



HAL
open science

Intégration d'une langue cible (cas de l'anglais) et appropriation des savoirs disciplinaires en physique-chimie : co-construction d'une séquence autour de l'effet de serre et du réchauffement climatique en terminale scientifique.

Noemie Tran Tat

► **To cite this version:**

Noemie Tran Tat. Intégration d'une langue cible (cas de l'anglais) et appropriation des savoirs disciplinaires en physique-chimie : co-construction d'une séquence autour de l'effet de serre et du réchauffement climatique en terminale scientifique.. Physique [physics]. Université Paris Cité, 2022. Français. NNT: . tel-03929908

HAL Id: tel-03929908

<https://theses.hal.science/tel-03929908>

Submitted on 9 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Université Paris Cité

Ecole doctorale Savoir, Sciences, Education (ED 623)

Laboratoire de Didactique André Revuz (LDAR)

Intégration d'une langue cible (cas de l'anglais) et appropriation des savoirs disciplinaires en physique-chimie : co-construction d'une séquence autour de l'effet de serre et du réchauffement climatique en terminale scientifique.

Par Noémie Tran Tat

Thèse de doctorat de didactique des disciplines - physique

Dirigée par Cécile de Hosson

Et Claire Tardieu

Présentée et soutenue publiquement à Paris le 10 novembre 2022

Devant un jury composé de :

Mme Claire Chaplier, Maîtresse de conférences - HDR, Université Toulouse, Rapporteur

M. Nicolas Décamp, Maître de conférences - HDR, Université Paris Cité, Examineur

Mme Cécile de Hosson, Professeure des universités, Université Paris, Directrice de thèse

M. Ludovic Morge, Professeur des universités, Université Clermont-Auvergne, Président du jury et rapporteur

M. Cédric Sarré, Maître de conférences, Université Paris Sorbonne, Examineur

Mme Claire Tardieu, Professeure des universités, Université Sorbonne Nouvelle, Co-directrice de thèse

Titre

Intégration d'une langue cible (cas de l'anglais) et appropriation des savoirs disciplinaires en physique-chimie : co-construction d'une séquence autour de l'effet de serre et du réchauffement climatique en terminale scientifique.

Résumé

Une recherche-action collaborative avec l'enseignant de physique-chimie d'une classe de terminale scientifique permet de co-construire une séquence d'enseignement-apprentissage autour des mécanismes physiques de l'effet de serre naturel et du réchauffement climatique. Dans le cadre d'une démarche de faisabilité, l'objectif est d'étudier comment les élèves de cette classe, en cours « standard », peuvent mobiliser et construire des connaissances relatives à la physique-chimie (rayonnement électromagnétique, interaction rayonnement-matière, spectroscopie, bilan d'énergie) à travers des supports d'informations en anglais, langue cible (L2). Le cadre de la Théorie anthropologique du didactique est convoqué pour élaborer un modèle épistémologique de référence où l'écologie du concept de réchauffement climatique, la dialectique média-milieu et la praxéologie intégrée disciplinaire de référence contribuent à définir l'approche intégrée conceptuelle bilingue. Le travail collaboratif avec l'enseignant complice est mis en place à partir de l'observation et de l'analyse par entretien d'autoconfrontation de deux séances de cours de discipline non linguistique (DNL physique-chimie en anglais) réalisées par l'enseignant en classe de seconde. Il se poursuit lors de modules de co-construction par des négociations, grâce à une culture partagée de savoirs d'action et de savoirs savants, afin de s'accorder sur un prototype de la séquence. Celui-ci est mis en œuvre une première fois en terminale pour évaluer comment la conception d'énoncés d'activités documentaires et expérimentales intégrant l'anglais permet aux élèves de recourir à la praxéologie de référence dont le type de tâche est d'expliquer à l'écrit en français un fait de physique. Un premier état du possible est déterminé et conduit à un prototype actualisé de la séquence. Le protocole de recherche est ajusté pour l'année suivante : des énoncés d'activités aménagés, des fiches d'exploitation d'un support audiovisuel en anglais et des fiches de préparation des activités expérimentales sont conçues. L'énoncé-cible produit par l'élève à travers les techniques de repérage et de reformulation caractéristiques de la praxéologie de référence est analysé. La deuxième expérimentation révèle qu'un enjeu de cette approche intégrée est d'entraîner l'élève à exercer une vigilance conceptuelle lors de la production d'un énoncé-cible pour expliquer un fait de physique. De plus, une expertise disciplinaire et didactique est nécessaire : la sélection des médias en anglais et la formulation des consignes qui permettent à l'élève de réaliser des tâches spécifiques de l'approche intégrée conceptuelle bilingue conditionnent la qualité de leurs productions et l'intérêt de leur faire s'approprier à travers les deux langues les objets de savoir de la physique-chimie.

Mots clefs :

Physique, anglais, réchauffement climatique, recherche-action collaborative, praxéologie de référence, approche intégrée, bilinguisme, enseignement-apprentissage, didactique

Title

Integration of a target language (English) and appropriation of physics knowledge: co-construction of a sequence about the greenhouse effect and global warming in a 12th grade scientific course.

Abstract

A collaborative research-action with the physics and chemistry teacher of a 12th grade scientific course allows to co-construct a teaching-learning sequence about the physical mechanisms of the greenhouse effect and global warming. Within the framework of a feasibility approach, the aim is to study how the students of this course, in a "standard" course, can mobilize and build knowledge related to physics and chemistry (electromagnetic radiation, radiation-matter interaction, spectroscopy, energy balance) through information supports in English, the target language (L2). The framework of the Anthropological Theory of Didactics is convened to elaborate an epistemological model of reference where the ecology of the concept of global warming, the media-milieu dialectic and the disciplinary integrated praxeology of reference contribute to define the bilingual conceptual integrated approach. The collaborative work with the accomplice teacher is set up from the observation and analysis by self-confrontation interview of two sessions of CLIL lessons (physics and chemistry in English) carried out by the teacher in the 10th grade course. It continues during modules of co-construction by negotiations, thanks to a shared culture of action knowledge and learned knowledge, in order to agree on a prototype of the sequence. This prototype was implemented for the first time in the 12th grade course in order to evaluate how the design of documentary and experimental activities integrating English allows students to use the praxeology of reference, the type of task of which is to explain a physics fact in writing in French. A first state of the possible is determined and leads to an updated prototype of the sequence. The research protocol is adjusted for the following year: adapted activities, English audio-visual support exploitation sheets and experimental activity preparation sheets are designed. The target statement produced by the student through the techniques of identification and reformulation characteristic of the reference praxeology is analysed. The second experimentation reveals that a challenge of this integrated approach is to train the student to exercise conceptual vigilance when producing a target statement to explain a physics fact. Moreover, a disciplinary and didactic expertise is necessary: selecting the media in English and formulating the instructions which allow the students to carry out specific tasks of the bilingual conceptual integrated approach condition the quality of their productions and the interest to make them appropriate through the two languages the objects of physics and chemistry knowledge.

Keywords:

Physics, English, global warming, collaborative action research, praxeology of reference, integrated approach, bilingualism, teaching-learning, didactics

Table des matières

Avertissement	9
Introduction.....	10
L'envie de mener une thèse mêlant physique-chimie et anglais.....	10
Prise de positions	11
Une démarche de recherche en quatre étapes	13
Chapitre I. Approche intégrée d'une langue cible et de contenus spécifiques à une matière	15
I.1. Enseignement-apprentissage intégré : EMILE, CLIL	15
I.1.1. Un objectif double pour la langue et pour les contenus.....	15
I.1.2. Un cadre de référence pour l'EMILE	17
I.1.3. La question de l'efficacité de l'enseignement-apprentissage en contexte de l'EMILE	18
I.1.4. Des séquences EMILE construites autour de la notion de tâche	21
Synthèse I.1. Enseignement-apprentissage intégré : EMILE, CLIL.....	23
I.2. Bilinguisme et discipline non linguistique (DNL)	24
I.2.1. Contexte institutionnel de l'enseignement d'une DNL (discipline non linguistique).....	24
I.2.2. Quelques caractéristiques d'un cours de discipline non linguistique (DNL)	26
I.2.3. Bilinguisme intégré	28
I.2.4. Alternance codique	29
Synthèse I.2. Bilinguisme et discipline non linguistique (DNL).....	31
I.3. Alternances des langues et construction de savoirs	31
I.3.1. Fonction heuristique de la langue	31
I.3.2. Mot et concept	33
I.3.3. Relation sémantique et collocations	36
I.3.4. Traduire, reformuler.....	37
Synthèse I.3. Alternances des langues et construction de savoirs.....	38
I.4. Anglais et sciences.....	39
I.4.1. Langue de spécialité et discours spécialisé	39
I.4.2. Caractéristiques de l'anglais scientifique	41
I.4.3. Anglais des sciences	45
Synthèse I.4. Anglais et sciences	46
Synthèse du chapitre I. Approche intégrée d'une langue cible et de contenus spécifiques à une matière	47
Chapitre II : Fondements de la séquence à co-construire, justifiés à partir de la théorie anthropologique du didactique et du modèle épistémologique de référence.....	48
II.1. Concepts utiles de la théorie anthropologique du didactique.....	48
II.1.1. Objets de savoir, institutions, transposition didactique	48

II.1.2. Dialectique média – milieu	50
II.1.3. Praxéologies	50
II.1.4. Un modèle épistémologique de référence (MER).....	52
Synthèse II.1. Concepts utiles de la théorie anthropologique du didactique	53
II.2. Construction du MER (1/3) : passages entre savoir savant et savoir à enseigner	53
II.2.1. Un MER établi sur l'écologie du concept de réchauffement climatique et son expression en langue.	53
II.2.2. Données actuelles sur le réchauffement climatique (cf. annexes II.2.2a et II.2.2b)	57
II.2.3. Eléments d'épistémologie du réchauffement climatique	62
II.2.4. Rapport au réchauffement climatique : public profane, d'apprenant.e.s, d'enseignant.e.s	68
Synthèse II.2. Construction du MER (1/3) : passages entre savoir savant et savoir à enseigner..	70
II.3. Construction du MER (2/3) : passages entre savoir à enseigner et savoir enseigné	71
II.3.1. Un MER établi sur la dialectique écologique média-milieu pour dégager une praxéologie de référence	71
II.3.2. Dialectique écologique média-milieu : support d'informations en anglais	74
II.3.3. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence : activité scientifique, activité langagière	76
Synthèse II.3. Construction du MER (2/3) : passages entre savoir à enseigner et savoir enseigné	81
II.4. Construction du MER (3/3) : passages entre savoir enseigné et savoir disponible	82
II.4.1. Savoir disponible : question de recherche et hypothèse	82
II.4.2. Recherche-action.....	84
II.4.3. Praxéologie intégrée disciplinaire scolaire	86
Synthèse II.4. Construction du MER (3/3) : passages entre savoir enseigné et savoir disponible	91
Synthèse du chapitre II. Fondements de la séquence à co-construire, justifiés à partir de la théorie anthropologique du didactique et du modèle épistémologique de référence.....	92
Chapitre III : Collaboration avec l'enseignant complice	94
III.1. Complicité à travers la recherche-action collaborative (nature, mise en place)	94
III.1.1. Nature de la collaboration (recherche de faisabilité et logique double)	94
III.1.2. Mise en place de la collaboration.....	97
Synthèse du III.1. Complicité à travers la recherche-action collaborative (nature, mise en place)	101
III.2. Observation et analyse de séances de physique-chimie en anglais (DNL) menées par l'enseignant complice.....	101
III.2.1. Analyse de la séance DNL1 : observation, entretien d'auto-confrontation, retour sur la séance.....	105
III.2.2. Analyse de la séance DNL2 : observation, entretien d'auto-confrontation, retour sur la séance.....	117

Synthèse du III.2. Observation et analyse de séances de physique-chimie en anglais (DNL) menées par l'enseignant complice.....	125
III.3. Prise de recul sur la collaboration et l'analyse des séances de DNL observées.....	126
III.3.1. Complicité à travers les entretiens d'auto-confrontation des séances de DNL.....	126
III.3.2. Apport de la médiation avec l'enseignant via l'outil intermédiaire « retour sur la séance observée »	128
III.3.3. Pratique enseignante et approche conceptuelle bilingue	131
Synthèse du III.3. Prise de recul sur la collaboration et l'analyse des séances de DNL observées	134
Synthèse du chapitre III. Collaboration avec l'enseignant complice.....	135
Chapitre IV. Co-construction de la séquence : vers le prototype et sa mise à l'épreuve	136
IV.1. Modules de co-construction et modèle épistémologique de référence	136
IV.1.1. Préparation des modules de co-construction	136
IV.1.2. Module 1 : savoir à enseigner, programmation et progression	140
IV.1.3. Module 2 : transposer les savoirs à enseigner.....	145
IV.1.4. Module 3 : activités expérimentales AE1 et AE2	149
IV.1.5. Module 4 : activités documentaires AD, aménagement des chapitres	152
IV.1.6. Réflexion issue des quatre modules	155
Synthèse du IV.1. Modules de co-construction et modèle épistémologique de référence.....	158
IV.2. Prototype de la séquence et mise à l'épreuve.....	158
IV.2.1. Prototype et protocole de recherche	158
IV.2.2. Résultats autour de l'activité documentaire AD1	162
IV.2.3. Résultats autour de l'activité expérimentale AE1.....	168
IV.2.4. Résultats autour de l'activité documentaire AD2	174
IV.2.5. Conclusion sur l'état des possibles (année N).....	179
Synthèse du IV.2. Prototype de la séquence et mise à l'épreuve	184
Synthèse du chapitre IV. Co-construction de la séquence : vers le prototype et sa mise à l'épreuve	185
Chapitre V : Approche intégrée conceptuelle bilingue des mécanismes de l'effet de serre et du réchauffement climatique.....	186
V.1. Accéder aux savoirs disponibles (appropriation des savoirs disciplinaires)	186
V.1.1. Protocole de recherche ajusté et prototype actualisé.....	186
V.1.2. Conception d'une fiche d'exploitation d'une vidéo en anglais.....	188
V.1.3. Conception d'une fiche de préparation d'activité expérimentale AE.....	190
V.1.4. Contexte de réalisation du protocole	191
V.2. Volet 1 de la séquence : critère de globalité du //réchauffement climatique//	192
V.2.1. Distinguer les types de rayonnement (vidéo en anglais).....	192

V.2.2. Transmission d'un rayonnement par un gaz, AE1.....	202
V.2.3. Interaction rayonnement-atmosphère, AD1	214
Synthèse du V.2. Volet 1 de la séquence : critère de globalité du //réchauffement climatique//	222
V.3. Volet 2 de la séquence : critère de concentration en dioxyde de carbone atmosphérique....	223
V.3.1. Conception de l'AE2 : identification et dosage du dioxyde de carbone dans l'atmosphère	223
V.3.2. Productions des élèves sur la fiche de préparation de l'AE2	226
V.3.3. Enoncés-cible des élèves, AE2.....	229
Synthèse du V.3. Volet 2 de la séquence : critère de concentration en dioxyde de carbone atmosphérique	231
V.4. Volet 3 de la séquence : critère de bilan radiatif	231
V.4.1. Emission de rayonnement par un corps à une température donnée, AD2	231
V.4.2. Bilan d'énergie pour le système Terre-atmosphère, AE3	236
Synthèse du V.4. Volet 3 de la séquence : critère de bilan radiatif	239
V.5. L'état des possibles	240
V.5.1. Co-construction d'une séquence intégrée conceptuelle bilingue en trois volets.....	240
V.5.2. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence et explication d'un fait de physique.....	241
Synthèse du chapitre V. Approche intégrée conceptuelle bilingue des mécanismes de l'effet de serre et du réchauffement climatique	244
Conclusion	245
Bibliographie	247
Table des illustrations.....	266
Figures	266
Tableaux	266

Avertissement

Ce manuscrit est rédigé en écriture inclusive¹.

Le terme « physique-chimie » désigne la matière scolaire enseignée en établissement public du secondaire en France. Comme le mentionne Fabiani (2006, p18-19), « La discipline n'est jamais réductible à un savoir ou à une science, dans la mesure où elle est indissociable d'un système d'enseignement particulier ».

¹ Haddad, R. et Baric, C. (2016). Manuel d'écriture inclusive : faites progresser l'égalité femmes/hommes par votre manière d'écrire. Mots-clés.

Introduction

L'envie de mener une thèse mêlant physique-chimie et anglais

A la rentrée scolaire 2012, le nouveau programme d'enseignement spécifique de physique-chimie pour la classe terminale de la série scientifique entrainé en vigueur. Il est constitué de trois parties qui reprennent les « trois grandes phases de la démarche scientifique : observer, comprendre, agir » (MENJVA, 2011)². Il incite les enseignant.e.s à mettre en œuvre leur liberté pédagogique en élaborant des « fils rouges » pour articuler les notions, contenus et compétences à traiter. Des exemples sont donnés comme celui du laser ou de la spectroscopie. Le programme met fréquemment l'accent sur l'importance d'entraîner les élèves à « extraire » et « exploiter » des informations :

« Dans une société où des informations de tous ordres arrivent dans l'immédiateté et de toutes parts, la priorité est donnée à la formation des esprits pour transformer cette information en une connaissance. ». (MENJVA, 2011, p.1)

L'idée d'avoir recours à la langue étrangère et notamment à l'anglais revient à plusieurs reprises dans le programme : « La communication internationale traitant de cette globalité a lieu de plus en plus fréquemment en anglais », « se familiariser avec l'usage scientifique de cette langue » (*ibid.*, p.4). Elle fait écho à l'utilisation de « supports d'informations »³ variés. Exerçant le métier de professeure de physique-chimie en terminale scientifique cette même année, j'avais décidé de me prêter au jeu et de construire une séquence avec le fil rouge « réchauffement climatique », par intérêt pour ce thème et en raison d'un travail de recherche effectué sur la compréhension de l'effet de serre auprès d'élèves de première scientifique (Colin et Tran Tat, 2011). De plus, l'utilisation de la langue étrangère (anglaise et espagnole) pendant mes cours, hors de tout dispositif institutionnel favorisant le bilinguisme, semblait générer davantage de motivation et de participation de la part de certain.e.s élèves, plutôt réticent.e.s initialement à la physique-chimie, mais avec une appétence avérée pour les langues vivantes. Elle s'est aussi révélée appréciable pour questionner le rôle du passage d'une langue à l'autre dans l'évaluation de la compréhension chez l'élève : quelle signification l'élève donne-t-il.elle à une notion scientifique exprimée en langue étrangère, s'appuie-t-il.elle sur ses connaissances de physique-chimie pour mobiliser des termes et idées spécifiques, en français?

² Ministère de l'Education nationale, de la jeunesse et de la vie associative. (2011). *Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie. Classe terminale de la série scientifique* (Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011).

³ « Les supports d'informations proposés aux élèves seront multiples et diversifiés : textes de vulgarisation et textes scientifiques en français et éventuellement en langue étrangère, tableaux de données, constructions graphiques, vidéos, signaux délivrés par des capteurs, spectres, modèles moléculaires, expériences réalisées ou simulées, etc. » (MENJVA, 2011, p.1)

Le projet de recherche dans le cadre de ce doctorat s'est construit autour de l'enseignement-apprentissage de l'effet de serre naturel et du réchauffement climatique en cours de physique-chimie pour la classe de terminale scientifique où l'anglais est parfois utilisé lors d'exploitation de supports d'information par les élèves. Le choix se porte sur la construction d'une séquence dont l'enchaînement des notions à enseigner permet aux élèves d'expliquer les mécanismes physiques du réchauffement climatique. Ce travail vise à explorer des pistes sur la manière de concevoir et mettre en œuvre une séance intégrée, qui unit la langue anglaise et les contenus de physique-chimie.

Prise de positions

Le phénomène de réchauffement climatique sera abordé exclusivement dans le champ d'application de la physique : d'un point de vue global, il s'explique donc par le fait que la température moyenne de surface de la planète augmente. C'est pourquoi son étude au cours de la séquence construite repose sur une approche conceptuelle, au sein d'une classe de terminale scientifique et en cours de physique-chimie. En effet, les concepts mobilisés sont présents dans le programme concerné (MENJVA, 2011) et peuvent être contextualisés avec le thème choisi : rayonnement reçu et émis par la Terre (nature, propriétés), interaction rayonnement-matière (rôle des gaz atmosphériques dont les gaz à effet de serre), équilibre thermique pour le système Terre (énergie et flux thermique). Ils permettent d'expliquer l'effet de serre naturel et l'effet de serre anthropique pour donner du sens à l'expression « réchauffement climatique ». La revue de littérature sur les conceptions d'enseignant.e.s, d'apprenant.e.s, du grand public sur l'effet de serre et le réchauffement climatique nourrit l'élaboration de la séquence. Les travaux de didactique sur les différents concepts mis en jeu (énoncés précédemment), sur les raisonnements et démarches en sciences expérimentales étayent les choix opérés et les analyses effectuées. Ainsi les problématiques liées à la médiatisation du changement climatique, aux enjeux sociétaux, à la recherche sur l'environnement, la biodiversité, l'énergie... et l'étude de ses conséquences sont passées sous silence. Le travail présenté est placé dans le domaine de la didactique de la physique. Le choix du réchauffement climatique comme fil conducteur de la séquence permet de situer l'enseignement-apprentissage de la physique-chimie dans un paysage plus vaste, celui de l'activité scientifique.

