 ans)	
	Cycle Post-Obligatoire 1 PO (15-16 ans) 2 PO (16-17 ans) 3 PO (17-18 ans) 4 PO (18-19 ans)	Lycée 2 ^{nde} (15-16 ans) 1 ^{ère} (16-17 ans) Terminale (17-18 ans)	Enseignement secondaire II

Annexe 2 : analyse de la place de la transformation chimique dans le PER du cycle 3 pour le domaine *Sciences de la nature* (Suisse romande)

PER (CIIP, 2011)				
Domaine	Thème	Chapitre	Enjeux d'apprentissage	Vision
MSN 36	Phénomènes naturels et techniques	Matière	« Modélisation des transformations chimiques par des réactions chimiques » « Compréhension du principe de conservation de la matière par celle des atomes en utilisant le modèle de la réaction chimique, pour des cas simples, en se limitant à quelques combustions (carbone, hydrogène, méthane, fer,...) »	Vision disciplinaire
MSN 38	Diversité du vivant	Analyser l'organisation du vivant et en tirer des conséquences pour la pérennité de la vie...	« à partir d'un thème d'actualité écologique, [l'élève] identifie les effets favorables ou défavorables selon les espèces d'un écosystème » « La photosynthèse peut être abordée en relation avec le cycle du carbone »	Vision disciplinaire

Annexe 3 : analyse de la place de la transformation chimique dans les programmes de cycle 4 de physique-chimie et de SVT (France)

Bulletin Officiel (MEN, 2018)			
Discipline scolaire	Partie du programme	Enjeux d'apprentissages	Vision
Physique-chimie	Introduction	« percevoir les liens entre l'être humain et l'environnement » « expliquer les impacts engendrés par le rythme et la diversité des actions de l'être humain sur la nature » « de vivre et préparer une citoyenneté responsable, en particulier dans les domaines de la santé et de l'environnement : - en construisant sa relation au monde, à l'autre, à son propre corps ; - en intégrant les évolutions économiques et technologiques, pour assumer en citoyen les responsabilités sociales et éthiques qui en découlent »	Vision complexe
	Thème Organisation et transformations de la matière	« Interpréter une transformation chimique comme une redistribution d'atomes » « Utiliser une équation de réaction chimique fournie pour décrire une transformation chimique observée » « Ces différentes transformations chimiques peuvent servir de support pour introduire la notion de transformation chimique dans des contextes variés (vie quotidienne, vivant, industrie, santé, environnement,...) »	Vision disciplinaire
	Croisements entre enseignements	« Transition écologique et développement durable : en lien avec les SVT, la technologie, les mathématiques, l'histoire et la géographie et le français »	Vision complexe
SVT	Introduction	« percevoir les liens entre l'être humain et l'environnement » « expliquer les impacts engendrés par le rythme et la diversité des actions de l'être humain sur la nature » « de vivre et préparer une citoyenneté responsable, en particulier dans les domaines de la santé et de l'environnement : - en construisant sa relation au monde, à l'autre, à son propre corps ; - en intégrant les évolutions économiques et technologiques, pour assumer en citoyen les responsabilités sociales et éthiques qui en découlent » « Identifier les impacts (bénéfiques et nuisances) des activités humaines sur l'environnement à différentes échelles » « Comprendre les responsabilités individuelle et collective en matière de préservation des ressources de la planète (biodiversité, ressources minérales et ressources énergétiques) et de santé »	Vision complexe
	Thème La planète Terre, l'environnement et l'action humaine	« Expliquer comment une activité humaine peut modifier l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes en lien avec quelques questions environnementales globales » « Cette thématique est l'occasion de faire prendre conscience à l'élève des conséquences de certains comportements et modes de vie (exemples : pollution des eaux, raréfaction des ressources en eau dans certaines régions, combustion des ressources fossiles et réchauffement climatique,...) »	Vision complexe
	Croisements entre enseignements	« Transition écologique et développement durable / Sciences, technologies et société : en lien avec la physique-chimie ; l'histoire et la géographie ; les mathématiques ; le français ; les langues vivantes et régionales ; l'éducation aux médias et à l'information »	Vision complexe

Annexe 4 : analyse de la place de la transformation chimique dans les MER du cycle 3 pour les domaines Sciences de la nature et Sciences sociales (Suisse romande)

Moyens d'enseignement romands (MER)				
Domaine	Thématique	Chapitre	Enjeux d'apprentissage	Vision
MSN 36	Phénomènes naturels et techniques	<i>Transformations chimiques de la matière</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Appropriation du modèle de savoir spécifique (interprétation microscopique de phénomènes visibles via modèle de la réaction chimique) • La combustion : exemple de transformation chimique où les molécules sont modifiées, les atomes conservés • Principes « pratiques » de sécurité (détecteur de monoxyde de carbone, comment éteindre un feu) 	Vision disciplinaire
MSN 38	Diversité du vivant	<i>Photosynthèse et respiration des végétaux</i>	<ul style="list-style-type: none"> • La photosynthèse et la respiration : transformations chimiques où des espèces sont consommées, d'autres sont produites 	Vision disciplinaire
		<i>Energie et photosynthèse</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Photosynthèse, respiration, combustions : exemples transformations chimiques qui consomment des espèces chimiques et en produisent d'autres • Rôle des activités humaines dans le cycle du carbone 	Vision disciplinaire et vision complexe
SHS 31	Relation Homme-espace	<i>Le changement climatique : les risques liés aux phénomènes atmosphériques</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rôle des activités humaines dans le cycle du carbone et conséquence sur le changement climatique 	Vision complexe