L'utilisation de la langue anglaise et l'analyse de ses effets sur la conceptualisation du réchauffement climatique est proposée dans une approche bilingue français-anglais. La recherche de compréhension de faits de physique par les élèves s'opère à partir des concepts enseignés en français par l'enseignant.e et des concepts présentés à travers des supports en français ou en anglais, notamment à travers des documents textuels ou audiovisuels, à caractère informatif ou explicatif utilisant différentes modalités de représentation, différents « registres sémiotiques » (Duval, 2007). L'objectif

est d'identifier les stratégies que les élèves mettent spécifiquement en œuvre lorsqu'ils.elles doivent mobiliser ou construire des compétences et des connaissances propres à la physique-chimie à partir de supports en anglais. Des éléments de didactique des langues vivantes, de l'anglais et du plurilinguisme sont convoqués pour enrichir la réflexion : activités langagières, anglais scientifique, anglais de spécialité, statut de la langue en contexte bilingue, approche actionnelle, traduction.

L'anglais est choisi pour deux raisons principales. La première est pragmatique : l'anglais est appris au lycée par tous les élèves d'une classe de terminale donnée. La deuxième est liée au fait que l'activité des scientifiques en sciences du climat se développe à travers la langue anglaise, langue de communication au sein de la communauté scientifique internationale. L'universalité de la thématique de la séquence a conduit à intégrer cette langue dans la séquence. La dénomination adoptée L1, L2 (ici L1 pour le français et L2 pour l'anglais) est issue du cadre européen de référence pour les langues (Conseil de l'Europe, 2001).

Le contexte d'enseignement est celui d'un cours de physique-chimie pour une même classe d'élèves de terminale scientifique, qualifié de « standard », c'est-à-dire hors d'un dispositif bilingue particulier, de type section européenne, section internationale ou binationale. En effet, avec ces dispositifs, l'approche monolingue, de type immersive en langue, est privilégiée, ce qui n'est pas envisagé dans la séquence. De plus, les objectifs linguistiques prédominent souvent sur les objectifs de la discipline physique-chimie (Maitre, 2016).

Une ébauche de construction de séquence autour du fil rouge est proposé à un.e enseignant.e : l'élaboration ainsi que la mise en œuvre de la séquence envisagée a été pensée dans le cadre d'un travail collaboratif avec un.e autre enseignant.e de physique-chimie pour une réalisation dans une de ses classes. Une prise de contact a eu lieu avec deux professeurs titulaires de la certification complémentaire DNL (discipline non linguistique) physique-chimie en anglais, enseignant en section européenne. Chacun exerce dans un lycée de l'académie où la réalisation du projet de doctorat a été prévue : le choix a été guidé par des contraintes géographiques. Il s'agissait également de privilégier des enseignants qui ont l'habitude de préparer et réaliser un cours de physique-chimie en langue anglaise au lycée, qui ont des affinités pour l'anglais, qui sont à l'aise avec cette langue. Deux séances d'observations suivies d'un entretien d'autoconfrontation simple avec chaque enseignant ont eu lieu. Le but consistait à partager nos points de vue sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique-chimie en anglais à partir de données issues des pratiques ordinaires des enseignants (hors d'un dispositif de recherche). Ces échanges devaient aider à préparer une éventuelle collaboration l'année suivante, dans le cadre de la construction d'une séquence bilingue en cours standard de physique-chimie en terminale scientifique. Après ces échanges avec chacun des enseignants, une proposition

d'une ébauche de séquence a été présentée. Un enseignant sur les deux contactés a alors accepté de s'associer au travail de recherche en ayant mesuré l'impact d'un tel partenariat sur ses activités professionnelles et personnelles. C'est cette collaboration qui a permis de concrétiser le projet de recherche présenté.

Une démarche de recherche en quatre étapes

Deux questions sont à l'origine de ce projet en cours standard de physique-chimie, classe de terminale scientifique : comment aborder le réchauffement climatique en s'appuyant sur les concepts au programme ? Comment intégrer l'anglais dans le cours standard ? L'enjeu de cette recherche consiste à trouver une synergie entre l'approche conceptuelle et l'approche bilingue français-anglais propre à la séquence à co-construite, à mettre en œuvre et à analyser. Cette dynamique repose sur le rôle de médiation des langues L1 (français) et L2 (anglais, langue cible) dans la construction des savoirs liés à la discipline physique-chimie : comment l'articulation entre langues française et anglaise peut-elle médier la mobilisation ou la construction de savoirs de physique-chimie lorsque des supports en anglais (textuels, audiovisuels, graphiques) sont exploités par des élèves de terminale scientifique en cours standard de physique-chimie autour de l'effet de serre et du réchauffement climatique? La démarche menée pour répondre à cette question s'effectue en quatre phases.

La première phase est d'abord construite à travers le Chapitre I : elle consiste à explorer l'état des recherches sur l'enseignement-apprentissage d'une discipline en langue étrangère, en particulier par l'approche EMILE/CLIL (enseignement d'une matière intégré en langue étrangère / *content and language integrated learning*) ou en contexte d'enseignement de discipline non linguistique (DNL) pour les sections européennes en France. La relation entre langues et savoirs est alors étudiée à travers d'autres types de travaux de recherche et est précisée dans le cas de l'anglais et des sciences. Elle se poursuit avec le chapitre II : elle contribue à l'élaboration d'une esquisse de séquence grâce au concept de transposition didactique décliné en trois étapes où le passage du savoir savant au savoir à enseigner, puis au savoir enseigné et enfin au savoir disponible est explicité (Chevallard, 1994). Le concept de réchauffement climatique tel qu'il est appréhendé dans la recherche est défini ainsi que l'approche intégrée conceptuelle bilingue. La deuxième phase de la recherche est présentée au chapitre III où le cadre de la recherche-action collaborative est présenté pour cibler les enjeux de l'étude menée dans le cadre d'une démarche de faisabilité (Astolfi, 1993). La mise en place du travail collaboratif avec l'enseignant, complice dans la co-construction de la séquence visée (Desgagné et al., 2011), est initiée autour d'observation de séances de cours de DNL menées par l'enseignant lors de l'année N-1. Cette collaboration se poursuit lors de la troisième phase où des négociations avec l'enseignant complice lors de modules de co-construction conduisent à l'élaboration d'un prototype de séquence (chapitre

IV). La mise en œuvre de celui-ci lors de l'année N auprès d'une classe d'élèves de terminale scientifique permet de déterminer un premier état du possible en regard de l'approche intégrée conceptuelle bilingue. La quatrième et dernière phase de la recherche consiste à itérer, lors de l'année N+1, la première expérimentation, en procédant à quelques aménagements (chapitre V) afin de préciser l'état du possible.

Chapitre I. Approche intégrée d'une langue cible et de contenus spécifiques à une matière

Dans l'objectif de concevoir une séquence de physique-chimie où des activités documentaires et expérimentales sont menées par les élèves à partir de supports en anglais, la réflexion porte sur la mise en relation de la langue (L1, français, langue de scolarisation et L2, anglais, langue cible) avec les concepts visés dans la discipline. De nombreux travaux de recherche au niveau international qualifient cette relation d'intégration de la langue et des contenus de la discipline (I.1). En France, l'enseignement en DNL, discipline non linguistique, est l'objet d'étude qui a permis la didactisation de l'alternance des langues L1 et L2 (I.2). Celle-ci a en effet à voir avec la conceptualisation et la construction de savoirs (I.3.). Envisager une approche bilingue français-anglais dans un cours de physique-chimie conduit à s'interroger sur la notion de spécificité d'une langue, en particulier pour le cas de l'anglais qualifié de scientifique (I.4.).

I.1. Enseignement-apprentissage intégré : EMILE, CLIL

C'est dans un contexte de construction de l'Europe que les recherches sur le développement de l'enseignement et de l'apprentissage des langues dans les systèmes éducatifs européens se sont multipliées et précisées à partir des années 90. Les questions autour de la diversité linguistique, de l'approche culturelle et de l'identité pluriculturelle en font partie. L'idée d'apprendre la langue étrangère comme la langue maternelle, le plus naturellement possible et dans une situation de communication qui stimule les interactions sociales a été défendue très tôt (O'Neil, 1993, p.63). En 1995, le texte de Résolution du Conseil de l'Europe évoque « l'enseignement, dans une langue étrangère, de disciplines autres que les langues dans des classes assurant un enseignement bilingue » (Eurydice, 2006, p.8). Au début des années 2000, la Commission européenne impulse la mise en place de l'enseignement d'une matière intégré à la langue étrangère (EMILE), comme « contribution majeure à apporter à la réalisation des objectifs de l'Union européenne en termes d'apprentissage des langues » (*ibid.*, p.9).

I.1.1. Un objectif double pour la langue et pour les contenus

En s'appuyant sur les dispositifs existant au Canada et en Suisse où le contexte plurilingue est favorisé, des projets pilotes et la mise en place de pédagogies innovantes ont permis de promouvoir un enseignement d'une matière « avec et à travers la langue étrangère » (*ibid.*, p.7). L'expression *Content and Language Integrated Learning*, dont l'acronyme est CLIL, est utilisée par une équipe de recherche sur le plurilinguisme en Finlande au début des années 90 :

“CLIL refers to situations where subjects, or parts of subjects, are taught through a foreign language with dual-focused aims, namely the learning of content, and the simultaneous learning of a foreign language.” (Marsh, 2006)

Ce type d’enseignement d’une matière en langue étrangère, en tout ou partie, vise deux objectifs ancrés sur deux objets d’apprentissage que sont la langue étrangère, L2 et le contenu disciplinaire, propre à la matière. Deux dialectiques, enseignement-apprentissage et langue-contenus coexistent. Elles sont reprises dans ce que peut être l’EMILE⁴ pour une diffusion dans le système éducatif européen :

« Compris comme une forme d’apprentissage combinant des aspects linguistiques et disciplinaires, l’enseignement EMILE poursuit un double objectif. Cette approche pédagogique doit permettre à l’élève, d’une part d’acquérir des connaissances dans des contenus spécifiques du programme d’études, et, d’autre part de développer des compétences linguistiques dans une langue autre que celle utilisée habituellement comme langue d’instruction. » (Eurydice, 2006, p.22)

Le caractère général du terme CLIL/EMILE (« *umbrella term* », Nikula, 2007, p.208) se réfère à une grande variété d’approches éducatives, dont les objectifs et le rôle de la langue sont fréquemment rappelés en référence aux travaux de recherche de Coyle, Hood, and Marsh (2010, p.1) : « a dual-focused educational approach in which an **additional language** is used for the learning and teaching of both content *and* language ». La langue utilisée est désignée comme additionnelle (typographie en gras par les auteurs). Elle permet de véhiculer les contenus dans ce contexte d’enseignement (« *CLIL vehicular language* » (*ibid.*)). Le rapport Eurydice (2006, p.61) qualifie de langue cible :

« toute langue choisie pour enseigner une ou plusieurs matières sélectionnées au sein du programme d’études (en dehors des cours de langue eux-mêmes) dans le cadre de l’enseignement de type EMILE, les autres matières étant toujours enseignées dans la langue du programme d’études ordinaire. [...] »

En contexte EMILE, la langue utilisée pour enseigner est aussi qualifiée de langue « étrangère » ou de langue « autre que celle utilisée habituellement comme langue d’instruction » ou de langue « différente de la langue d’enseignement », « utilisée pour enseigner certaines matières du programme d’études en dehors des cours de langues eux-mêmes. » (Eurydice, 2017, p.59)

La mise en œuvre de l’EMILE repose sur trois aspects (Nikula et al., 1998) : le traitement équilibré de ses deux objectifs caractéristiques, l’identification des objectifs spécifiques et la possibilité d’avoir recours soit à une instruction monolingue, où la langue cible est l’unique langue utilisée, soit à une

⁴ Dans ce qui suit, l’acronyme EMILE est utilisé même dans le cas de références à des recherches menées ou publiées en anglais sur la même approche appelée « CLIL ». D’autres expressions et leur acronyme existent selon la langue : par exemple, en espagnol, il s’agit de « *aprendizaje integrado de contenidos y lengua extranjera* » (AICLE).

instruction bilingue où deux langues s'alternent. L'étude menée en 2004-2005 par le réseau Eurydice sur ce type d'enseignement montre qu'en France, les objectifs principaux sont linguistiques et socio-culturels. D'ailleurs à l'échelle européenne, « l'analyse des contributions nationales révèle que l'acquisition des compétences disciplinaires dans les matières qui font l'objet de cet enseignement semble passer parfois au deuxième plan » (Eurydice, 2006, p.56). Les matières scientifiques et les sciences sociales sont majoritairement représentées au niveau européen pour l'EMILE. L'anglais est la langue cible la plus utilisée. En effet, depuis le début des années 2000, l'approche EMILE s'est considérablement développée avec l'anglais, considéré à l'échelle internationale comme la langue nécessaire à l'accès à la connaissance (Costa, 2009) ou comme *lingua franca* qui répond à des besoins communicationnels entre pays et cultures : « [...] *is spreading in various and varied manifestations and adapted to the needs of intercultural communication.* » (Seidlhofer, 2011, p. 17). La volonté d'augmenter le temps d'exposition à la langue étrangère a été satisfaite grâce à une politique européenne visant la diffusion de l'enseignement, le plus tôt possible, d'au moins deux langues étrangères et l'augmentation du volume horaire dans l'emploi du temps scolaire de l'enseignement des langues (Eurydice, 2005). Avec l'EMILE, ce temps d'exposition peut être augmenté sans impact sur le temps scolaire puisque « [la] langue cible des cours d'EMILE n'est pas l'objet de l'étude, mais un moyen de communication pour étudier une autre matière du programme. » (Eurydice, 2017, p.59). Grâce à l'EMILE, l'utilisation de la langue est enrichie par d'autres possibilités de contextualisation. D'ailleurs, dans les années 90, le développement de l'EMILE a été favorisé par un atout majeur, celui de permettre un niveau élevé d'authenticité de la situation de communication (Coyle, 2010, p.5). L'évolution de l'objet d'étude qu'est l'EMILE a conduit à l'élaboration d'un cadre pour la recherche.

1.1.2. Un cadre de référence pour l'EMILE

La volonté de diffuser cette nouvelle approche pédagogique et de la rendre réalisable au sein de la classe a orienté les études vers l'identification d'invariants de l'EMILE. La planification de séquences de type EMILE peut alors être menée en référence à un cadre, « the 4Cs Framework » (Coyle, 2006) qui regroupe quatre composantes :

- le contenu (« *content* »), propre à la matière enseignée en langue cible, qui met en jeu l'ensemble des compétences de l'apprenant.e relatives à cette matière.
- la cognition (« *cognition* ») qui implique les processus intellectuels nécessaires pour accéder à un concept ou répondre à l'exigence linguistique en cours d'apprentissage,
- la communication (« *communication* ») qui permet l'apprentissage et la reconstruction des données (« *input* ») que l'apprenant.e doit traiter et qui le.la fait interagir en langue cible,
- la culture (« *culture* »), composante importante, qui vise à ce que l'apprenant.e fasse des liens entre langues, langages, cultures, histoire et lui.elle-même.

Le rôle de la langue est analysé à l'aide du « triptyque langue » qui distingue la langue des disciplines, pour un apprentissage spécifique des contenus disciplinaires (« *language of learning* »), la langue à travers l'apprentissage (« *language through learning* ») où le développement de la langue s'opère grâce au contexte d'apprentissage (enrichissement du lexique, prise de conscience d'une nouvelle structure linguistique ...) et la langue de communication (« *language for learning* ») qui permet à l'élève de réaliser les tâches demandées telles que poser des questions en langue cible, y répondre, écrire un compte-rendu, argumenter un propos ... L'intégration de la langue et des contenus implique aussi un changement de la posture des apprenant.e.s. Ils.elles. se convertissent en usager.ère.s de la langue :

“It has often been argued by the advocates of content-based instruction that focus on meaning rather than on formal aspects of language is one of the reasons why this type of education is useful: it does not position students as language learners but as language users.” (Nikula, 2007, p.213)

L'EMILE défend l'idée d'un apprentissage de la langue L2 par l'usage de celle-ci. Cela fait non seulement écho à la notion d'immédiateté qui caractérise la génération Y (Marsh, 2006, p.66) mais aussi à l'apprentissage d'une langue en contexte pour donner du sens à l'apprentissage mobilisant différents types de compétences, en langue, en discipline et en méthodes d'apprentissage (« *learning skills* ») :

“Making connections in a classroom can involve helping students to access their current knowledge, understandings, attitudes and learning skills, part of which may be tacit. To build relational links, several practitioners and researchers suggest teachers in bilingual education organise the 'curriculum around content-based thematic concept(s).” (Fortune, 2000, p.2-4, cité par Mehisto, 2012, p.25)

1.1.3. La question de l'efficacité de l'enseignement-apprentissage en contexte de l'EMILE

Cette question de l'efficacité d'un enseignement de type EMILE sur l'apprentissage des contenus d'une discipline et de la langue anglaise peut renvoyer à celle d'un enseignement de type EMI (English medium instruction). Par exemple, Macaro et al. (2018) analysent quatre-vingt-trois études sur l'EMI dans l'enseignement supérieur et concluent à un manque de preuves concernant le gain pour l'apprentissage de la langue cible ou celui pour la discipline. Ils nuancent l'idée que des bénéfices pour la langue s'accompagneraient d'un coût cognitif ou d'une baisse de qualité pour l'apprentissage des contenus de la discipline enseignée. Concernant l'impact d'un enseignement de type EMILE sur les performances des apprenant.e.s dans la discipline visée, les études de Piesche et al. (2016) ou de Surmont et al. (2016) montre que l'apprentissage des contenus disciplinaires dans l'enseignement secondaire (respectivement en physique et mathématiques) est favorisé par l'approche EMILE. Jäppinen (2005) montre une différence significative concernant les performances d'élèves, entre un groupe contrôle (enseignement en suédois) et un groupe expérimental (enseignement en français, anglais et suédois), en sciences (météorologie et climat), pour deux classes d'âge, 7-9 ans et 10-12 ans.

Les résultats portent sur le développement cognitif des sujets, au bout d'un an et demi, par l'intermédiaire de tâches contextualisées présentes dans un questionnaire, en suédois. Jäppinen affirme que l'apparente difficulté de l'usage d'une langue étrangère dans un cours en sciences est gommée sur le long terme grâce à l'enrichissement langagier et cognitif des sujets. Le développement cognitif viendrait de la comparaison entre les deux systèmes de langue, en L1 et en L2 :

”CLIL learners are assumed to interpret CLIL environments by creating analogical reasoning systems based on the two languages that influence, often unconsciously, the learning situation and are part and parcel of it.” (Jäppinen, 2005, p.153)

La mesure du développement cognitif que l'auteur propose s'appuie sur les travaux de Bruner (aires d'apprentissage) et Piaget (catégories de raisonnement). Ce résultat, le fait que l'EMILE contribue à développer des compétences qui aident à penser et réfléchir dans les disciplines scolaires, n'est pas isolé. Un témoignage d'un « apprenant EMILE » l'exprime: « When you do geography in French it's harder because you have to concentrate more, but then you learn it better (Hood, 2006, cité par Coyle et al., 2010, p.89).

Une meilleure performance d'apprenant.e.s en contexte EMILE est visible à l'écrit, en ce qui concerne le lexique et la grammaire ainsi qu'en lecture, à la différence de la compréhension orale (Pérez-Vidal et Roquet, 2015). Les résultats proviennent de la comparaison entre pré-test et post-test entre un groupe témoin et un groupe qui bénéficie d'un enseignement EMILE en sciences et anglais, en plus de l'enseignement de l'anglais en « instruction formelle » (« *formal instruction* »). Plusieurs études sur les compétences langagières des apprenant.e.s en contexte EMILE indiquent que les activités en production écrite ou orale en L2 sont souvent celles qui leur coûtent le plus (Lorenzo, 2007) quel que soit le niveau de classe. L'utilisation de structures linguistiques spécifiques à la L2 est peu fréquente. La valeur sémantique des phrases produites est faible : les apprenant.e.s semblent prisonnier.ère.s de syntaxes caractéristiques de la L1 ou simplifiées en laissant de côté les procédés stylistiques en L2. C'est souvent le manque de connaissance de l'anglais pour un domaine spécifique (médecine, ingénierie...) qui explique les difficultés rencontrées : des témoignages d'étudiant.e.s (Nuñez Asomoza, 2015) soulignent l'absence de connaissances propres au domaine dans la langue de scolarisation (L1) dans le cas où la matière n'est enseignée qu'en langue du cours EMILE (L2). S'il est difficile de tirer des conclusions convaincantes sur l'évolution du niveau académique atteint par les apprenant.e.s dans une discipline dans le cas de l'approche EMILE, les travaux de De Courcy et Burston (2000) montrent qu'en mathématiques, l'usage de la L2 (français pour un public australien en classe équivalente au CM2) fait baisser les performances des élèves.

De plus, l'enquête par questionnaire menée par ces mêmes auteurs auprès d'environ une vingtaine d'enseignant.e.s EMILE, d'anglais et de disciplines autres que l'anglais (deux établissements publics et

deux d'enseignement privé catholique du secondaire, communauté de Valence, Espagne) indique que deux tiers des enseignant.e.s d'anglais ne formulent pas d'inconvénients à un enseignement de type EMILE. Les deux catégories d'inconvénients évoquées par le tiers restant concernent le manque de termes spécifiques en L1 des apprenant.e.s et l'attention excessive portée à la langue plutôt qu'au contenu disciplinaire. Ces obstacles sont contrebalancés par des bénéfices liés à l'amélioration globale du niveau d'anglais des apprenant.e.s, notamment pour le vocabulaire, et au développement des compétences en interaction et en compréhension orale des élèves. Les enseignant.e.s EMILE d'une discipline autre que l'anglais reconnaissent les mêmes avantages mais affirment en majorité devoir réduire le rythme d'enseignement à cause d'un manque de vocabulaire spécifique des élèves et d'un niveau d'anglais insuffisant des professeur.e.s, comme des élèves. Le manque de formation de ces enseignant.e.s est aussi mis en avant, en particulier à cause du fait qu'aux difficultés rencontrées par les élèves lors de l'apprentissage de la discipline s'ajoutent celles liées à l'apprentissage de la langue. Ces mêmes enseignant.e.s mettent en évidence un manque d'acquisition des contenus disciplinaires, d'absence de ressources adaptées et un sentiment d'insécurité à faire cours dans ce contexte EMILE.

Un ensemble de travaux sur l'EMILE aborde la question de la motivation, de la perception et des émotions des apprenant.e.s dans un tel environnement, qui leur est profitable et leur permet de s'engager plus facilement (Coyle et al., 2010 ; Lorenzo et al., 2011 ; Guillamón-Suesta & Renau Renau, 2015, p.2). Van de Craen et al. (2007), Nuñez Asomoza (2015) indiquent que pour des apprenant.e.s du supérieur, l'investissement personnel dans le cursus scolaire et la motivation individuelle à développer ses connaissances et compétences influencent leurs performances en contexte EMILE, en langue et pour la discipline concernée. La motivation conditionne la capacité à se concentrer, à porter attention sur ce qui contribue à développer son apprentissage. Les travaux de Dörnyei sur l'impact de la motivation intrinsèque et extrinsèque d'un.e apprenant.e pour acquérir une langue étrangère sont une référence pour construire des situations d'enseignement-apprentissage de type EMILE (Coyle et al., 2010, p.90). La motivation est aussi un objectif à atteindre (Eurydice, 2005, p.22) ; il s'agit de « Faciliter l'acquisition chez l'élève de contenus disciplinaires et de capacités d'apprentissage : stimuler l'apprentissage des contenus grâce à une approche innovante/différente (objectifs pédagogiques) ». A titre d'exemple, la recherche menée par Nikula et Marsh (1997, cité par Nikula, 2007, p.213) montre que les élèves finlandais qui ont participé à des cours EMILE se sont davantage pris au jeu à utiliser l'anglais (« plaisir » et « effort » plus importants) que dans un cours de langue vivante. Nuñez Asomoza (2015) recueille des témoignages d'étudiant.e.s de l'université de Mexico par entretien individuel et identifie une diversité de sentiments éprouvés par ces apprenant.e.s (de l'excitation à la peur et à l'anxiété). Sa recherche précise aussi que les étudiant.e.s exercent un regard positif sur les enseignant.e.s dont l'accent n'est pas celui d'un.e locuteur.trice natif.ve car ce qui leur importe est la

qualité de l'instruction de contenus. Elle montre également que la dimension pédagogique de l'EMILE peut nuire au climat de classe, dans le cas où l'idée d'appartenance à un groupe constitué d'étudiant.e.s locuteur.trice.s natif.ve.s en anglais, ou non, émergerait : « The class dynamic changed, identities were redefined or questioned, and all of this led to attitudes that turned negative in some cases. » (Nuñez Asomoza, 2015, p. 117)

Identifier les impacts positifs de l'EMILE est difficile et les résultats produits ne sont pas si fiables. Les biais méthodologiques proviennent notamment du nombre de variables importantes liées aux différents contextes de mise en œuvre de l'EMILE et au fait de vouloir à tout prix identifier des bénéfices à ce type d'approche (Dalton-Puffer et al., 2013). Roussel (2019, p.5) rappelle que la méthodologie des recherches sur l'EMILE a souvent été critiquée et remise en question, notamment en ce qui concerne l'utilisation de groupes de contrôle d'apprenant.e.s « non CLIL » qui n'est pas équivalent aux groupes « CLIL » étudiés (sélection des apprenant.e.s EMILE, par exemple). Les différents travaux sur l'EMILE parviennent à un consensus général sur le fait que c'est la zone de rencontre entre langue L2 et contenus d'une discipline qui contribue à la réussite de cette approche (Lorenzo, 2007). La plasticité du cerveau est sollicitée en contexte EMILE, bilingue ou plurilingue, et contribue à l'amélioration des capacités de l'apprenant.e d'un point de vue cognitif : en ce sens, les recherches de l'EMILE peuvent s'inscrire dans celles de la théorie de l'apprentissage (Van de Craen et al., 2007) .

I.1.4. Des séquences EMILE construites autour de la notion de tâche

Une proposition caractéristique de l'approche EMILE pour permettre l'intégration de la langue cible et du contenu disciplinaire est de concevoir des tâches que l'apprenant.e doit réaliser. L'idée maîtresse est que la tâche à mettre en œuvre oblige l'apprenant.e à s'appuyer sur le support grâce auquel sont exposés les contenus à exploiter (« *input* ») pour élaborer sa production (« *output* ») (Coyle et al., 2010, p.98). La nature de la tâche contribue à l'engagement de l'apprenant.e. De même, le choix de supports exploités en classe ainsi que le rôle de l'enseignant.e ont un impact sur la perception des apprenant.e.s en classe (Mehisto et al., 2008). Des références à la théorie sur le « *comprehensible input* » de Krashen rappellent que cet *input* doit être adapté au public EMILE, tant au niveau de la L2 qu'au niveau de la matière. De même la réflexion sur la nature de la tâche s'inspire des travaux de Nation (1990) ou Ellis (2003) où la recherche du sens d'un mot inconnu se fait par négociation du sens au cours de la communication de manière naturelle. Moore et Lorenzo (2007) illustrent le processus d'adaptation d'un texte authentique en tenant compte de son niveau de difficulté linguistique.

De plus, l'étayage de l'enseignant.e et l'interaction avec l'enseignant.e ou les autres apprenant .e.s contribuent à l'exécution réussie de la tâche. Lorenzo (2007) souligne que l'enseignant.e de la

discipline se concentre spontanément sur le discours académique plutôt que sur les questions linguistiques. Selon lui, il n'est donc pas réaliste d'attendre une vigilance linguistique de la part de ces enseignant.e.s. Il propose une matrice dans le but de mettre l'accent sur l'approche langagière sans nuire à l'apprentissage du contenu : la pré-tâche permet d'apporter les éléments linguistiques qui vont être nécessaires pour réaliser la tâche dont le rôle est de contribuer à l'apprentissage d'un contenu lié à la discipline. La pré-tâche peut consister en la présentation d'une définition, du lexique qui va être utilisé, faire appel à la traduction, etc. Lorenzo et al. (2011, p.245-247) en listent de nombreuses ; ils les présentent par catégories (celles liées au lexique, celles qui mettent en évidence des informations en compréhensions orale, écrite ou en production orale, écrite, celles qui s'appuient sur un visuel ...). De même les tâches spécifiques à la discipline prennent en compte la dimension langagière : les tâches dites académiques font travailler le passage d'un genre de texte à un autre, la prise d'informations par un schéma ou en rédigeant un résumé, etc. Les tâches peuvent également être spécifiques à la discipline, à la manière de traiter l'information (protocole en sciences, feuilles d'observation ...). Il en existe d'autres en relation avec la coopération entre élèves ou qui permettent la créativité (*ibid.*, p.248-249). La post-tâche sert à exercer un regard critique sur l'usage de la langue à travers des activités de correction, d'attention sur la signification de la langue, de la forme, de la structure ... Cette approche par tâche vise à solliciter les élèves d'un point de vue cognitif, pour développer compétences et connaissances propres à la discipline mais aussi à la langue cible (L2). Piesche et al. (2016, p.114) rappellent la nécessité d'automatiser la tâche pour limiter la surcharge cognitive systématique. Linares, Morton et Whittaker (2012) montrent qu'il est nécessaire d'identifier les genres linguistiques et les types de discours proposés en classe EMILE. Dans l'article de Nuñez Asomoza (2015) sur les perceptions d'étudiant.e.s EMILE au Mexique, ceux.celles-ci ont apprécié l'utilisation de genres différents et de tâches différentes par rapport à la classe standard.

Les publications sur la conception de séquences de type EMILE rappellent aussi la nécessité d'exercer un regard critique sur ce que la tâche sollicite chez l'apprenant.e d'un point de vue linguistique et cognitif. Coyle et al. (2010, p.44) s'appuient sur les travaux de Cummins et proposent une matrice (« *CLIL Matrix* ») pour catégoriser le niveau d'exigence d'une tâche selon quatre quadrants (« *high/low cognitive demand* » ; *high/low linguistic demand* »). Meyer (2010) élabore un modèle de construction de séquence (« *CLIL-pyramid* ») qui repose sur le cadre de l'EMILE et sur six principes :

- « *rich input* » ou la qualité et la variété des supports présentés aux apprenant.e.s,
- « *scaffolding learning* » ou l'appropriation des contenus grâce à l'étayage de l'enseignant.e,
- « *rich interactions and pushed output* » ou la réalisation de tâches en lien avec une situation de communication qui met en jeu des contenus spécifiques à la discipline,

- « *adding the (Inter)cultural dimension* » ou la mise en perspective culturelle des tâches et/ou des supports utilisés,
- « *make it H.O.T – higher order thinking skills* » ou la progressivité de la difficulté de la tâche, « *sustainable learning* » ou un apprentissage qui mobilise des acquis antérieurs pour construire de nouveaux savoirs.

Selon Meyer, cet apprentissage « durable » devrait permettre aux apprenant.e.s de mettre en relation différentes capacités, expériences, attitudes et connaissances à travers des activités qui implique le passage d'une langue à l'autre (L1, L2). L'auteur se réfère à « l'approche translangagière » où l'apprenant.e recourt à la L1 pour développer sa compréhension en L2 et aux « activités transmédiatives » où le « bilinguisme flexible » contribue à centrer l'apprentissage sur les contenus disciplinaires (Meyer, 2010, p.307).

Synthèse I.1. Enseignement-apprentissage intégré : EMILE, CLIL

L'EMILE est un acronyme qui regroupe une diversité d'approches d'enseignement et d'apprentissage où une langue cible est utilisée pour enseigner une matière. La recherche d'un équilibre entre des objectifs linguistiques et disciplinaires a conduit à des travaux de plus en plus nombreux. Il s'avère que cet équilibre est peu observé. Selon le statut conféré à la langue cible et selon la nature du contexte ainsi que celle de l'étude, les résultats sur les performances des apprenant.e.s ou sur l'efficacité de séquences de type EMILE varient beaucoup. Un cadre de référence de l'EMILE a été construit progressivement pour permettre la conception et réalisation de séquences d'enseignement-apprentissage. Les difficultés émergentes concernent l'acquisition des contenus disciplinaires en langue cible L2, voire en L1 lorsque l'enseignement est monolingue en L2. La préoccupation porte notamment sur le vocabulaire spécifique et les connaissances propres à la matière. L'approche par tâche apparaît comme un moyen d'intégration de la langue et des contenus en cours EMILE. L'activité de compréhension écrite se révèle être une voie d'accès aisé pour ce type d'intégration, limitant les difficultés en langue pour se concentrer sur l'appropriation de contenus. La réflexion sur le choix des supports issus de travaux de didactique des langues éclaire le recours à la tâche et à l'activité langagière en réception pour atteindre un objectif lié aux contenus. De même, l'approche bilingue est appréhendée comme une ressource efficace pour développer durablement connaissances et compétences en langue et pour une discipline donnée.

A la lecture de nombreuses études sur l'approche EMILE, il est remarquable que les analyses et la production de résultats concernent fréquemment le domaine de la linguistique (psycholinguistique, linguistique cognitive ...) et sont publiées par des chercheur.e.s dans ces domaines. Les

préconisations au sujet de l'organisation de séquences et des contenus au profit de l'apprentissage de la L2 sont ultra-majoritaires. Ce qui relève de la relation entre langue et conceptualisation pour des notions propres à une discipline n'a pas beaucoup été exploré en contexte EMILE. Autrement dit, les didactiques des disciplines ne sont pas vraiment convoquées. Il apparaît nécessaire de se tourner vers les travaux sur le bilinguisme où les aspects disciplinaires sont pris en compte dans un contexte français particulier. En effet, en France, la création des sections européennes et de langues orientales (SELO) en 1992 a fait émerger le concept de DNL, discipline non linguistique, dont l'enseignement est pris en charge par un.e enseignant.e de la discipline autre que la langue vivante étrangère. Comment les contenus spécifiques à une discipline peuvent-ils être véhiculés à travers la L1 et la L2 ?

I.2. Bilinguisme et discipline non linguistique (DNL)

I.2.1. Contexte institutionnel de l'enseignement d'une DNL (discipline non linguistique)

Les sections européennes ou de langues orientales (SELO)⁵ du collège au lycée général ou technologique sont créées en France, en 1992, dans un contexte politique, économique et culturel en Europe favorable à l'ouverture internationale et à la diversification des langues. Ces sections visent un objectif triple : offrir un renforcement de l'enseignement linguistique en langue vivante étrangère de la section, un enseignement supplémentaire « de tout ou partie du programme d'une ou plusieurs disciplines non linguistiques » ainsi que « l'organisation d'activités culturelles et d'échanges » en lien avec le projet d'établissement ». ⁶ L'acronyme DNL est utilisé pour désigner une « discipline non linguistique » c'est-à-dire une discipline scolaire, autre que la langue vivante étrangère ou le français, langue de scolarisation, et dont l'enseignement est réalisé en langue vivante.

Le.la candidat.e au baccalauréat général ou technologique peut décider de se préparer et se présenter à l'épreuve spécifique à ces sections pour obtenir l'indication SELO sur son diplôme. L'épreuve spécifique en contrôle continu d'une durée de vingt minutes se compose d'un exposé oral en langue, à partir d'un « document » ou d'un « support d'activités » dont les contenus font appel à la discipline concernée, suivi d'un entretien « qui porte sur les travaux et activités effectués dans l'année, dans la discipline non linguistique et, de manière plus générale, dans le cadre de la section. » Les compétences évaluées que le.la candidat.e doit mobiliser lors de l'exposé en langue vivante étrangère sont « rendre

⁵ D'autres dispositifs favorisant l'apprentissage des langues existent telles que les sections internationales et binationales. Les premières privilégient le recrutement de personnel enseignant natif en langue vivante de la section et le partenariat avec d'autres pays, les secondes ne concernent pas l'enseignement de la physique-chimie.

⁶ Circulaire n° 92-234 du 19 août 1992 (Education nationale et Culture : Cabinet du ministre). Texte adressé aux recteurs. Mise en place de sections européennes dans les établissements du second degré.

compte du document de manière précise et nuancée » et « en dégager les idées maîtresses et les centres d'intérêt » :

« L'examineur doit prendre en compte : - la clarté de l'exposé et l'intelligibilité du contenu exprimé par l'élève ; - l'aptitude à analyser et à argumenter ; - la qualité de l'information et la culture du candidat, dans le domaine considéré ; - la richesse et la précision de l'expression et la correction grammaticale de la langue parlée. » (MJENR, 2003)

Les professeur.e.s de DNL en SELO sont titulaires d'une certification complémentaire dont l'obtention est conditionnée par la réussite à une épreuve spécifique⁷. Il leur est demandé de développer différentes compétences : au niveau linguistique (un niveau B2 ou C1 adapté à un contexte d'enseignement), en ce qui concerne les textes institutionnels (dispositifs mettant en jeu une DNL, programme d'enseignement d'une langue vivante étrangère), au niveau culturel (utilisation de ressources spécifiques, connaissances d'approches pédagogiques dans d'autres pays), au niveau didactique (connaissances des processus d'acquisition d'une langue étrangère, réflexion sur « la différence entre un enseignement en langue et l'enseignement de la langue » et « entre l'enseignement de sa discipline dans la langue de scolarisation et dans une autre langue », capacité à sélectionner des sujets et supports à utiliser en cours et à « expliquer les différences de concepts, leurs connotations éventuellement divergentes, reconnaître la référence culturelle derrière la notion, à avoir une approche pluriculturelle ». Les compétences professionnelles liées à la collaboration entre enseignant.e.s, à la mise en place de projets pluridisciplinaires, interculturels sont également attendues. Si la note de service de 2004 concernant l'attribution de cette certification indique que le niveau de langue est « un critère majeur » et en précise trois indicateurs (« aisance dans le maniement de la langue courante, à défaut d'une correction parfaite », « maîtrise du vocabulaire lié à la discipline enseignée », « maîtrise du langage de la classe »), le texte réglementaire de 2019 ne le mentionne plus.

Ces « dispositifs » institutionnels pour permettre l'enseignement, l'apprentissage d'une DNL et l'évaluation des compétences des élèves de cours de DNL suscitent de nombreuses réflexions sur ce qui caractérise la DNL et la rend bénéfique au développement des savoirs, savoir-faire et attitudes des élèves ainsi que des compétences professionnelles des enseignant.e.s. En comparaison avec la pédagogie CLIL/EMILE, la place conférée aux contenus de la discipline semble plus affirmée dans la dimension « enseignement ».

⁷ MENJS, 2019. Modalités et délivrance d'une certification complémentaire dans certains secteurs disciplinaires. Annexe – Evaluation de l'épreuve par le jury. B.O. n°30 du 25 juillet 2019. Note de service n° 2019-104 du 16-7-2019 <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Hebdo30/MENH1918230N.htm>

1.2.2. Quelques caractéristiques d'un cours de discipline non linguistique (DNL)

Qualifier la discipline de « non linguistique » a souvent été remis en question (Gajo, 2009 ; Coste, 2003) car cela induit une opposition entre langue et discipline et met à l'écart la question de la langue et du langage dans l'enseignement et l'apprentissage de la discipline : l'expression « semble nier le rôle du langage – et donc, des langues – dans la construction des savoirs » (Mailhos, 2009, p. 13). L'appellation de DdNL, Discipline dite Non Linguistique a même été préconisée dans certains travaux de recherche (Gajo, 2007, p.4). L'usage de l'acronyme EMILE pourrait permettre de dépasser cette dichotomie même si le contexte d'enseignement de DNL est encore très institutionnel. La réflexion sur la dimension linguistique de la discipline est présente dans le cadre de la DNL comme dans le cadre de l'EMILE : la discipline est enseignée en langue et s'enseigne avec, par et à travers la langue.

En effet, d'une part la langue véhicule un mode de pensée. Aden et Peyrot (2009) rappellent que sur un plan individuel, la langue traduit une façon d'être face au monde et une façon de le percevoir. Pour ces autrices, la DNL devrait contribuer à une prise de distance intellectuelle, culturelle, expérientielle. Elle a vocation à favoriser l'approche transdisciplinaire par une collaboration entre les enseignant.e.s de langue vivante étrangère et de la discipline concernée (« travail en tandem », Causa, 2009, p.186). Elle permet de s'interroger sur la place de la culture nationale par rapport à la culture européenne et mondiale. Elle se situe au cœur d'enjeux sociétaux d'un enseignement en plusieurs langues qui gomme la dualité linguistique / non linguistique, langue étrangère / langue nationale, apprentissage égocentré / ouvert à l'international. En ce sens, le cours de DNL ne peut pas se réduire à une traduction d'un cours de discipline de la langue de scolarisation à la langue étrangère. Il nécessite d'appréhender le savoir différemment : professeur.e de discipline et élèves partagent leurs compétences linguistiques et interculturelles autour d'objets disciplinaires.