Annexe 5 : analyse de la place de la transformation chimique dans les manuels de physique-chimie de cycle 4 (France)

Manuel	Chapitre	Enjeux d'apprentissage	Vision
Azan (2017) Nathan	Modélisation d'une transformation chimique	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation du modèle de savoir spécifique (interprétation microscopique de phénomènes visibles via modèle de la réaction chimique) Rôle des activités humaines (combustion du carbone) dans la production de dioxyde de carbone atmosphérique (1 activité) 	Vision disciplinaire et vision complexe
Donadéi et Lévêque (2017) Belin éducation	<i>Matière et transformations chimiques</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation du modèle de savoir spécifique (interprétation microscopique de phénomènes visibles via modèle de la réaction chimique) 	Vision disciplinaire
Daujean et al. (2017) Hatier	<i>Interpréter une transformation chimique grâce aux atomes</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation du modèle de savoir spécifique (interprétation microscopique de phénomènes visibles via modèle de la réaction chimique) 	Vision disciplinaire
Dulaurans (2017) Hachette éducation	<i>Les transformations chimiques</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation du modèle de savoir spécifique (interprétation microscopique de phénomènes visibles via modèle de la réaction chimique) Principes pratiques de sécurité (comment éteindre un feu) Rôle des activités humaines dans le réchauffement climatique (1 activité) 	Vision disciplinaire et vision complexe
Franchot et Fray (2017) Lelivrescolaire.fr	<i>Les transformations chimiques et la pollution</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation du modèle de savoir spécifique (interprétation microscopique de phénomènes visibles via modèle de la réaction chimique) 	Vision disciplinaire
Meneret Noisette (2017) Magnard	<i>Transformations chimiques</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation du modèle de savoir spécifique (interprétation microscopique de phénomènes visibles via modèle de la réaction chimique) Principes pratiques de sécurité (détecteurs monoxyde de carbone, éteindre un feu) Rôle des activités humaines dans le réchauffement climatique (1 activité) 	Vision disciplinaire et vision complexe
	<i>Eléments chimiques et équation de réaction</i>		
Ruffenach (2017) Bordas	<i>Transformations chimiques</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation du modèle de savoir spécifique (interprétation microscopique de phénomènes visibles via modèle de la réaction chimique) Principes pratiques de sécurité (détecteurs monoxyde de carbone, éteindre un feu) Rôle des activités humaines dans le réchauffement climatique (1 activité) 	Vision disciplinaire et vision complexe

Annexe 6 : analyse de la place de la transformation chimique dans les manuels de SVT de cycle 4 (France)

Manuels	Chapitre	Enjeux d'apprentissage	Vision
Couteleau (2017) Didier	<i>La nutrition chez les plantes et les animaux</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation des modèles de la photosynthèse et de la respiration 	Vision disciplinaire
Desormes (2017) Hachette éducation	<i>Les changements climatiques passés et futurs</i>	<ul style="list-style-type: none"> Rôle des activités humaines dans le changement climatique (émission de gaz à effet de serre) 	Vision complexe
	<i>La gestion des ressources naturelles</i>	<ul style="list-style-type: none"> Rôle des activités humaines dans le changement climatique (émission de gaz à effet de serre) 	Vision complexe
	<i>La nutrition des végétaux chlorophylliens</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation des modèles de la photosynthèse et de la respiration 	Vision disciplinaire
Duco (2017) Lelivrescolaire.fr	<i>La nutrition des organismes</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation des modèles de la photosynthèse et de la respiration 	Vision disciplinaire
	<i>L'exploitation des ressources énergétiques par l'être humain</i>	<ul style="list-style-type: none"> Rôle des activités humaines sur l'environnement (pollution, émission gaz à effet de serre) 	Vision complexe
	<i>Les enjeux de l'exploitation des ressources naturelles</i>	<ul style="list-style-type: none"> Rôle des activités humaines dans le cycle du carbone et conséquence sur le changement climatique 	Vision complexe
	<i>La nutrition à l'échelle cellulaire</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation des modèles de la photosynthèse et de la respiration 	Vision disciplinaire
Gardarein (2017) Hatier	<i>L'exploitation des ressources naturelles</i>	<ul style="list-style-type: none"> Rôle des activités humaines dans le changement climatique 	Vision complexe
	<i>Ecosystèmes et activités humaines</i>		
Jubault-Bregler et Guillaume (2017) Nathan	<i>Nutrition à l'échelle cellulaire</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation des modèles de la photosynthèse et de la respiration 	Vision disciplinaire
Pothen et Rebulard (2017) Belin éducation	<i>La nutrition chez les végétaux</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation des modèles de la photosynthèse et de la respiration 	Vision disciplinaire
Salviat et Girault (2017) Manuel de cycle 4 Magnard	<i>Météorologie et climat, relations avec l'activité humaine</i>	<ul style="list-style-type: none"> Rôle des activités humaines dans le réchauffement climatique (émission de gaz à effet de serre, équivalents CO₂) 	Vision complexe
	<i>Les enjeux de l'exploitation des ressources naturelles</i>		
	<i>Les impacts des activités humaines sur les écosystèmes</i>		
	<i>Nutrition chez les végétaux</i>	<ul style="list-style-type: none"> Appropriation des modèles de la photosynthèse et de la respiration 	Vision disciplinaire