D'autre part, la langue médiatise les savoirs. Lors d'un cours de DNL, la langue vivante étrangère n'est plus l'objet d'étude, ce qui permet à l'élève de mobiliser en situation ses compétences lexicales et syntaxiques au profit des contenus liés à la discipline. Le rapport de l'inspection générale de l'éducation nationale, sur l'enseignement des sciences physiques et chimiques dans les sections européennes⁸, révèle que 69 % des élèves interrogés attribuent des bénéfices à un tel cours pour l'apprentissage de la discipline et 91 % pour la langue cible utilisée. Le contexte d'utilisation de la langue influe sur son rôle :

⁸ Bassinet P., Pietryk G. (2007). *L'enseignement des sciences physiques et chimiques dans les sections européennes et en langue orientales (SELO)*. Inspection générale de l'éducation nationale. <https://www.vie-publique.fr/rapport/29505-lenseignement-des-sciences-physiques-et-chimiques-dans-les-sections-eur>

« Les élèves de DNL sont amenés à se focaliser non plus sur la forme du message [...] mais sur l'efficacité de stratégies discursives où la langue passe au second plan, s'intériorise, devient le vecteur d'une compétence pragmatique. » (Breton, 2009, p.31-32)

L'intégration de la langue et des contenus de la discipline s'opère à travers les activités que les élèves réalisent pendant le cours de DNL. Les compétences développées pour la discipline sont mobilisées par la mise en œuvre de compétences en langue cible :

« Dans cet exemple [l'utilisation de l'anglais pour décrire des protocoles d'expériences, proposer des hypothèses ou rédiger des observations], le contexte disciplinaire en physique conduit à développer dans la LE [langue étrangère] un raisonnement scientifique qui s'appuie sur les compétences linguistiques et pragmatique de la langue. » (Michaud, 2014, p.47)

L'élève est fortement sollicité.e par le recours simultané à de telles compétences. Breton (2009) indique que les élèves peuvent percevoir la langue L2 utilisée en DNL comme une charge qui rend moins aisé l'apprentissage des contenus de la discipline. Cette « opacité de la langue » (Gajo, 2009, p.18) est à prendre en compte avec la « densité du contenu disciplinaire » pour que les élèves puissent trouver la motivation de continuer à s'engager dans la tâche d'apprentissage. C'est l'équilibre entre ces deux éléments qui génère la situation de travail intégrée, qualifiée par Gajo de « construction intégrée des savoirs ».

Larue (2015, p.72) définit le concept de situation didactique intégrée dans le cas de la DNL mathématiques en anglais et présente les deux objectifs de ce type de situation :

« Premièrement, elle présente un véritable enjeu mathématique et doit permettre l'émergence effective de nouvelles connaissances mathématiques, qui seront ensuite institutionnalisées (en L2). Deuxièmement, elle participe de la consolidation du lexique antérieur (en L2) grâce à l'originalité du contexte situationnel mais vise également l'acquisition d'un nouveau lexique suite à un enrichissement, pendant et surtout suite à la phase d'institutionnalisation. »

Il mène une analyse préalable de la situation pour identifier les prérequis que l'élève utiliserait potentiellement afin de conduire ses raisonnements et faire émerger de nouvelles connaissances. En raison de l'usage de la L2, il examine comment l'objet disciplinaire pourrait être appréhendé différemment en comparaison à la L1, et comment le fait de langue de L2 pourrait spécifiquement éclairer l'objet disciplinaire. Il s'appuie sur la phraséologie en L2, la nature du milieu didactique (en référence à la théorie des situations didactiques de Brousseau) et de la tâche pour montrer que la situation didactique intégrée influe sur la qualité de la production écrite ou orale de l'élève.

L'étude de Maitre (2017) en DNL physique-chimie en anglais porte sur le discours des enseignant.e.s par une approche terminologique. L'auteur cherche à savoir si une séquence de physique-chimie en

tronc commun et une séquence en DNL anglais se distinguent par l'emploi de termes particuliers par l'enseignant.e. Il s'appuie sur le cadre théorique de la sémiotique et se réfère aux recherches de Peirce, Russel, Austin et Grice. Pour appréhender la signification des mots ou d'expressions liés à la physique-chimie en usage en classe, il identifie dans le discours de l'enseignant.e les « termes clés » (par exemple : « force ») et les « termes indices » (par exemple « modélisation », « action », « exercée » utilisés dans le même tour de parole que le terme-clé). Cette étude conduit l'auteur à affirmer que les interactions orales entre élèves ou entre élève et enseignant.e sont la source majeure de préoccupation des enseignant.e.s de DNL par rapport aux contenus disciplinaires véhiculés lors de ces interactions. Les explications des phénomènes observés au cours d'activités expérimentales sont absentes des cours de DNL et la notion de physique visée est moins étayée en cours de DNL qu'en cours de tronc commun :

« Ainsi, à l'encontre d'une comparaison des traitements de ce qui se présente comme un même contenu des sciences physiques en tronc commun et DNL, les résultats obtenus au sein des quatre séquences étudiées mettent au jour que l'intégration de la langue étrangère en DNL semblerait avoir des effets délétères sur la présentation du savoir scientifique. » (Maitre, 2017, p.99)

Les quelques caractéristiques d'un cours de DNL qui ont été exposées précédemment peuvent être abordées du point de vue plus global d'une approche bilingue intégrée.

1.2.3. Bilinguisme intégré

Les recherches sur l'enseignement-apprentissage bilingue et plurilingue de ces vingt dernières années permettent d'explorer comment les connaissances relatives à une discipline peuvent se construire, s'enseigner et s'apprendre à travers l'usage de plusieurs langues. Lüdi (2015) s'intéresse à l'enseignement-apprentissage plurilingue dans le supérieur. Son analyse porte sur le bénéfice que génère la pratique de plusieurs langues pour enrichir la compréhension du monde : la langue modifie la perception de ce-dernier ce qui implique que le plurilinguisme conduit à cet enrichissement. Müller-Blaser et Pantet (2008) ont mis en évidence qu'une stratégie de compréhension en L2 menée par les étudiant.e.s consiste à étudier de manière plus approfondie le sens des mots pour accéder au contenu. Gajo (2007) montre que l'utilisation de deux langues aide les élèves à s'approprier les savoirs. Sabatier (2008) s'appuie sur la notion de compétence communicationnelle plurilingue pour illustrer le type de stratégie cognitive à laquelle un.e apprenant.e peut recourir :

« Elle repose sur sa capacité [celle de l'individu] à établir des liens plus ou moins ténus entre les langues en contact en prenant appui sur des aptitudes acquises à propos d'une langue et transférée vers d'autres idiomes ». (Sabatier, 2008, p.122)

Steffen (2015, p.194) rappelle que le concept de « didactique intégrée » a émergé dans le travail de Roulet en 1980 dans le cadre de l'enseignement bilingue. Elle précise que cette approche contribue au

« développement d'un répertoire plurilingue et de stratégies de transfert » entre la L1 et la L2. Elle met en évidence des leviers terminologiques en français et allemand pour appréhender les contenus disciplinaires en électricité dans un cours bilingue de l'enseignement secondaire en Suisse :

« Ce travail lexical relève d'un travail sur les ressources de l'allemand et du français et de la mise en évidence que ces deux langues ne sémantisent pas les mêmes traits des objets de savoir traités et ainsi de leurs différences en tant qu'outil de médiation du savoir. » (Steffen, 2015, p.200)

Coste (2003) questionne le rapport d'une discipline dite non linguistique (DdNL) à la langue de scolarisation et à la langue étrangère ainsi que le rôle d'une discipline dite linguistique dans l'enseignement de contenus pour envisager une approche bilingue voire plurilingue. Selon lui, le choix de la langue étrangère et de la discipline implique des effets différents de l'enseignement bilingue. De même, la manière d'alterner les deux langues impacte la construction des connaissances liées à la discipline car cette « co-présence » de langues influe sur « les démarches et les processus de mise en place de savoirs nouveaux ». Le « cadre de référence » proposé par Coste définit « l'enseignement bi-/plurilingue » ainsi :

« [...] enseignement engageant avant tout des connaissances disciplinaires et mettant en œuvre à cette fin deux langues (ou plus) pour la construction et la transmission de ces connaissances : la langue de scolarisation principale et la (ou les) langue(s) seconde(s) ou étrangère(s) ». (Coste, 2003, p.2)

Cet enseignement bilingue repose sur le « recours à des démarches actives ». Les élèves participent à l'élaboration de connaissances déclaratives et procédurales relevant respectivement du savoir et du savoir-faire. La langue naturelle et d'autres formes sémiotiques (cartes, schémas, graphiques ...) contribuent à la mobilisation des concepts et démarches propres à la discipline.

La vision holistique que défend Grosjean depuis le début de ses travaux consiste à appréhender le bilinguisme comme un ensemble, à la différence d'une juxtaposition de deux monolinguismes (Grosjean, 2015). Cela implique une évolution permanente de la compétence langagière qui se structure en fonction des besoins et des situations vécues par le locuteur. La notion d'alternance codique enrichit cette idée d'évolution.

1.2.4. Alternance codique

L'ADEB (Association pour le Développement de l'Enseignement Bi-plurilingue) questionne l'usage d'une seule langue dans les cours de DNL en critiquant le cloisonnement entre deux cours monolingues, l'un en L1, l'autre en L2, ce qui entrave la construction d'individus bilingues :

« L'alternance des langues en classe peut au contraire être l'une des manifestations les plus significatives du « parler bilingue » ; elle n'est pas la preuve d'un manque de maîtrise dans une des deux langues, mais un cas particulier de « reformulation »

permettant la comparaison, l'approximation et l'étayage. » (Duverger et al., 2011, p.62)

Causa (1996, p.4) appréhende l'alternance codique comme une stratégie de communication qui fait partie de la compétence communicative. Elle ajoute que cette alternance révèle un aspect du « répertoire verbal ». De même, elle mentionne le travail de Lüdi (2015) pour indiquer que dans la salle de classe, certaines situations de communication où l'alternance des codes se manifeste peuvent être considérées comme bilingues. La notion de bilinguisme est précisée (Grosjean, 1984, p.16 cité par Causa, 1996, p.2) : « [...] est bilingue la personne qui se sert régulièrement de deux langues dans la vie de tous les jours et non qui possède une maîtrise semblable (et parfaite) des deux langues. » L'analyse de discours de quatre enseignants en DNL a permis à l'autrice de dégager sept formes de bilinguisme, allant de la moins contrôlée dans l'acte de communication à la plus contrôlée : alternance codique « pure », incises, exclamations, hétéro-, auto-achèvements, reformulation, répétitions (dont les traductions mot à mot) (*ibid.*, p.6). L'autrice mène une réflexion à partir des travaux sur l'acquisition (elle cite Faerch et Kasper (1980) et Bange (1990)), ce qui la conduit à dégager la notion de « stratégie contrastive » lorsque la co-présence des langues contribue à expliciter le rapport entre les deux langues et celle de « stratégie d'appui » qui recourt à la langue maternelle de l'apprenant.e.

Dans son article, Nikula (2007) montre que les élèves finlandais (13-15 ans) utilisent souvent mais pas systématiquement la langue de scolarisation L1 quand leurs connaissances en langue cible anglaise est faible (cas de cours bilingues de physique et biologie par des enseignants natifs finlandais). Le recours à l'alternance codique de manière ponctuelle leur permet dans certains cas de continuer le discours en L2 en passant par un mot ou une expression de la L1. De plus, l'utilisation des langues dépend des fonctions sociale, interpersonnelle et affective. Nikula (2007, p.218) se réfère au travail de Liebscher et Dailey-O'Cain (2004) pour rappeler qu'il est possible d'accéder aux conceptions des apprenant.e.s sur la classe bilingue grâce à leurs pratiques de l'alternance entre les deux langues : "the students manifest their conception of the classroom as a bilingual space through their code-switching practices". L'autrice s'appuie aussi sur l'étude de Auer (1998) : le choix de l'alternance entre la langue anglaise ou finlandaise est lié à la nature de l'interaction professeur-élèves ou élève-élève (le locuteur.trice choisit la langue en fonction de son interlocuteur.trice, ici l'enseignant.e).

Duverger (2008, p.36) propose une organisation de l'alternance entre la L1 et la L2 selon trois niveaux. La macro-alternance caractérise le choix de la langue dominante du cours bilingue effectué selon le thème abordé et les ressources utilisées, la méso-alternance anticipe l'usage d'une langue par rapport à l'autre en fonction des supports à exploiter et des tâches à effectuer et la micro-alternance définit le passage ponctuel d'une langue à l'autre, par des « reformulations » qui n'entravent pas l'aspect communicatif de la situation mais profitent à la construction des savoirs de la discipline.

Synthèse I.2. Bilinguisme et discipline non linguistique (DNL)

Le contexte institutionnel de l'enseignement d'une discipline non linguistique a été rappelé pour repérer les compétences attendues des élèves qui suivent cet enseignement ainsi que celles que l'enseignant.e doit mettre en œuvre pour en atteindre les objectifs visés. La notion de « supports d'activités » ou « documents » permet d'affirmer le caractère disciplinaire d'un tel enseignement. Pour s'affranchir du débat sur le caractère linguistique ou non d'un cours de DNL, plusieurs travaux de recherche orientent la réflexion sur l'approche intégrée entre langue et contenus de la discipline : la transdisciplinarité et la collaboration entre enseignant.e de langue vivante et de la discipline concernée en sont des leviers tout comme le rôle médiateur de la langue pour la construction de savoirs disciplinaires, en ce qui concerne des concepts de la discipline ou des raisonnements spécifiques. Pour qu'un cours monolingue en L2 soit favorable à cette construction de savoirs, il est nécessaire qu'« opacité de la langue » et « densité du contenu disciplinaire » s'équilibrent. L'enseignement bilingue au sens de Coste (2003) couplé au concept de didactique intégrée permet de développer les compétences des apprenant.e.s à passer d'une langue à l'autre et à s'appuyer sur l'aspect terminologique de la langue pour élaborer leurs connaissances dans la discipline, à travers des « démarches actives ». L'alternance codique apparaît alors comme un outil didactique où explicitation du rapport entre les langues utilisées, recours à la L1 et reformulation en sont des atouts au profit de la construction des savoirs de la discipline.

Dans le cadre de l'enseignement bilingue et de la didactique intégrée, comment les élèves de terminale scientifique pourraient-ils.elles construire leurs connaissances en cours de physique-chimie à l'aide de stratégies d'explicitation entre L1 et L2, d'appui sur la L1 et de leurs connaissances antérieures ? La relation entre langue et construction de savoirs est à étudier pour trouver des éléments de réponse :

« Toute construction de connaissances disciplinaires dans un système éducatif passe, à des degrés et sous des modes variés, par un travail linguistique qui contribue à l'abstraction, à la conceptualisation, à la mise en relation de concepts, plus généralement à l'élaboration cognitive d'un domaine (Castellotti et Moore (1997), Castelloti et Moore (1999), Vigner (2001) cité par Coste, 2003, p.3)

I.3. Alternances des langues et construction de savoirs

I.3.1. Fonction heuristique de la langue

L'usage de la langue peut être envisagé dans une perspective fonctionnelle : « La multiplicité des relations entre la langue et les connaissances montre que la langue est absolument essentielle à la connaissance et à la construction des connaissances. » (Beacco et al., 2016, p.19). À partir du moment où l'apprenant.e va essayer de comprendre le monde qui l'entoure et d'apprendre, le statut de la

langue change: elle ne sert plus seulement à communiquer mais est aussi associée à une fonction heuristique voire systémique. L'apprenant.e peut construire des connaissances à travers la langue tout en développant son répertoire linguistique et sa connaissance de la langue en tant qu'objet d'étude. Les auteurs présentent différentes fonctions de la langue, de représentation, de médiation, d'interaction et de création, qui permettent d'exposer, transposer, transformer et créer des connaissances. Le rôle médiateur de la langue pour exprimer sa pensée est décrit par Vygotski (1997) avec l'idée de médiation symbolique. Forster Vosicki (2015, p.285) affirme que « les contenus scientifiques n'existent pas de manière autonome en-dehors du langage. Les langues ont un rôle configurant dans la construction et le transfert du savoir. » Pour Lemke (1990), parler de sciences (« *talking science* ») correspond à faire des sciences à travers la langue, ce qui met en jeu les différentes fonctions de la langue comme observer, décrire, comparer, classifier, analyser, émettre une hypothèse... Lemke indique que ces fonctions sont de nature linguistique. Elles nécessitent de mettre en œuvre des raisonnements ainsi que des démarches scientifiques et de donner du sens au message qui véhicule des contenus scientifiques. La notion de littéracie scientifique (Bybee et al., 2006) reprend ces différentes fonctions. De même, Zwiers (2013) distingue le langage spécifique de la matière de la langue académique. Pour Lerat (1995, p.23) appréhender les connaissances par leur relation à la langue passe par une approche onomasiologique « qui va des objets (physiques ou non) aux dénominations en passant par les conceptualisations ».

Quelques exemples de tâches pour construire des connaissances à partir de la L2 sont proposés par Beacco et al. (2016, p.20) :

« [...] on peut lister les processus mentaux et linguistiques appliqués dans la compréhension et la production des connaissances, par exemple en sollicitant l'intérêt, en formulant des questions, en nommant ce qui a été compris, en recherchant de nouvelles informations, en interprétant ce qui n'est pas connu par inférence, en intégrant les connaissances nouvelles à celles déjà acquises, en restructurant un champ entier de connaissances, en reliant les connaissances récentes à d'autres contextes, etc. »

Interroger la manière d'évaluer les acquis des élèves à travers la production d'écrit ou d'oral c'est-à-dire à travers leurs manières d'utiliser la langue soulève aussi la question de la relation entre la maîtrise de la langue et l'acquisition de connaissances. Ainsi les auteurs (*ibid.*, p.21) proposent de considérer la langue utilisée dans les productions des apprenant.e.s comme « un ensemble de signes extérieurs qui leur permettent d'observer indirectement quelles connaissances sont acquises. » Ce phénomène cognitif n'est pas directement observable et il est nécessaire de se doter d'outils.

Dans le cas d'un apprentissage dans un contexte bilingue, la prise en compte des deux langues peut s'avérer d'une aide précieuse pour l'apprenant.e. En effet, l'appropriation de connaissances formulées en L2 peut nécessiter un passage par la mobilisation de connaissances disponibles en L1 :

«Por ello el establecimiento de “puentes” entre los conocimientos previos adquiridos de forma significativa en L1 y los nuevos conocimientos que se van asimilando en L2 es el soporte sobre el que se asienta la filosofía del “currículum integrado” propio de la enseñanza bilingüe.» (Cantero García, 2008, p.5)⁹

L'apprenant.e doit alors mettre en relation ses connaissances en L1 pour en construire de nouvelles, exprimées en L2. Cette capacité induit une certaine habilité à traiter les éléments fournis en L2 (*input*) et à avoir recours à une formulation qualifiée d'interlangue, lors d'activité en production où l'expression des connaissances en L2 peut révéler une maîtrise partielle de la L2 et s'appuyer sur des acquis en L1 :

« Les rapports du sujet au monde, et donc aussi à l'input de langue 2 et à la production en interlangue, passent en effet pendant fort longtemps par la langue dite maternelle ou première : la perception du nouveau n'est jamais qu'une mise en relation à du déjà-là, donc un processus d'assimilation du nouveau à l'ancien. Le système humain élabore un deuxième système linguistique à partir du premier. » Trévis (1992, p. 90)

Ce transfert d'une langue à l'autre met en jeu la connaissance des mots et des concepts liés à la discipline en L1 et en L2.

1.3.2. Mot et concept

Communiquer dans une langue nécessite d'avoir suffisamment de vocabulaire pour exprimer sa pensée, ses idées ou comprendre celles de son interlocuteur. L'expression « lexique mental » est préférée au terme de « vocabulaire » dans certaines recherches en linguistique ; il en est de même pour « représentations » en psychologie cognitive. Le lexique mental est défini par Lecocq et Segui (1989, p.8 cité par Rudel et Marzaleyrat, 2010, p.6) :

« [...] système organisé des connaissances que le sujet possède à propos des mots de sa langue. Ces connaissances concernent les différentes dimensions des mots et ont donc des traits phonologiques, orthographiques, morphologiques, syntaxiques et sémantiques de ceux-ci. »

Pour lire, écrire, parler, écouter quelqu'un, il faut pouvoir accéder à tout un réseau lexical. Dans son article, Hilton (2002) utilise et commente différents modèles d'acquisition du lexique mental¹⁰. Par exemple, dans le modèle de Levelt, les représentations écrites et/ou phonologiques d'un mot induisent l'activation de représentations conceptuelles par l'intermédiaire des lemmes. L'activité langagière en

⁹ C'est pourquoi l'établissement de « ponts » entre les connaissances antérieures acquises de manière significative en L1 et les connaissances nouvelles qui s'assimilent en L2 est le support sur lequel repose la philosophie du « curriculum intégré » propre à l'enseignement bilingue (notre traduction).

¹⁰ Cet article est très documenté ; le choix d'étudier la relation entre vocabulaire et concept, en L1 et L2 en a guidé sa lecture.

réception correspond au passage d'un « niveau formel / lexèmes » (mots écrits, représentations orthographiques ; mots prononcés, représentations phonologiques) à un « niveau conceptuel / sémantique » (lemmes et concepts) tandis que lors d'une activité langagière en production, c'est l'inverse qui s'opère. Hilton précise que l'anglais étant une langue alphabétique, les relations entre représentations orthographiques et représentations phonologiques d'un mot sont très étroites. Elle développe son propos, nourri de nombreuses références, pour rappeler comment l'apprentissage d'un mot met en jeu le concept qu'il véhicule :

« Apprendre un mot, c'est la mémorisation d'une nouvelle forme lexicale, et l'appariement (« mapping ») de cette forme à un concept. Cet apprentissage peut s'effectuer de deux façons différentes, explicitement ou implicitement¹¹ [...] »
(Hilton, 2002, p.5)

Pour décrire cet appariement, Hilton se réfère aux trois modèles de Kroll et Stewart (1994) repris en linguistique dans plusieurs recherches citées par l'autrice. Les modèles s'appliquent dans le cas où le concept est connu en L1 :

- Le modèle d'association lexicale (« *word association model* ») : en réception ou en production, les formes lexicales L1 et L2 sont mises en relation. Le passage par la L1 a lieu depuis le concept vers la forme lexicale en L2 ou inversement. Les deux langues sont dépendantes.
- Le modèle de médiation conceptuelle (« *concept mediation model* ») : les deux langues sont mobilisées de manière indépendante. La forme lexicale en L1 est rattachée au concept tout comme celle en L2.
- Le modèle asymétrique (« *assymetric model* ») rend possible le fonctionnement selon l'un ou l'autre modèle précédemment décrit, en fonction, notamment, de la tâche demandée et du niveau de langue en L1, L2.

Cook et Singleton (2014) utilisent cette modélisation pour décrire la manière de donner du sens à un mot, de se rappeler sa signification, en s'appuyant sur la mise en relation entre concept, signifiant (ici le mot prononcé ou écrit, la forme lexicale) et référent (l'objet réel). Les deux figures suivantes illustrent les modèles d'association lexicale et de médiation conceptuelle en y figurant le référent, les signifiants en L1 et L2 et le concept correspondant.

¹¹ Par explicite ou implicite, Hilton se réfère à la manière dont l'apprentissage du sens du mot s'effectue : dans le premier cas le sens du mot est donné à l'apprenant.e, dans le deuxième, celui.celle-ci doit en déduire le sens..

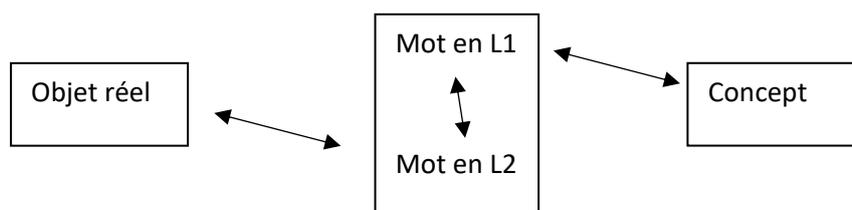


Figure 1. Illustration du modèle d'association lexicale (adaptée, Crook, 2014)

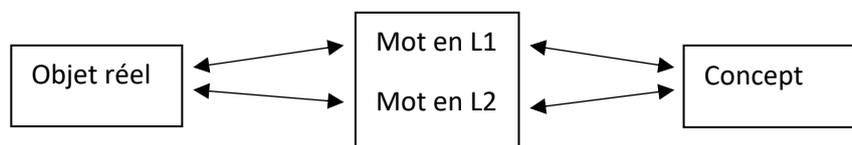


Figure 2. Illustration du modèle de médiation conceptuelle (adaptée, Crook, 2014)

Cook et Singleton précisent que si dans certains cas il est suffisant d'identifier le référent et/ou le concept qui y sont rattachés, cela peut devenir complexe dans d'autres cas. Par exemple, il est parfois difficile d'avoir une idée de l'objet auquel se réfère un mot isolé, en particulier s'il s'agit d'un référent abstrait - Cook et Singleton donnent entre autres, les exemples de « *truth* », « *government* », « *fly* », « *red* », « *for* ». Le cerveau peut alors mettre en place un mécanisme d'association du mot avec d'autres de la même langue : il se construit un réseau de mots catégorisés en différents niveaux. Cette idée de réseau dans une langue donnée est un moyen de relier le mot au concept sous-jacent par l'intermédiaire d'autres mots de la langue. Dans le cas de la L2, « un réaménagement du concept » connu en L1 peut favoriser l'apprentissage de la forme lexicale en L2 (Prince, 1999) : c'est le cas par exemple lorsqu'un mot est polysémique en L1 mais pas en L2, ou inversement. Par exemple, « *radiation* » en anglais peut se référer au concept de « radiation » ou de « rayonnement » en français. Le passage d'une forme lexicale dans une langue à celle d'une autre langue nécessite alors un effort cognitif :

« Suivant Saussure (1916), il est supposé que le sens d'un mot comporte à la fois un aspect référentiel, à savoir la représentation perceptuelle du phénomène désigné par le mot, et un aspect différentiel, dépendant du sens des mots conceptuellement reliés, qui lui confèrent sa valeur sémantique. C'est ce deuxième aspect qui se met en place avec la constitution d'un réseau L2. Autrement dit, une partie du sens d'un mot provient de la connaissance que nous avons des rapports de ce mot avec d'autres mots de la langue, ses voisins sémantiques. » (Prince, 1999, p.5)

Dans le cadre d'un apprentissage bilingue le recours aux deux langues, par ces différents mécanismes, enrichit la conceptualisation par rapport à un contexte monolingue. La mise en relation sémantique de mots pour une langue donnée, évoquée ci-dessus par Prince, peut être assurée par la connaissance des collocations.

1.3.3. Relation sémantique et collocations

En effet, la base de données de formes lexicales constituée mentalement devient d'une grande utilité dans les activités langagières lorsque des collocations ou expressions idiomatiques y sont intégrées. Les recherches sur l'acquisition d'une L2 dont la problématique est de comparer l'usage de la langue par des sujets natifs et non-natifs s'appuient souvent sur l'étude de corpus. Le phénomène de « préfabrication » y est souvent analysé dans le cas de l'anglais. Il est désigné de différentes façons dans la littérature comme « *prefabricated patterns* », « *formulaic expressions* », « *formulaic* » ou « *lexical chunks* » ; « *multiword units* », « *collocations* », « *idioms* », « unités lexicales préconstruites » ; « séquences préfabriquées ». Wray (2002) liste quarante-sept expressions et termes utilisés par des chercheur.e.s en linguistique pour cette problématique et fait le choix d'utiliser « *formulaic sequences* » dans ses travaux pour souligner le rôle de la mémorisation et de l'usage de telles expressions :

“My definition of a formulaic sequence is as follows:
a sequence, continuous or discontinuous, of words or other meaning elements,
which is, or appears to be, prefabricated: that is, stored and retrieved whole from
memory at the time of use, rather than being subject to generation or analysis by
the language grammar.” (Wray, 2002, p.466)

Les résultats obtenus en linguistique de corpus prônent l'enseignement de ces groupes de mots, caractéristiques d'une langue utilisée par des sujets natifs, pour favoriser l'apprentissage d'une L2 chez un sujet non-natif. La réflexion porte notamment sur le fait que la signification d'un mot se dégage par sa relation avec d'autres mots et qu'un même mot prend des significations différentes selon le contexte. Une des caractéristiques d'une langue, son idiomatité, participe à l'élaboration du sens des mots (Sinclair, 2004, Sinclair et Sinclair 1991). Les linguistes parlent ainsi d'unités de sens. Le sujet apprenant mobilise ce groupe de mots collés entre eux, dans son ensemble. Le terme de « collocation » semble assez répandu pour désigner ce fait de langue d'un grand intérêt pour l'apprentissage d'une L2 lié au vocabulaire, comme le rappellent Tutin et Grossmann (2002, p.9) qui définissent la collocation comme « une cooccurrence lexicale privilégiée de deux éléments linguistiques entretenant une relation syntaxique ». Lewis (1993) indique aussi qu'une grande partie de notre vocabulaire à l'écrit et à l'oral est constitué de groupes de mots préfabriqués dont les collocations sont les plus importantes.

Pour acquérir du vocabulaire et notamment donner une signification aux mots nouveaux, le travail sur des mots isolés ou des collocations n'est pas toujours suffisant. Cook (2012) propose un ensemble de cheminements possibles pour atteindre cet objectif en L2 : utiliser un dictionnaire, déduire le sens du mot à partir du contexte ou à partir de la forme du mot, de la manière dont il est construit ou à partir d'un mot en L1 ou d'une autre langue dont la forme est proche. La déduction du sens du mot implique

des connaissances et savoir-faire particuliers. En ce qui concerne la forme, des connaissances grammaticales peuvent étayer la stratégie : identification de préfixe, suffixe, radical, participe présent ... peuvent guider la recherche de signification. Ces questionnements sur l'acquisition du vocabulaire sont à mettre en correspondance avec ceux sur l'acquisition d'une L2, en particulier sur l'importance du contexte en activité langagière de réception (Nation et Coady, 1988) et sur les notions de *focus on meaning*, *focus on form(s)* qu'a développées Long (1991) pour lequel, la quête du sens peut s'accompagner d'une étude de la forme.

Nation (1990, p.31) présente quatre aspects de la connaissance d'un mot : sa forme, à l'écrit et à l'oral, sa place dans une phrase, sa fonction dans le discours et son sens, conceptuel et en relation avec d'autres mots. L'approche cognitive montre que la connaissance du mot en L1 peut faciliter sa connaissance en L2. Par exemple, la traduction du mot d'une langue à l'autre s'avère efficace dans la recherche de sens. Plusieurs études dans le cadre de l'approche communicative recommandent l'apprentissage des mots « provisoirement décontextualisés, avant et après la lecture » (Tréville, 2000, p.77). Le sens d'un mot se construit par sa mise en relation avec le concept associé et avec un énoncé, ce qui fait de la recherche du sens lexical un « phénomène contextuel » :

« L'ensemble du contexte, discursif et situationnel, exerce une influence sur le sens des mots et, réciproquement, les mots identifiés, dans un processus d'interaction complexe avec les différentes caractéristiques du texte, construisent le sens du texte (Carter, 1987 ; McCarthy 1990 ; Robinson, 1993). » (Tréville, 2000, p.51)

L'approche bilingue fournit un contexte d'enseignement et d'apprentissage où l'usage des deux langues stimule cette quête de sens :

« La domination quasi monopolistique d'une langue, quelle qu'elle soit, inhibe le jeu des mots et des idées, souvent stimulé par les traductions, passages et échanges d'une langue à l'autre. » (Lévy-Leblond, 1996, p.244, cité par Escudé & Gajo, 2016, p.162)

1.3.4. Traduire, reformuler

Le processus de traduction fait référence à la transmission d'information d'un code (langue source, texte source) à un autre code différent présent dans un texte cible, d'arrivée (langue d'arrivée, cible). La recherche d'équivalent d'une notion lors du passage d'une langue à l'autre conduit à s'interroger sur la relation entre les mots qui l'expriment et leur signification, pour un contexte d'énonciation donné. Lévy-Leblond (2007, p.207) évoque le cheminement par lequel le travail de Heisenberg en mécanique quantique a été désigné en français (« principe d'incertitude ») à partir de l'anglais (« *uncertainty* ») plutôt que de l'allemand (« *Unbestimmtheit* » – « indétermination »), langue source de ce travail. L'auteur souligne la nécessité de sélectionner, dans le processus de traduction, les mots en fonction des concepts auxquels ils se réfèrent et indique que « la conceptualisation, dans les

sciences, est tributaire de la langue ». Il met en évidence le rôle joué par la connaissance du concept et de sa construction d'un point de vue épistémologique : le terme de « reconceptualisation », en écho à l'idée bachelardienne de « refonte épistémologique » est utilisé par l'auteur. Delisle (1993) parle de « cohérence synchronique » lorsque les concepts et leurs dénominations en L1 et en L2 sont appariés par équivalences spontanées ou issues de processus spécifiques au fonctionnement de la langue dans le champ disciplinaire concerné. Le qualificatif « diachronique » est alors réservé à la prise en compte de l'évolution de la langue, propre au champ de la discipline ; il implique qu'au cours de l'acte de traduction, des connaissances actualisées dans la discipline ou en lien avec l'histoire et l'épistémologie de celle-ci soient mises en jeu.

Cette difficulté de recherche de sens liée à la traduction d'un mot ou d'une expression spécifique à un champ disciplinaire se rencontre dans l'enseignement-apprentissage (Conseil de l'Europe, 2001, p.104) :

« Un problème surgit lorsqu'un champ conceptuel particulier est organisé différemment en L1 et L2, ce qui est un cas fréquent, de telle sorte que le sens des mots ne correspond que partiellement ou pas du tout. »

Choisir le mot approprié en L1 à partir de la L2 ou inversement et lever l'ambiguïté au niveau conceptuel conduisent à s'interroger sur la manière d'enseigner la démarche de recherche d'équivalence dans ce type de situations.

Dans le cadre d'une approche bilingue où la construction de savoirs liée à une discipline est visée, le passage d'une langue à l'autre nourrit cette construction. Gajo (2009) encourage le travail autour de la langue (« travail métalinguistique ») pour analyser des énoncés à caractère disciplinaire en passant par un processus de reformulation en langue source et en langue cible.

Synthèse I.3. Alternances des langues et construction de savoirs

Le rôle de la langue dans la construction des savoirs est avéré. La fonction heuristique de la langue est liée au fait que les savoirs s'expriment à travers elle et que la langue est médiatrice de la pensée. Dans le cas d'une didactique intégrée d'une discipline en L1 et L2, les connaissances liées à la discipline déjà-là en L1 sont un levier pour passer de la L2 à la L1 quitte à faire usage de l'interlangue L2. Ces connaissances sont appréhendées comme des concepts qui sont mobilisés de différentes manières (modèle d'association lexicale, modèle de médiation conceptuelle, modèle asymétrique) et mis en relation avec la connaissance du mot ou des mots (réseau lexical et sémantique). La médiation conceptuelle et les réseaux de mots sont des cas fréquents en physique ou de nombreux concepts sont abstraits (absence d'objet réel) comme par exemple pour l'énergie ou la lumière. La recherche de signification d'un mot est liée à de nombreux paramètres dont la connaissance du mot en lui-même,

de sa relation sémantique avec d'autres mots et de sa relation avec le concept mis en jeu selon le contexte donné. En anglais, la notion de collocation semble un cas d'étude particulièrement intéressant où les aller-retours entre cette langue cible et le français stimule la réflexion sur le lien entre pensée et langue, concept et mot. L'activité de traduction illustre la difficulté de recherche d'équivalence entre deux langues sans dénaturer un concept. Dans un contexte d'enseignement-apprentissage bilingue où la construction de savoirs disciplinaires est visée, le recours à la reformulation semble une piste pertinente pour développer le travail réflexif de l'élève et son apprentissage de la discipline tout comme des langues.

Pour déterminer ce qui serait spécifique à la physique-chimie lorsqu'elle est enseignée et/ou apprise par l'alternance de deux langues, pour mettre en relation la langue et les contenus d'un point de vue de la langue, il est nécessaire d'identifier ce qui relève des concepts propres à la discipline et de la manière de les exprimer en L1 et en L2. L'association anglais et discipline physique-chimie peut-elle s'étudier à partir de l'anglais scientifique » ?

I.4. Anglais et sciences

I.4.1. Langue de spécialité et discours spécialisé

« L'anglais de spécialité est la branche des études anglophones qui a pour objet l'étude des domaines spécialisés et du spécialisé en milieu anglophone. » (Petit, 2008, p.23). Un certain nombre de recherches menées par les linguistes sur la langue anglaise comme langue de spécialité questionnent les concepts que les chercheur.e.s utilisent dans leur travaux. Une grande variété d'expressions telles que langue de spécialité, langue spécialisée, langue pour le spécialiste, langue sur objectifs spécifiques, langues pour spécialistes d'autres disciplines (Trouillon, 2010) sont utilisées. Les débats entre linguistes seront laissés de côté pour la réflexion qui suit : la problématique étudiée est celle du rapport entre l'anglais et les sciences, en particulier dans les champs de la physique et de la chimie.

Laffont et Trouillon (2013, p.3) définissent le « domaine scientifique », comme celui des sciences à la différence de « celui de l'économie, du droit ou de la médecine, par exemple ». Ils indiquent que le « domaine de spécialité » ou « discipline » est « la branche du domaine scientifique » concernée telle que la biologie, la physique... Ils analysent les publications de chercheur.e.s en anglais de spécialité dans la revue *Asp la revue du GERAS* entre 1993 et 2012, pour le domaine scientifique. Sur les cent vingt articles étudiés, trente-huit précisent le domaine de spécialité, dont dix-sept concernent la discipline informatique, six la biologie, un la physique, un la chimie. L'approche (« angle sous lequel les chercheurs mènent leurs analyses », *ibid.*, p.3) majoritairement choisie concerne les pratiques d'enseignement. Cela peut s'expliquer par l'activité enseignante de la plupart des auteur.trice.s. Pour

un tiers des articles du domaine scientifique, l'analyse du discours est l'approche privilégiée. La raison est à chercher du côté de l'influence du livre, *Genre analysis*, écrit par Swales et publié en 1990, dont les exemples font partie du domaine scientifique.

L'analyse du discours peut être menée de différentes façons, selon des objectifs différents, dans des champs de recherche qui peuvent relever de la linguistique, des sciences du langage, de la psychanalyse... Maingueneau (2012, p.2) reformule et commente la définition de l'expression « analyse du discours » proposée en 1952 par Harris: « Pour lui, « *discourse* » désigne des unités de taille supérieure à la phrase et, en structuraliste, il utilise « *analyse* » dans son sens étymologique, celui d'une décomposition ». La dimension sociale du discours, qui dépend de la situation de communication et de l'énonciateur.trice, peut être prise en compte. Envisager ce qui est extérieur au discours comme par exemple les « traditions » au sein de la communauté discursive contribue à enrichir cette analyse :

« En conséquence, l'analyse du discours accorde un rôle clé aux genres de discours, qui ne sont pas considérés comme des types de textes, dans une perspective taxinomique, mais comme des dispositifs de communication, de nature à la fois sociale et linguistique. » (Maingueneau, 2012, p.5)

Ainsi, la relation entre langue et discours pour une spécialité donnée, tel que le rappelle Petit (2010, §5) (« Du point de vue notionnel, il y a, assurément, une forme de proximité naturelle entre le discours spécialisé et la langue de spécialité. ») évolue en tenant compte du contexte dans lequel a émergé le discours et du fonctionnement de la communauté de spécialistes. Petit (2010) recommande que l'objet d'étude « discours spécialisé » inclue « le spécialisé » du discours. Il est alors nécessaire d'envisager le statut du discours spécialisé quant à l'appartenance du discours au domaine de spécialité, de caractériser le discours par des caractères qui reflètent des propriétés de la spécialité et de préciser « le statut de l'activité de discours » c'est-à-dire d'en dégager la finalité :

« Il paraît en effet difficile de ne pas reconnaître qu'il y a, en ce sens, des discours manifestement spécialisés, par quoi nous entendons des discours dont au moins le contenu référentiel (les sujets dont ils traitent) et certaines caractéristiques formelles (terminologiques et phraséologiques notamment) sont immédiatement reconnus par la grande majorité des membres du corps social comme étrangers à leur expérience commune. » (Petit, 2010, §12)

Cette réflexion proposée par Petit peut être illustrée par celle sur l'utilisation d'une terminologie spécifique au domaine de spécialité, étudiée comme caractère apparent du discours spécialisé. En effet, les spécialistes d'une discipline ont souvent recours à des termes adéquats qui permettent de préciser leur étude. Mobiliser un tel champ lexical revient à s'appuyer sur une terminologie propre au domaine (Trouillon, 2010). Cela implique que, pour utiliser la terminologie dans un discours, le.la lecteur.trice ou le.la locuteur.trice doit pouvoir donner du sens aux termes spécifiques c'est-à-dire mettre en œuvre ses connaissances de sa discipline : « On connaît les 'signifiés' des terminologies dans

la mesure où l'on connaît les sciences et les techniques auxquelles elles répondent et non dans la mesure où l'on connaît la langue » (Coseriu cité par Lerat, 1995, p.21). Humbley (2001, p.52) recommande par exemple une formation des professeur.e.s de langue dans la discipline concernée pour que l'usage de termes spécifiques dans leur discours soit fondé sur des contenus disciplinaires maîtrisés. Ainsi l'enseignant.e de langue renforce ses connaissances d'une discipline et devient performant.e sans pour autant viser à être compétent.e pour exercer le métier dans la discipline de spécialité. Trouillon (2010) perçoit l'enseignant.e de langue de spécialité comme « médiateur.trice vers la spécialité ».

I.4.2. Caractéristiques de l'anglais scientifique

I.4.2.1. Analyses linguistiques et articles de recherche scientifique

L'anglais scientifique, appréhendé comme la langue anglaise utilisée dans le domaine des sciences, a généralement été objet d'étude pour sa terminologie et son évolution au cours des trois derniers siècles et pour le discours scientifique en tant que genre de discours (Trouillon, 2010). La notion de genre de discours est définie par Swales (1990, p.58) : « A genre comprises a class of communicative events, the members of which share some set of communicative purposes ». Elle induit l'existence de certaines normes dans la structure et les contenus du discours. Ces normes sont déterminées par le contexte de communication et la nature de la communauté où a lieu la communication. L'article de recherche scientifique est un genre de discours qui a été particulièrement étudié en linguistique anglaise. L'analyse de grands corpus constitués d'articles de recherche en sciences a mis en évidence un style caractéristique, quelle que soit la langue maternelle de ces auteur.trice.s, et un style applicable à l'échelle internationale. Les choix effectués d'un point de vue de la syntaxe, du lexique ou du style reflètent majoritairement une recherche de vérité et d'universalité du discours.

Hartwell (2016), synthétise les régularités langagières de l'anglais en sciences par trois « phénomènes linguistiques » :

- la causalité ; elle est caractéristique des sciences expérimentales et est exprimée de la même manière en anglais général et en anglais en sciences, par des verbes, des constructions syntaxiques, des locutions.
- la nominalisation ; différents procédés semblent caractéristiques de l'anglais scientifique comme la transposition grammaticale métaphorique (cf. *infra*), les groupes nominaux formés de mots de classes grammaticales différentes, la construction prototypique (groupe nominal a – *explains* – groupe nominal b)
- le positionnement, qui fait référence à la présence auctoriale ; l'usage des pronoms personnels pour prendre des précautions oratoires plus fréquent en anglais scientifique que général.

L'autrice formule l'hypothèse que l'usage de la métaphore grammaticale en anglais scientifique en est un trait saillant, caractéristique de la spécificité du discours en sciences. Pour comprendre comment s'opère ce « glissement grammatical », Hartwell l'illustre ainsi :

« Par exemple, l'expression verbale comportant un complément circonstanciel *cracks on the surface* peut être transformée, en *surface cracks*. Cette transposition ôte la préposition *on* qui dénote une instabilité physique et temporelle. Au contraire, la formulation *surface cracks* évoque un objet (failles) intégré à l'élément *surface* en dehors de toute circonstance de temps ou de place. » (Hartwell, 2016, p.56)

« Les phénomènes linguistiques » mis en évidence par Hartwell sont repérés sous des formes différentes dans d'autres études. Ainsi, les traits grammaticaux de l'anglais scientifique qui sont mis en évidence concernent des usages de l'anglais (dans les articles scientifiques) en faveur d'un style impersonnel (Trouillon, 2010) : en particulier, emploi très fréquent de la voix passive, emploi de la modalité ou des verbes et adverbess qui expriment l'incertitude... Les comparatifs tels que « *as much as* », « *more than* », « *the former...the latter...* » sont fréquemment employés dans le discours scientifique.

Percebois (2010, 2009) met en évidence les procédés de « l'économie linguistique » présents dans les discours scientifiques et techniques. L'un d'entre eux est la nominalisation comme : « *the Global Climate Observing System implementation plan* », « *greenhouse gas inventory review experts* » (*ibid.*, 2009, p.23-25). Un autre est l'ellipse où un adjectif est utilisé comme un nom ou inversement : par exemple, « *during the previous interglacial* » remplace « *during the previous interglacial cycle* ») ou « *renewables* » pour « *renewable energy sources* » (*ibid.*, 2009, p.20). Rendre la langue plus concise conduit aussi à l'élaboration d'expressions que Trouillon (2010) évoque par « composés ». Celui-ci précise l'importance de veiller au sens de lecture de telles expressions, ce que Percebois met en évidence avec les exemples suivants :

« Dans *human-induced climate change* et *industry-based environmental standards*, on trouve un schéma identique, *human-induced* qualifie *change* et *industry-based* qualifie *standards*. En revanche, dans *wastewater treatment plants*, *wastewater* ne qualifie pas *plants* mais *treatment*. » (Percebois, 2009, p.34)

Boughedaoui (1997) analyse ce type de difficulté dans le cas de l'enseignement et de l'apprentissage d'adjectifs composés en anglais. Il cherche à savoir si des étudiant.e.s francophones de première et deuxième années d'IUT (« Statistiques et traitement informatique des données ») sont capables d'identifier la relation sémantique entre les « éléments de l'adjectif » en les faisant interpréter et traduire de tels adjectifs de l'anglais au français. Les obstacles majeurs d'interprétation concernent « les structures où l'élément-base est un nom précédé d'un participe passé ou d'un participe présent comme élément-spécificateur. » (*ibid.*, p.4). Lorsque le participe passé est celui d'un verbe irrégulier la

difficulté croit. L'interprétation du sens de la forme participiale en *-ing* nécessite d'analyser s'il s'agit d'un adjectif verbal ou d'un gérondif. Ce dernier écueil se retrouve aussi lorsque la forme en *-ing* est l'élément-spécificateur : l'auteur (*ibid.*, p.5) pense que développer une compétence de traduction en ayant recours à une proposition relative lèverait la difficulté (« *a credit card that is growing fast* » pour « *a fast-growing card* »). D'autres exemples sont fournis : ils mettent en évidence que le processus d'interprétation d'adjectifs composés repose sur des compétences d'analyse de leur forme.

D'autre part, Boughedaoui différencie les adjectifs composés en deux catégories : ceux qui se retrouvent dans un dictionnaire et ne dépendent pas du contexte ou ceux qui nécessitent un contexte pour être interprétés. Le cas des collocations fait partie de cette dernière catégorie. L'auteur soutient que l'aptitude à avoir recours au contexte et à la forme pour dégager le sens des adjectifs composés doit être enseignée, pour rendre les apprenant.e.s autonomes face à cette particularité de la langue anglaise, absente de la langue française (dans son article, il fournit et commente des exercices spécifiques). La fréquence élevée d'utilisation de ces adjectifs composés ainsi que leurs variétés dans les textes et discours en sciences et techniques justifient aussi cette préconisation pour le public concerné. Prendre conscience que la traduction mot à mot de tels adjectifs-composés nuit souvent à l'émergence de leur signification est un premier pas pour qu'un.e apprenante développe sa capacité à déduire le sens d'une expression à partir du contexte, de ses connaissances linguistiques et disciplinaires.

I.4.2.2. Termes et discours scientifiques

Dans leur article, *La terminologie, une question de termes ?* Thoiron et Béjoint (2010) font, entre autres, réfléchir à la différence de signification entre « terme » et « mot » pour montrer que séparer la terminologie de la conceptologie n'a pas lieu d'être. Un point de vue est de considérer que le terme est exclusivement dénotatif, comme jouant le rôle de « l'étiquette du concept » et que le mot est connotatif, prenant son sens selon ses usages. Un autre point de vue est d'accepter que terme et mot puissent prendre chacun ces deux aspects :

« On ne peut cependant pas dire qu'il n'y a pas de sémantique dans le sens des termes (Depecker 2000 ; Boisson 2000) pas plus qu'on ne peut postuler l'absence de conceptuel dans le sens des mots (Van Campenhoudt, 2000). » (Thoiron et Béjoint, 2010, p.110).

Les auteurs souhaitent favoriser une approche complémentaire entre celle des linguistiques et celle des cognicien.ne.s. Les premier.ère.s recourent à une démarche sémasiologique où les textes permettent de dégager la définition d'un terme et sa correspondance avec le concept qu'il désigne : « C'est ainsi que, dans ce cadre, la terminologie regroupe à la fois l'ensemble des termes et un réseau

conceptuel structurant les concepts associés au terme » (Szulman, Biebow et al., 2001, p.98, cité par Thoiron et Béjoint, 2010, p.113) .

La relation entre terme et expression d'un concept propre à un domaine de spécialité peut être appréhendée d'un point de vue sociologique qui prend en compte la communauté de spécialistes. La définition du mot « terme » proposée ci-après pour le domaine scientifique, à distinguer du domaine technique, délimite le domaine de validité dans lequel le terme peut toujours être considéré comme « scientifique » pour le domaine concerné.

« terme scientifique : milieu homogène de spécialistes de même culture, de même formation [...] communication à un haut niveau d'élaboration conceptuelle et de rigueur dans l'analyse [...] énonciation écrite [...] monovalence [...] Les termes employés ne s'étendent pas à la communauté linguistique tout entière, sauf si tel concept vient à jouir d'une extension considérable, auquel cas il cesse d'être proprement un terme scientifique. » (Guilbert 1973, p. 15, cité par Mortureux, 1995, p.9)

L'utilisation de termes scientifiques contribue à conférer au discours son caractère spécialisé lorsque sa compréhension nécessite d'avoir accès aux concepts mobilisés et aux démarches mises en jeu par les spécialistes :

« Ce type de discours s'échange en général à l'intérieur d'un cercle de spécialistes, et par conséquent les questions que peut soulever la réception des termes sont intimement liées aux concepts et relèvent plus de la démarche scientifique que de la compréhension strictement linguistique. » (Mortureux, 1995, p.9)

Placer « le spécialisé au centre et laisser la langue à la périphérie » est ce que propose Van der Yeught (2017) dans le cadre théorique pour étudier les variétés de langues spécialisées (dans l'article, il s'agit de l'anglais financier). L'auteur indique qu'il est nécessaire de maîtriser des compétences qui relèvent à la fois de la langue et du spécialisé pour s'emparer du sens d'un énoncé spécialisé. Elle fait le rapprochement avec la notion de savoir encyclopédique d'Umberto Eco :

« Dans le processus d'interprétation, le savoir encyclopédique fonctionne comme un ensemble d'instructions qui insèrent les éléments textuels dans leurs contextes pertinents et qui réalisent la désambiguïsation correcte des termes. » (Eco, 1986, p. 68, traduit par Van der Yeught, 2017, p.24)

La « désambiguïsation » des termes, par exemple dans le cas d'un terme polysémique, est possible en ayant recours aux connaissances de la spécialité. Lorsque le passage du terme au concept relève du discours de spécialiste, la relation est qualifiée de conceptuelle, comme l'illustre Gledhill (2000, p.23) sur l'exemple du terme « soleil » : la relation peut être perceptive (le soleil empêche de voir un oiseau dans le ciel par éblouissement), conceptuelle (le soleil est une étoile), métalinguistique (le mot « soleil » est un nom). Une forme de « reconceptualisation » peut alors s'opérer pour associer au

terme le concept correspondant à la discipline concernée : d'un texte à l'autre, d'une discipline à l'autre, le passage du même terme à un concept peut conduire à une interprétation différente.

Une production à caractère « scientifique » peut aussi s'opérer par objectivation, processus qui conduit à l'écrit ou à l'oral, à un énoncé « général ». L'objectivation nécessite par exemple (Beacco et al., 2016, p.39) l'emploi maîtrisé d'une terminologie adaptée, de « formes objectivées de quantification et de localisation dans le temps », de mots et d'expressions qui révèlent une mise en relation des idées, de l'expression de la certitude (emploi de temps verbaux adéquats), etc.

1.4.3. Anglais des sciences

Rendre opérationnelle la complémentarité entre la dimension linguistique et scientifique dans l'usage de l'anglais en sciences devrait être possible par une approche systémique exprimée à travers l'expression « anglais des sciences » telle que définie ainsi :

« L'anglais des sciences est bien plus que l'anglais scientifique (la somme des parties); c'est un système qui favorise l'émergence d'un certain nombre de qualités nouvelles qui n'étaient pas présentes dans les parties séparées. » (Chaplier, 2017, p.13)

Chaplier définit le concept « anglais des sciences » en se référant à la pensée complexe d'Edgar Morin et en s'appuyant sur l'interdisciplinarité entre anglais et sciences. Dans le cadre de la recherche en anglais de spécialité, elle vise à intégrer des considérations didactiques du domaine de spécialité lors de l'enseignement-apprentissage de l'anglais à des étudiant.e.s en sciences, en secteur LANSAD (Langues pour spécialistes d'autres disciplines). En faisant le constat d'absence de « dialogue disciplinaire » entre enseignant.e.s et étudiant.e.s ou entre enseignant.e.s scientifiques et linguistes, elle propose de construire une « connaissance commune » ou « *common knowledge* ». Une manière d'y parvenir est d'inscrire les cours d'anglais des sciences en ciblant le savoir en science, dans une perspective historique, sociologique et philosophique des sciences. L'intérêt est que les enseignant.e.s d'anglais des sciences peuvent se constituer ainsi un « savoir générique » à leur portée, qui met en jeu le raisonnement scientifique et le mode de pensée en sciences. Ce « savoir générique », qui présente une dimension linguistique par l'anglais et une dimension culturelle par sa relation à la science, structure la « *common knowledge* ». L'anglais des sciences permet alors de promouvoir la culture scientifique qui constitue souvent un déficit de l'enseignement des sciences (*ibid.*, p.89) :

« L'anglais des sciences se référera donc à la « science » comme fondant de manière universelle la recherche de vérité et aussi comme pratiques inscrites dans un contexte social et culturel mais également comme disciplines enseignées à

l'université et relevant des sciences expérimentales et formelles¹². » (Chaplier, 2017, p.98-99)

Ainsi l'anglais des sciences se distingue de l'anglais scientifique par sa dimension culturelle et sociale. Le spécialisé ne se réduit pas à des savoirs scientifiques constitués de concepts et démarches propres à la discipline mais est élargi avec un questionnement sur l'origine du spécialisé. L'anglais des sciences s'appuie sur un savoir générique, constitué de quatre types de savoirs (Chaplier, 2017, p.107) : langagiers avec la quête du sens, disciplinaires avec la mise en relation d'une discipline et ses modes de pensées, scientifiques avec les caractéristiques du discours scientifique et experts avec la mise en évidence des pratiques scientifiques. Ce dernier point est développé par Lemke qui rappelle que parler l'anglais dans un contexte scientifique nécessite des habilités propres à la pratique scientifique : "learning to communicate in the language of science and act as a member of the community of people who do so" (Lemke, 1990, p.1). « L'objet didactique hybride »¹³ qu'est l'anglais des sciences contribue à la réflexion menée au sein de l'approche CLIL/EMILE en référence au cadre des 4C.

Synthèse I.4. Anglais et sciences

Les analyses de corpus, en particulier pour l'étude de discours, constituent une grande partie des recherches sur l'anglais scientifique (Laffont et Trouillon, 2013). Ils apportent un éclairage sur des caractéristiques de la langue anglaise dans un usage en contexte scientifique : si quelques traits grammaticaux ou syntaxiques sont mis en évidence comme spécificité de l'anglais scientifique, il semble que la nominalisation par économie linguistique pourrait bien constituer une des particularités majeures des textes et discours en sciences. Mobiliser des capacités à identifier comment des expressions ou mots sont formés et à s'appuyer sur le contexte dans lequel ils se trouvent apparaît comme une compétence indispensable pour en dégager le sens ou les utiliser spontanément. Si les connaissances sur des faits de langues relatifs au lexique comme la préfabrication d'adjectifs composés ou les collocations facilitent la compréhension d'un énoncé en L2, les connaissances propres au domaine scientifique sont indispensables pour en préciser et valider le sens. L'approche linguistique menée ne peut être que complémentaire d'un travail de recherche de compréhension qui s'appuie sur les concepts scientifiques mis en jeu et la connaissance des démarches en sciences.

¹² Par disciplines formelles et expérimentales, l'auteur parle respectivement des mathématiques et des sciences empiriques comme la physique et la chimie, en excluant la médecine (Chaplier, 2017, p.12).

¹³ Expression utilisée dans le titre du livre écrit par Chaplier (2017).

Synthèse du chapitre I. Approche intégrée d'une langue cible et de contenus spécifiques à une matière

Le chapitre I a permis d'explorer plusieurs pistes qui confirment l'existence de l'intérêt d'introduire la langue cible anglaise dans un cours de physique-chimie (I.1). La recherche d'efficacité d'une telle intégration pour l'apprentissage de la discipline conduit à privilégier une forme de bilinguisme intégré où approche bilingue et approche conceptuelle vont de pair (I.2). Intégrer l'exploitation de supports en anglais dans un cours standard de physique-chimie pourrait se justifier d'un point de vue de l'apprentissage de cette matière par la mise en relation par l'élève d'un terme avec le réseau de concepts connus en L1 (I.3). Si parmi ces supports des articles de recherche scientifique sont proposés, l'usage de l'anglais en contexte spécifique au champ de la physique et de la chimie pourrait également enrichir le rapport de l'élève à l'activité des scientifiques par la mise en contact de l'élève avec le discours scientifique au sens de Swales (I.4). Comment construire une séquence bilingue de physique-chimie en français et en anglais où une approche bilingue est combinée avec une approche conceptuelle du réchauffement climatique ? Le chapitre II apporte une réponse à cette question.

Chapitre II : Fondements de la séquence à co-construire, justifiés à partir de la théorie anthropologique du didactique et du modèle épistémologique de référence.

Ce chapitre II vise à présenter les choix effectués pour construire une esquisse de séquence bilingue autour des mécanismes du réchauffement climatique. Celle-ci est vouée à être présentée à l'enseignant complice, professeur de physique-chimie qui mettra en œuvre la séquence co-construite plus aboutie dans sa classe. Le processus d'élaboration de cette esquisse repose sur des concepts issus de la théorie anthropologique du didactique (II.1). La création d'un modèle épistémologique de référence en trois étapes (II.2, II.3, II.4) est explicitée pour justifier les fondements théoriques et méthodologiques de la séquence au cœur de ce travail de recherche.

II.1. Concepts utiles de la théorie anthropologique du didactique

II.1.1. Objets de savoir, institutions, transposition didactique

La transposition didactique est un concept qui a été introduit en didactique des mathématiques au début des années 80 par Yves Chevallard et qui a été formalisé à partir de travaux de recherche menés par l'IREM¹⁴ d'Aix-Marseille. Pour Chevallard (1991), dans un contexte d'enseignement-apprentissage, un « contenu de savoir » est transformé en « savoir à enseigner », de manière explicite dans les programmes, et de manière implicite par les pratiques en classe ainsi que par la lecture interprétative des programmes par les enseignants.e.s. L'auteur définit la transposition didactique (Chevallard 1991, p.39.) comme le « travail, qui d'un objet de savoir à enseigner fait un objet d'enseignement ». Il qualifie de « transposition didactique *sensu lato* » les passages successifs de l'objet de savoir à l'objet à enseigner et à l'objet d'enseignement.

Selon lui, le rôle de la science est de permettre un éclairage du monde qui nous entoure et cela passe par un questionnement. Il fait allusion à un « brouillage » du réel comme « détour préalable » et l'explique en référence à la problématisation (Chevallard 1994, p.137) : « tout projet de science est indissociablement tentative continuée de *problématiser* le réel ; de le faire apparaître comme *problématique*, je veux dire *comme posant problème* ». La différence entre la physique et la chimie savantes et celles enseignées peut s'expliquer en questionnant la transposition didactique qui peut être source de paradoxe lorsque dans la classe de physique-chimie les savoirs sont étudiés sans référence au(x) problème(s) qui a(ont) conduit à leur établissement. Chevallard (1994, p.167) explique

¹⁴ Institut de Recherche pour l'Enseignement des Mathématiques

que le savoir « laïque », appelé aussi savoir de référence, cautionne le savoir à enseigner d'un point de vue épistémologique : « A examiner un savoir enseigné, on découvre que son enseignement renvoie à *autre chose que lui-même* ; à un savoir « laïque », c'est-à-dire supposé vivre *en-dehors de l'Ecole*. » Il exploite la notion de niche et d'habitat des écologues (en particulier, l'analogie de Odum, 1959) pour en définir les contours en didactique et illustrer la réflexion sur l'écologie didactique des savoirs issue de la Réforme pour les mathématiques et l'enseignement général du second degré :

« Pour le dire en un langage volontairement anthropomorphe, l'habitat, c'est en quelque sorte l'adresse, le lieu de résidence de l'organisme. La niche, ce sont les fonctions que l'organisme y remplit ; c'est en quelque façon la profession qu'il y exerce. » (Chevallard, 1994, p.142)

Cette problématique de l'écologie des savoirs amène l'auteur à poser la question de l'origine des objets à enseigner, présents dans les programmes, de leur raison d'être et de leur relation avec les autres objets. Il précise aussi que le choix des objets d'enseignement, du « savoir enseigné », est effectué en tenant compte des contraintes et des conditions qui engendrent une écologie spécifique de ce savoir. Par contraintes, Chevallard se réfère à la première théorisation de 1980 où sont pris en compte les facteurs « temps (chronogénétique) » et « espace (topogénétique) ». L'expression « savoir enseigné » est caractéristique de la transposition didactique (*ibid.*, p.146) : « L'enseignement d'un savoir, en effet, est toujours la réalisation d'un projet social, plus ou moins largement partagé, porté par au moins certains groupes sociaux. ». Mercier (2008, p.12) mène cette réflexion sur la transposition didactique en incluant le rôle de l'enseignant.e : il est nécessaire de faire des choix pour livrer aux élèves le savoir qui vit au sein d'un groupe social et qui change de « forme de vie » lorsque les élèves l'étudient. L'enseignant.e doit alors cibler les problèmes que pourront résoudre les élèves et qui mettent en jeu l'objet de savoir.

En rappelant que le savoir (catégorisé en savoir savant, savoir à enseigner et savoir enseigné) vit non pas dans une seule institution (qui est souvent, respectivement, la communauté savante, la noosphère de l'Ecole et l'Ecole) mais dans plusieurs à la fois, Chevallard (1994, p.169-171) évoque la « *multilocation institutionnelle des savoirs* ». Quand il s'agit de se demander s'il est bien question du même savoir qui vit dans différentes institutions, Chevallard se penche sur le « lexique » des institutions dans lequel le savoir vit. L'auteur propose de considérer qu'il existe une institution dont le rôle est prédominant pour faire vivre le savoir S et la nomme « institution de *production* du savoir S ». Les considérations épistémologiques et culturelles qui caractérisent l'institution et l'activité de ces acteurs.trices rendent le savoir S crédible. Partant du principe que « Toute activité humaine est pratique sociale » et que cette pratique a lieu au sein d'une institution (« pratique institutionnelle »), Chevallard (*ibid.*, p.172) montre comment savoir et pratique peuvent être reliés et explique que le fait de « s'y connaître » fait aussi référence au fait de parvenir à réaliser une action (pratique) ; il s'agit de

savoir si, pour réaliser un projet, des objets de savoirs particuliers sont nécessaires. Pour l'auteur, l'identification de ces savoirs dépend de l'institution. Ainsi, un sujet dans une institution connaît un objet s'il existe un rapport personnel entre le sujet et l'objet (Chevallard, 1992, p.86-87). Les « notions mathématiques » comme l'addition font partie des objets de savoir de la discipline (Chevallard, 1991, p.49). Il en est de même pour les notions qualifiées de « paramathématiques » comme « la notion de paramètre, la notion d'équation ». Cette catégorisation des notions peut être transposée à la physique-chimie.

II.1.2. Dialectique média – milieu

Le terme de « média » est défini (Chevallard, 2007, p.40) comme « tout système de mise en représentation du monde (ou d'une partie du monde) à l'adresse d'un certain type de publics [...] ». Le média est donc utilisé selon un objectif fixé, par exemple celui d'informer un public donné. Le « milieu » correspond (*ibid.*) à « tout système regardé comme dénué d'intention dans la réponse qu'il peut apporter (de manière éventuellement implicite) à telle question déterminée [...] ». Dans le cadre de la théorie anthropologique du didactique (par la suite, TAD), le milieu est nécessaire au fonctionnement du système didactique et un media peut devenir un milieu selon le contexte d'étude, pour une question donnée, livrée au public concerné. La dialectique media-milieu s'intègre dans une démarche de recherche d'activité de questionnement. Cette notion s'inscrit dans une perspective constructiviste où lors du processus d'apprentissage, l'élève se pose des questions, prend du recul et des initiatives à partir du media et/ou du milieu (en TAD, est évoquée la « culture partagée du questionnement »). Pour répondre à une question, résoudre un problème, l'élève va étudier les médias disponibles (images, textes d'un énoncé d'activité, vidéos, matériel expérimental, cours) dans le milieu et traiter les informations pour sélectionner celles qui contribuent à formuler une réponse ou une solution. Castela (2017, p.15) décrit le processus qui met en jeu la dialectique media-milieu : « Il [X, le groupe d'élèves] se met donc à la recherche dans tous les médias accessibles d'éléments susceptibles de lui être utiles [...] ». L'élève mène une enquête dont l'objectif est de répondre à la question étudiée et enrichit le milieu de l'enquête grâce aux éléments des médias sélectionnés.

II.1.3. Praxéologies

La théorie anthropologique du didactique modélise les activités humaines en termes « d'organisation praxéologique » ou « praxéologie », constituée de deux blocs, « pratico-technique » et « technologico-théorique » (Chevallard, 2007). *Praxis* désigne les « types de tâches », qui comportent les tâches constitutives de l'activité de toute personne dans une institution donnée, et les « techniques » qui permettent de les effectuer ; *logos* se réfère au discours, qualifié de « technologie » et qui justifie les

techniques, et à la « théorie » associée. La praxéologie permet d'analyser l'objet de savoir « en fonctionnement ». Elle associe « savoir-faire » et « savoir ».

Le type de tâches est formulé par un verbe à l'infinitif et de manière à spécifier son contenu (Chevallard, 1998, p.2) : par exemple, « calculer la valeur d'une fonction en un point ». Il est à distinguer du genre de tâches (« calculer »). Pour un type de tâches donné et dans une institution donnée, un nombre réduit de techniques voire une unique technique existe ; c'est-à-dire que les différentes manières de réaliser un type de tâches dépendent aussi de l'institution dans laquelle la praxéologie est définie. La technologie permet de discourir sur la technique (« un *discours rationnel (logos)* sur la technique » (*ibid.*, p.3)). Elle a deux fonctions principales, expliquer et justifier la technique, que Chevallard (1999, p. 226-227) met en évidence :

« On notera ensuite qu'une deuxième fonction de la technologie est d'expliquer, de rendre intelligible, d'éclairer la technique. Si la première fonction – justifier la technique – consiste à assurer que la technique donne bien ce qui est prétendu, cette deuxième fonction consiste à exposer pourquoi il en est bien ainsi. »

Le caractère rationnel du discours sur la technique dépend de l'institution : la technologie justifie, explique « rationnellement » la technique escomptée pour accomplir le type de tâches. La technologie peut aussi produire de nouvelles techniques. Elle contient des éléments assertifs qui peuvent être à leur tour justifiés, expliqués, grâce à la théorie.

Le déroulement d'une séance en classe peut être décrit à partir de la notion de praxéologie disciplinaire ou d'organisation disciplinaire (liée à la physique-chimie) et d'organisation didactique. L'organisation liée à la physique-chimie peut être qualifiée de différentes façons, en référence aux niveaux de co-détermination¹⁵ qui ciblent la place de l'objet de savoir au sein d'une institution donnée :

- Organisation ponctuelle (en référence au type de tâches étudié – sujet d'étude),
- Organisation locale (qui utilise une technologie disciplinaire et met en jeu plusieurs techniques et types de tâches – thème d'étude),
- Organisation régionale (pour une théorie, plusieurs technologies et types de tâches – secteur d'étude) et
- Organisation globale (si plusieurs théories de la discipline sont utilisées – domaine d'étude).

L'organisation didactique est constituée de différents moments : « moment de la première rencontre » avec le type de tâches étudié, « moment de l'exploration du type de tâches et de l'émergence de la technique », « moment de la construction du bloc technologico-théorique », « moment de

¹⁵ L'échelle des niveaux de co-détermination est décrite au chapitre III.1.1

l'institutionnalisation », « moment du travail de l'organisation » liée à la physique-chimie (technique utilisée), « moment de l'évaluation ».

II.1.4. Un modèle épistémologique de référence (MER)

Dans le cadre de la TAD, un modèle épistémologique de référence (MER, par la suite) est construit par les chercheur.e.s pour expliciter les choix opérés, décontextualiser le savoir savant et l'adapter (le reconstruire) en fonction de l'objet d'étude. Le MER est aussi un outil pour justifier la méthodologie mise en place. Il détaille le processus de transposition didactique pour passer du « savoir savant » au « savoir à enseigner » puis au « savoir enseigné » et enfin au « savoir disponible, appris » (Chevallard et Bosch, 2014). Il se fonde sur des perspectives que développent les chercheur.e.s selon leurs propres connaissances et épistémologie. Le modèle épistémologique de référence construit est mis à l'épreuve ; il est évolutif.

Dans le cas de la conception d'une séquence d'enseignement-apprentissage et de sa mise en place, le contexte de production du savoir savant n'est pas le même que celui du savoir enseigné ; le contexte d'enseignement guide les choix des contenus scientifiques à enseigner. De même, les connaissances de l'enseignant.e ont une influence sur les choix des contenus qu'il.elle enseigne (Christiansen et Rump, 2008). Par conséquent, élaborer un modèle épistémologique de référence permet de détailler la démarche de construction de la séquence envisagée.

Dans ce travail de recherche, le modèle épistémologique de référence repose sur le choix des contenus relatifs à l'effet de serre, au réchauffement climatique et à leur enseignement-apprentissage en physique-chimie, sur la nature de l'activité scientifique et sa mise en œuvre par les élèves ainsi que sur le rôle de l'anglais langue cible dans les apprentissages. Ces axes sont développés à l'aide d'éléments de la théorie anthropologique du didactique (institution, écologie didactique, praxéologie, dialectique média-milieu) et sur des considérations abordées au chapitre I. Les paragraphes qui suivent (II.2, II.3, II.4) explicitent les étapes de construction du MER et de l'esquisse de la séquence de physique-chimie, illustrées par la figure ci-après.

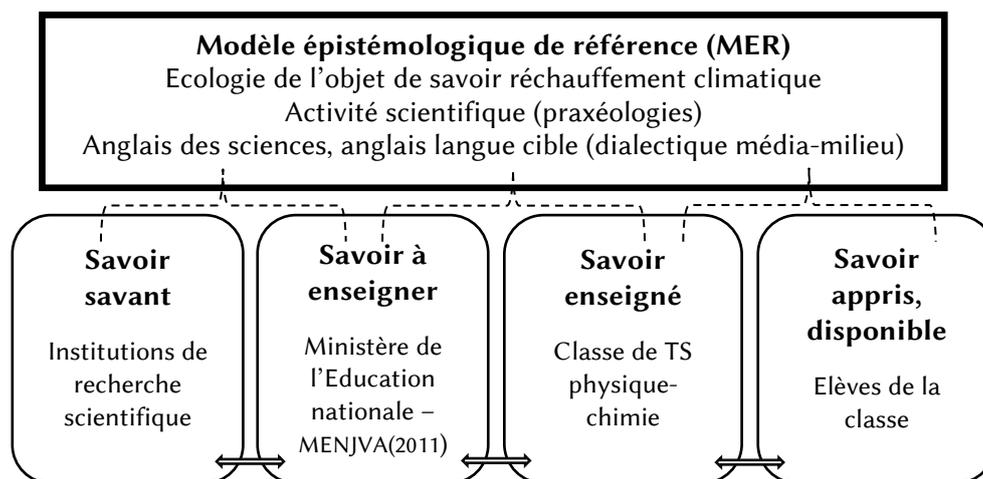


Figure 3. Explicitation du processus de transposition didactique pour élaborer l'esquisse de la séquence à l'aide du modèle épistémologique de référence (adaptée de Chevallard et Bosch, 2014)

Synthèse II.1. Concepts utiles de la théorie anthropologique du didactique

Le cadre de la théorie anthropologique du didactique (TAD) permet de fonder le travail d'élaboration de la séquence visée sur le rôle du processus de transposition didactique pour passer du savoir savant au savoir à enseigner puis au savoir enseigné et au savoir appris, disponible. Le concept d'institution est mobilisé en association avec la dimension écologique des savoirs en jeu et le rapport personnel du sujet à un objet de savoir. Le choix de l'approche bilingue et de l'approche conceptuelle pour construire la séquence conduit à explorer la notion de dialectique média-milieu et de praxéologie en TAD. La mise en relation de concepts de la TAD avec l'esquisse de la séquence envisagée est explicitée grâce au modèle épistémologique de référence.

II.2. Construction du MER (1/3) : passages entre savoir savant et savoir à enseigner

II.2.1. Un MER établi sur l'écologie du concept de réchauffement climatique et son expression en langue.

Les éléments du modèle épistémologique de référence entre savoir savant et savoir à enseigner sont construits à partir de l'exploration du concept de réchauffement climatique dans différents habitats et des manières de l'exprimer en langue française ou anglaise. En effet, un premier objectif est d'évaluer dans quelle mesure l'enseignement de ce concept est légitime en regard des injonctions ministérielles pour un cours standard de physique-chimie en terminale scientifique, puisque ce concept n'est pas présent en tant que tel dans le programme. Pour que le réchauffement climatique devienne un nouvel objet à enseigner et enseigné, alors rechercher d'où il vient, à quels autres objets de savoirs il est relié est un moyen d'atteindre cet objectif. De plus, comme l'approche bilingue envisagée pour enseigner ce concept repose sur la notion de didactique intégrée où le spécialisé et l'alternance entre deux

langues jouent de concert au profit de la construction de savoirs disciplinaires, un autre objectif consiste à explorer la terminologie du réchauffement climatique, en fonction des habitats de cet objet de savoir avec en arrière-plan le concept « d'anglais des sciences » (cf. chapitre I.4.3).

L'exploration conceptuelle est guidée par la réflexion que Depecker (2002) mène autour de la définition du concept scientifique dans une approche terminologique du spécialisé pour différentes langues. L'auteur s'appuie sur le fait que la mise en correspondance de la pensée et du langage passe par l'appréhension du réel à travers les concepts et leurs relations. Analyser les termes d'une langue met non seulement en évidence la manière de structurer ces termes en champ sémantique, mais permet aussi d'accéder aux concepts que la langue structure, à travers les désignations, les sèmes et les attributs assignés aux concepts. Pour l'auteur (*ibid.*, p.86-87), « Le concept est une unité structurée de pensée par laquelle nous appréhendons le monde. [...] Le concept se compose de caractères, unités élémentaires de pensée. ». Depecker exemplifie cette définition ; ainsi le concept de //voie sans issue// présente les caractères de //voie//, //absence// et //issue//. Le triangle de Saussure qui met en relation signifié, signifiant, référent est adapté en terminologie où le concept et le signifié sont mis en correspondance, ainsi que le référentiel¹⁶ et le référent, le signe et le signifiant (*ibid.*, p.23). Depecker (2002, p.87) montre que d'une langue à une autre (par exemple, en anglais et en français), la relation entre signifié et concept change :

« Le signifié de *watch* renvoie donc concomitamment à l'idée de regard, de veille, de temps, et correspond à chaque fois à un concept différent. Le français a en revanche recours, pour chaque concept, à des désignations distinctes :

- anglais *watch* : « acte d'être vigilant par le regard » = français *veille* ;
- anglais *watch* : « division des temps de veille » = français *quart* ;
- anglais *watch* : « équipage de quart » = français *bordée*. »

L'auteur ajoute deux notions à la définition du concept : celle de dimension et celle de direction. La première permet de situer le concept et est composée des critères pris en compte pour le définir. La deuxième équivaut à « l'axe d'analyse » pour sélectionner les caractères du concept. Pour illustrer ses propos, l'auteur prend l'exemple du concept de //verre// dont la direction serait celle du « comportement sous contrainte » et dont la dimension serait l'ensemble de critères tels que « composition, résistance, malléabilité » (*ibid.*, p.96). L'auteur définit le concept ainsi :

« [...] nous pouvons avancer qu'un concept a une dimension (formée par les critères appliqués à l'analyse particulière qui en est faite), une direction (la visée sous

¹⁶ « Le référentiel serait donc, dans une société donnée, un ensemble de perceptions et de connaissances, dont certaines sont sémiotisées (voir aussi sur ce sujet Pottier, 1992). Il est important de comprendre que, dans cette perspective, le réel ne se réduit pas aux objets. » (Depecker, 2002, p.64)

laquelle cette analyse est effectuée), et une constitution (le nombre de caractères qui le constituent et les relations qu'ils induisent). » (Depecker, 2002, p.68)

La construction du MER et l'identification des savoirs savants est menée en termes de direction, dimension et constitution du concept de réchauffement climatique (par la suite, rc) en langues anglaise et française. Le traitement terminologique est abordé en lien avec les pratiques institutionnelles de référence au sens de la TAD et en lien avec la problématique écologique didactique. En effet la manière d'exprimer un concept par un terme spécifique dépend de l'activité spécialisée :

« Les termes sont des unités lexicales dont le sens est envisagé par rapport à un domaine de spécialité, c'est-à-dire un domaine de la connaissance humaine, souvent associé à une activité socio-professionnelle. » (L'Homme, 2004, p.21)

Pour L'Homme (*ibid.*), le traitement terminologique du concept permet de définir un ensemble de termes spécialisés qui caractérisent les connaissances (et leur organisation) du domaine de spécialité. Il dépend de l'activité des groupes sociaux dans le domaine spécialisé. Les éléments du MER peuvent se construire en associant l'étude des termes du réchauffement climatique à la mise en évidence de praxéologie de référence liée à l'activité scientifique au sein de différentes institutions.

Dessiner les contours du savoir savant par le MER repose aussi sur l'idée de structuration des savoirs à travers les relations entre langue et concepts :

« Encore une fois, c'est la décision d'articuler les langues autour de concepts, même si ces derniers sont dégagés à partir de la structuration qu'en fait une langue (ici l'anglais), qui aboutit à l'alignement possible de désignations d'une langue à l'autre. Au-delà de ces traitements terminologiques, la comparaison entre systèmes de concepts, sous-tendus par une systémique particulière, et axiologie, système de structuration propre aux langues, devrait déboucher sur une vision plus claire de l'influence réciproque des langues et des concepts dans la structuration des savoirs. » (Depecker, 2002, p.73)

De plus, en référence à Bachelard (2011 [1938]), la formation de concepts au cours du temps va de pair avec le développement de la pensée scientifique. Elle navigue entre deux pôles, le singulier et l'universel. Le processus de conceptualisation se révèle à travers deux connaissances du concept, en compréhension et en extension, qui deviennent le moteur à « l'activité de la pensée empirique inventive » :

« La conceptualisation scientifique a besoin d'une série de concepts en voie de perfectionnement pour recevoir le dynamisme que nous visons, pour former un axe de pensées inventives. Cette conceptualisation totalise et actualise l'histoire du concept. » (Bachelard, 2011[1938], p.75)

Quelle « série de concepts » ont permis la conceptualisation du réchauffement climatique (rc) ? Comment l'idée de réchauffement climatique a-t-elle évolué au cours des siècles ? Pour répondre à ces questions, trois analyses sont effectuées dans le cadre de l'écologie de l'objet réchauffement

climatique. L'analyse de contenus relative aux connaissances actualisées sur le rc permet de cibler les caractéristiques de ce concept en établissant sa dimension, sa direction et sa constitution (cf. *supra*, Depecker, 2002, p.68). Elle contribue à orienter l'analyse épistémologique d'écrits relatifs à l'histoire de l'agir climatique et d'articles qualifiés de fondateurs sur le réchauffement climatique. Enfin l'analyse didactique met en évidence le rapport personnel de sujets par rapport à l'objet de savoir rc dans différentes institutions dont les groupes sociaux sont le public profane, les apprenant.e.s et enseignant.e.s au sein d'un système éducatif (établissements du primaire ou du secondaire ou du supérieur). L'usage de l'anglais et du français dans les écrits utilisés pour mener ces analyses est étudié en se demandant s'il peut révéler une « cohérence synchronique » ou « diachronique » entre concepts et dénominations en langues (Delisle, 1993, cf. chapitre I.3.4)¹⁷. Ainsi la première étape de construction du modèle épistémologique de référence est représentée ci-après :

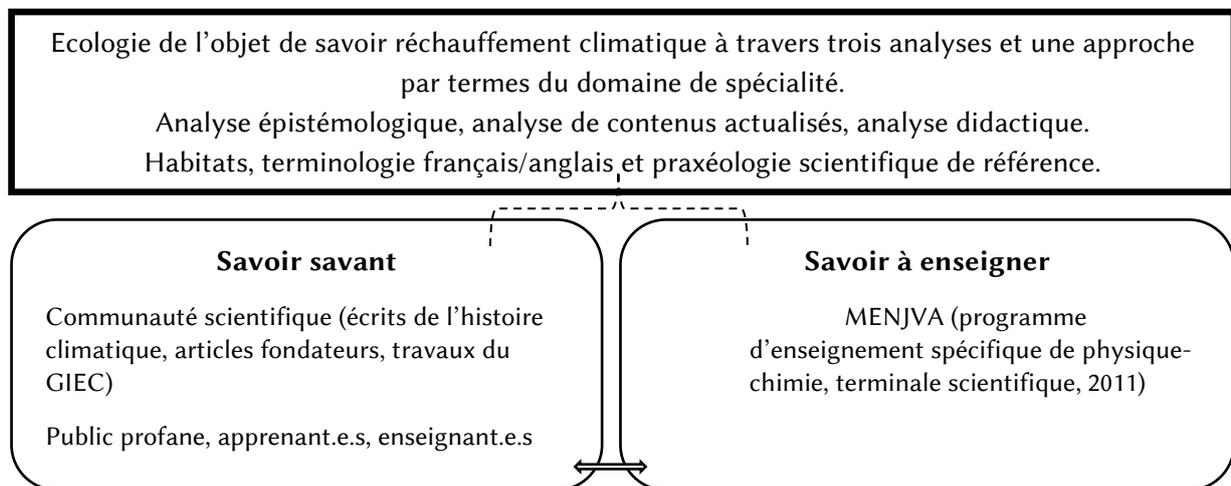


Figure 4. Modèle épistémologique de référence construit pour le passage entre savoir savant et à enseigner

Les annexes II.2.2a à II.2.2e détaillent les contenus relatifs aux trois analyses. Les paragraphes qui suivent synthétisent les éléments retenus pour le modèle épistémologique de référence.

¹⁷ Delisle (1993) parle de « cohérence synchronique » lorsque les concepts et leurs dénominations en L1 et en L2 sont appariés par équivalences spontanées ou issues de processus spécifiques au fonctionnement de la langue dans le champ disciplinaire concerné. Le qualificatif « diachronique » est alors réservé à la prise en compte de l'évolution de la langue, propre au champ de la discipline ; il implique qu'au cours de l'acte de traduction, des connaissances actualisées dans la discipline ou en lien avec l'histoire et l'épistémologie de celle-ci soient mises en jeu.

II.2.2. Données actuelles sur le réchauffement climatique (cf. annexes II.2.2a et II.2.2b)

Les premières projections climatiques avec les modèles numériques datent des années soixante-dix, quatre-vingt. Elles ont conduit à la naissance du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ou *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) en 1988 dont le rôle est d'évaluer les informations sur le changement climatique, ses conséquences et les actions possibles, d'un point de vue scientifique mais aussi d'un point de vue technique et socio-économique. Le GIEC élabore également des rapports utilisés lors des Conférences des Parties (COP, *Conference of Parties*) où des négociations sur le climat ont lieu à l'échelle internationale. Suite à la COP 21 de 2015, le GIEC a produit un rapport qui vise notamment à montrer quelles seraient les conséquences d'un réchauffement climatique de 1,5 °C par rapport à celles pour une augmentation de 2 °C¹⁸. Il est donc avéré d'une part que la Terre se réchauffe et d'autre part que les activités humaines liées aux modes de vie et à l'utilisation de combustibles fossiles sont la source majeure de l'augmentation des gaz à effet de serre qui contribuent à faire augmenter la température de surface de la planète (Allen et al., IPCC, 2018, p.53). A ce titre, il a été approuvé d'appeler « Anthropocène » l'ère dans laquelle nous nous trouvons tant l'impact des êtres humains sur la planète ne peut être remis en question.

Ainsi, pour le MER construit, l'objet de savoir réchauffement climatique est appréhendé comme un concept dont les caractères //réchauffement// et //planète Terre// et leurs relations permettent d'en développer son étude. La direction du concept //réchauffement climatique// choisie pour le MER est celle de l'augmentation de température de surface de la Terre due aux activités humaines. L'aspect controversé du phénomène n'est pas pris en compte ni ce qui relève de ses conséquences ou des politiques d'adaptation et de mitigation¹⁹. La dimension du concept est constituée d'un ensemble de critères identifiés à partir des contenus présentés dans l'annexe II.2.2a et à partir du choix opéré pour la direction du concept : ces contenus ont été élaborés d'après des résultats de travaux de recherche des années cinquante à nos jours, reconnus par la communauté scientifique. Parmi eux, la définition de réchauffement climatique du GIEC (2014a, p.141) est retenue :

« Réchauffement mondial (Global warming) »: augmentation progressive, prévue ou observée, de la température à la surface du globe, qui est l'une des conséquences du forçage radiatif provoqué par les émissions anthropiques. »

¹⁸ Ce rapport est intitulé « Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les profils connexes d'évolution des émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté ». Il a été adopté le 6 octobre 2018 à Inchéon en Corée du Sud.

¹⁹ « Atténuation d'une atteinte à l'environnement obtenue par la mise en œuvre de dispositions et de mesures appropriées. », Journal Officiel du 13 juillet 2012.

Pour la dimension du concept de réchauffement climatique, les critères de globalité (mondialité), température moyenne de surface et de forçage radiatif anthropique s'en dégagent. Les éléments de l'annexe II.2.2a en relation avec ces critères sont synthétisés :

- La théorie du dioxyde de carbone de Plass a permis d'orienter dès les années cinquante les recherches sur la corrélation entre l'émission de ce gaz par les activités humaines et le réchauffement climatique. Les propriétés radiatives du dioxyde de carbone atmosphérique et les mesures de flux radiatifs à différentes altitudes ont contribué au développement de ces recherches.
- Revell et Suess (1957) mettent en évidence le caractère global du phénomène et la cause anthropique du changement de climat.
- L'exploitation des mesures de concentration en dioxyde de carbone atmosphérique par l'équipe de Keeling qui débutent dès 1958 apporte les preuves de l'influence des activités humaines sur cette concentration. La courbe de l'évolution de cette concentration en fonction du temps entre 1958 et 1976 devient une référence ; elle est appelée courbe de Keeling.
- L'article premier rédigé par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques présente en 1992 l'ensemble des connaissances produites depuis les années cinquante : l'influence des activités humaines sur la composition atmosphérique au niveau mondial est reconnue.

L'importance du rôle joué par le dioxyde de carbone atmosphérique pour expliquer l'augmentation de la température de surface de la Terre conduit à préciser le paramètre de forçage anthropique. En effet, les contenus de l'annexe II.2.2a sur les émissions anthropiques, le bilan carbone, le forçage externe, le forçage radiatif et les gaz à effet de serre le justifient. En résumé :

- La compréhension du climat passe par la prise en compte d'un ensemble de sept descripteurs (organisation météorologique mondiale) dont la température de surface de la Terre et la concentration en dioxyde de carbone atmosphérique.
- La relation causale entre l'augmentation de cette concentration et l'augmentation de la température de la planète est étudiée par l'étude du bilan carbone en termes de sources et puits de carbone (modélisation du cycle du carbone, études des données de paléoclimatologie). L'objectif est de déterminer la « réponse transitoire du climat aux émissions cumulées de carbone (RTCE) ».
- L'influence des activités humaines sur le bilan carbone est appréhendée par la notion de forçage anthropique. L'estimation de ce forçage externe par les valeurs de forçages radiatifs sert à caractériser l'impact des activités humaines sur le bilan radiatif de la Terre : déforestation, émissions d'aérosols, émissions de gaz à effet de serre... En effet,

l'augmentation de la température de la Terre est aussi étudiée en termes d'équilibre radiatif de la planète.

Finalement, la dimension du concept //réchauffement climatique// est constituée de trois critères reliés entre eux :

- Du critère de globalité : la planète Terre est identifiée comme un système, « le système Terre », dont la température augmente ; elle possède une atmosphère considérée comme un mélange de gaz et qui interagit avec le rayonnement électromagnétique émis par le Soleil et émis par la Terre.
- Du critère de concentration en dioxyde de carbone atmosphérique : le dioxyde de carbone atmosphérique est un gaz à effet de serre et l'augmentation de cette concentration est due aux activités humaines ;
- Du critère de bilan radiatif : les propriétés radiatives des gaz à effet de serre expliquent le fait que la modification de la composition atmosphérique en gaz à effet de serre entraîne un régime transitoire au cours duquel la température du système Terre augmente.

L'expression « réchauffement climatique » est donc à appréhender comme « réchauffement planétaire ». L'adjectif « climatique » se réfère ainsi au système climatique (composé de cinq compartiments et dont l'évolution est suivie par sept descripteurs du climat - annexe II.2.2a). Le terme « climat » est à considérer « au sens large » (GIEC, 2018, p.77), c'est-à-dire comme étant « l'état du système climatique »²⁰. D'ailleurs le recours au dictionnaire terminologique « iate »²¹ montre, pour la recherche d'équivalents dans le domaine de l'environnement, entre langue française et anglaise, que « réchauffement climatique », « réchauffement planétaire », « réchauffement de la planète » sont trois possibilités de traduction de « global warming ». En anglais, le concept de //global warming// reprend les caractères proposés en français pour celui de //réchauffement climatique// : le premier //global// lié à l'échelle considérée, celle de la planète, et le deuxième //warming// lié au fait de se réchauffer.

²⁰ Définition de climat : « Au sens étroit du terme, temps (météorologique) moyen ou, plus précisément, description statistique fondée sur les moyennes et la variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes allant de quelques mois à des milliers, voire des millions d'années (la période type définie par l'Organisation météorologique mondiale est de trente ans). Ces grandeurs sont le plus souvent des variables de surface telles que la température, la hauteur de précipitation et le vent. Dans un sens plus large, le climat désigne l'état du système climatique, incluant sa description statistique. » (GIEC, 2018, p.77)

²¹ <https://iate.europa.eu/entry/result/797790/fr-en>

A travers les lectures des travaux de recherche référencés dans l'annexe II.2.2a, la sélection des contenus a conduit à un repérage terminologique autour du concept //réchauffement climatique// dans les glossaires de l'IPCC (2013, 2018) en anglais et du GIEC (2013, 2018) en français. A titre d'illustration :

Repérage en français	Repérage en anglais
<i>Définitions du concept dans le glossaire (2018)</i>	
« Réchauffement planétaire – <i>Global warming</i> Estimation de la hausse de la température moyenne à la surface du globe au cours d'une période de 30 ans ou de la période de 30 ans centrée sur une année ou une décennie donnée, exprimée par rapport aux niveaux préindustriels, sauf indication contraire. Pour les périodes de trente ans couvrant des années passées et futures, il est assumé que la tendance multidécennale au réchauffement observée actuellement se maintiendra. »	“Global warming The estimated increase in global mean surface temperature (GMST) averaged over a 30-year period, or the 30-year period centered on a particular year or decade, expressed relative to pre- industrial levels unless otherwise specified. For 30-year periods that span past and future years, the current multi-decadal warming trend is assumed to continue.”
<i>Direction du concept</i>	
Hausse Température moyenne à la surface du globe Période de 30 ans Réchauffement	Increase Global mean surface temperature 30-year period Warming

Tableau 1. Repérage dans le glossaire du GIEC (2013, 2018) et de l'IPCC (2014, 2018) des termes (et de la phraséologie) en français et en anglais relatifs à la définition et à la dimension du //réchauffement climatique//

Pour le repérage terminologique de l'expression de la dimension du concept, sont utilisées les définitions actualisées présentes dans les glossaires du GIEC (2018) en français et de l'IPCC (2018) en anglais pour :

- Dioxyde de carbone (GIEC, 2018, p.79) ; *Carbon dioxide* (IPCC, 2018, p.544)
- Gaz à effet de serre, GES (*ibid.*, p.81) ; *Greenhouse gases, GHG* (*ibid.*, p.550-551)
- Forçage radiatif (*ibid.*, p.81); *Radiative forcing* (*ibid.*, p.556-557)
- Émissions de gaz autres que le CO₂ et forçage radiatif autre que celui dû au CO₂ (*ibid.*, p.80) ; *Non-CO₂ emissions and radiative forcing* (*ibid.*, p.555)
- Réponse transitoire du climat aux émissions cumulées de carbone, RTCE (*ibid.*, p.88) ; *Transient climate response to cumulative CO₂ emissions, TCRE* (*ibid.*, p.559)
- Sensibilité du climat (*ibid.*, p.89) ; *Climate sensitivity* (*ibid.*, p.545)

Repérage en français	Repérage en anglais
<i>Dimension du concept : critère de globalité</i>	
Globe, Terre, Planétaire, global Atmosphère Constituants gazeux de l'atmosphère	Earth Global Atmosphere Gaseous constituents of the atmosphere

Absorbent et émettent un rayonnement à des longueurs d'onde spécifiques du spectre du rayonnement terrestre	Absorb and emit radiation at specific wavelengths within the spectrum of terrestrial radiation
<i>Dimension du concept : critère de concentration en dioxyde de carbone atmosphérique</i>	
Influe sur le bilan radiatif de la Terre Potentiel de réchauffement global (PRG) Émissions anthropiques En réaction à Une variation de la concentration de dioxyde de carbone (CO ₂) dans l'atmosphère Après un doublement de Les teneurs en CO ₂ Constituants gazeux de l'atmosphère Absorbent et émettent un rayonnement à des longueurs d'onde spécifiques du spectre du rayonnement terrestre Dans l'atmosphère terrestre Infrarouge, ultraviolet Emis par la surface de la Terre C'est cette propriété qui est à l'origine de l'effet de serre.	Affects the Earth's radiative balance Global warming potential (GWP) Anthropogenic emissions In response to A change in the atmospheric carbon dioxide (CO ₂) concentration Following a doubling of CO ₂ levels Gaseous constituents of the atmosphere Absorb and emit radiation at specific wavelengths within the spectrum of terrestrial radiation In the Earth's atmosphere Infrared, ultraviolet Emitted by the Earth's surface This property causes the greenhouse effect.
<i>Dimension du concept : critère de bilan radiatif</i>	
Variation du rayonnement net Différence entre le flux radiatif reçu et le flux radiatif émis Modification de la concentration de dioxyde de carbone Le rayonnement solaire Équilibre radiatif-dynamique Le flux de rayonnement au sommet de l'atmosphère Des variations de l'albédo de la surface Variation transitoire de la température moyenne à la surface du globe Variation annuelle de la température moyenne à la surface du globe Variation annuelle à l'équilibre (état stable) de Changement d'équilibre dans La température annuelle moyenne à la surface La réponse de la température moyenne à la surface du globe à Conditions évolutives qui ne sont pas à l'équilibre Simulation du climat	Change in the net Downward minus upward radiative flux Change in the concentration of carbon dioxide The output of the Sun, solar radiation Radiative-dynamical equilibrium The radiative flux at the top of the atmosphere Changes in surface albedo The transient global average surface temperature change Change in the annual global mean surface temperature The equilibrium (steady state) change in The equilibrium change in The annual global mean surface temperature The global mean surface temperature response to Evolving non-equilibrium conditions Climate model simulation

Tableau 2. Repérage dans le glossaire du GIEC (2013, 2018) et de l'IPCC (2014, 2018) des termes (et de la phraséologie) en français et en anglais relatifs aux trois critères de la dimension du //réchauffement climatique//

Le choix de cette caractérisation bilingue du concept de //réchauffement climatique// permet d'anticiper la manière de conceptualiser en langues les mécanismes physico-chimiques qui régissent le phénomène. Il apparaît que les critères sélectionnés pour définir la dimension du concept pourraient eux-mêmes en générer d'autres et développer cette dimension. Dans le MER, les trois critères préalablement définis sont conservés en l'état. Le repérage met en évidence quelques-unes des caractéristiques de l'anglais scientifique et des usages linguistiques en anglais et en français pour le

//rc//. Les équivalences entre termes français et anglais qui expriment la dimension de ce concept mettent en jeu le procédé de l'économie linguistique de la langue anglaise dans le domaine des sciences : nominalisation, ellipse, collocations, composés (cf. chapitre I.4).

De plus, cette approche conceptuelle bilingue du //rc// montre que des faits de physique entrent en jeu dans le processus de conceptualisation : en lien avec l'écologie des savoirs au sens de la TAD, l'habitat de l'objet de savoir serait celui des sciences climatiques et la niche équivaldrait au rôle du réseau de concepts relatifs à la physique des transferts radiatifs dans la compréhension du //rc//. L'annexe II.2.2b décrit les concepts nécessaires à la compréhension du //rc// fondée sur celle de l'effet de serre naturel et de l'effet de serre anthropique : rayonnement solaire, propriétés radiatives des gaz à effet de serre, rayonnement du corps noir, effet de serre naturel, bilan radiatif... Ainsi la dimension du concept est enrichie d'un point de vue conceptuel et terminologique : d'autres termes en français et en anglais permettent d'exprimer les contenus de physique lié au rayonnement. Ils seront repérés dans les supports en anglais proposés dans la séquence. Enfin, à travers ce travail terminologique, l'idée d'une praxéologie de l'activité scientifique, liée à des opérations de mesurage avec traitement statistiques de données et modélisation, émerge.

Que peut révéler une analyse épistémologique du concept //réchauffement climatique// caractérisé précédemment ? L'annexe II.2.3.1 (Climat, changement, action humaine : évolution des idées) expose des contenus issus de l'histoire climatique et de l'agir climatique : c'est d'abord l'idée de changement du climat qui se développe au fil du temps. L'annexe II.2.3.2 (Des articles fondateurs sur le réchauffement climatique) présente certaines démarches et résultats issus de publications scientifiques datant de la fin du XVIII^e siècle jusqu'au début du XX^e.

II.2.3. Eléments d'épistémologie du réchauffement climatique

II.2.3.1. Climat, changement, action humaine : évolution des idées (cf. annexe II.2.3.1)

Les recherches sur l'histoire de l'agir climatique montrent une variété de significations du terme « climat » au cours du temps : le concept de climat prend une direction « géométrique », « politique » (lien société-climat), « géographique » (échelle locale), « sociale » (lien action humaine-société-climat), « spirituelle » (La Providence). A travers l'histoire climatique se dégage alors la nécessité d'obtenir des données scientifiques pour construire des savoirs sur le réchauffement climatique et

mettre fin à des systèmes de croyances et aux représentations erronées sur le changement climatique.

Quelques obstacles épistémologiques au sens de Bachelard²² sont identifiés :

- Au cours des siècles, la description du climat s'est majoritairement opérée à une échelle locale plutôt que globale (à l'échelle de la planète). La perception des événements climatiques correspond davantage à une étude de phénomènes météorologiques jusqu'au XIX^e siècle (adhérence météo/climat).
- L'étroite relation entre climat et société (la « théorie des climats ») a longtemps été mobilisée à travers les raisonnements bien que des données de différentes grandeurs (pression, température...) étaient effectuées et exploitées en ce sens dès le XVII^e siècle.
- Les démarches menées par les différents philosophes et scientifiques mettent en exergue l'idée de chaleur propre à la Terre (obstacle substantialiste) et ne prennent que peu en compte le rayonnement solaire incident.
- Le gradient de chaleur propre de la Terre pour Buffon, l'aspect combinatoire de l'humidité et du phlogistique pour Mann ou les données sur les cycles glaciaires sous-estiment l'influence de l'activité humaine sur le changement climatique. L'idée d'influence de l'être humain sur le climat a fortement été développée depuis le XVIII^e siècle même si l'explication majeure reste de nature physique (obstacle substantialiste). L'opposition entre refroidissement et réchauffement global donne naissance à des controverses dont l'écho résonne aujourd'hui : l'idée de refroidissement universel est reprise par les climato-sceptiques malgré les preuves actuelles du réchauffement climatique.

Néanmoins, Mann a mené une démarche proche de celle des paléoclimatologues actuels où le recueil de données sur de longues échelles de temps et selon une étendue spatiale à l'échelle du globe permet d'étalonner les modèles actuels sur le climat. Il y a une concordance entre les indices de ces grands hivers évoqués par Mann et les indices contemporains. Les séries de Mann servent souvent de sources pour les séries actuelles.

Ainsi, la compréhension du mot climat, dans son sens actuel, s'est construite par des observations accompagnées de données expérimentales et a nécessité la prise en compte d'une échelle de temps plus long (plusieurs décennies) ainsi que d'une échelle spatiale plus large (planète). L'évolution des appareils de mesure et l'établissement de théories pour interpréter les phénomènes climatiques ont également conditionné la recherche sur le climat : les publications de travaux de scientifiques sur la

²² « Une connaissance acquise par un effort scientifique peut elle-même décliner. La question abstraite et franche s'use : la réponse concrète reste. Dès lors, l'activité spirituelle s'invertit et se bloque. Un obstacle épistémologique s'incruste sur la connaissance non questionnée. » Bachelard, 2011[1938], p.16-17

chaleur, le rayonnement, l'absorption et l'émission ont permis, dès le XVIII^e siècle de poser les bases des sciences climatiques.

II.2.3.2. Des articles fondateurs sur le réchauffement climatique (cf. annexe II.2.3.2)

Le choix de ces articles a été majoritairement guidé par les lectures des travaux de recherche de Urgelli (2004), ceux de Pierrehumbert (2004) et de Dufresne et Treiner (2011) sur l'épistémologie de l'effet de serre naturel et anthropique. De plus, la compréhension actuelle du système climatique passe par l'utilisation de modèles (*Earth System Models*) élaborés notamment à partir des phénomènes qu'ont décrits et expliqués les scientifiques au cours de leurs travaux dès le XVIII^e siècle et à partir des résultats majeurs qu'ils ont obtenus. Par exemple, le travail de Fourier est validé par la communauté scientifique qui mène des recherches sur le climat de la planète au XXI^e siècle. Le fait d'avoir mis en évidence que l'atmosphère absorbe et émet un rayonnement de nature différente et le fait d'avoir établi un bilan d'énergie pour la Terre ont permis d'appréhender ce qu'est l'effet de serre :

“Fourier got the essence of the greenhouse effect right — the principle of energy balance and the asymmetric effect of the atmosphere on incoming light versus outgoing infrared. The remaining physics took almost two more centuries to sort out, and the job is still not yet done.” (Pierrehumbert, 2004, p.677)

De même, l'étude des transferts radiatifs et du bilan énergétique de la planète développée à l'aide des mathématiques par Arrhénius puis Callendar permet aujourd'hui de proposer des modèles et des scénarii pertinents pour expliquer l'augmentation de température au cours du XX^e siècle et pour en faire des prévisions :

“The climate system is conceptually complex but has at its heart the physical laws of radiative transfer. This basic, or “core” physics is relatively straightforward to compute mathematically, as exemplified by Callendar's calculations, leading to quantitatively robust projections of baseline warming.” (Anderson et al., 2016, p.178)

En effet, le travail d'Arrhénius sur le rayonnement solaire et la chaleur à la surface de la Terre a démontré l'importance de l'évaluation des paramètres expérimentaux dans le raisonnement qui conduit à établir un bilan d'énergie. Les valeurs issues de ces travaux servent à établir les modèles climatiques actuels (Anderson et al., 2016, p.181)²³. La démarche de Callendar est aussi reconnue par les scientifiques d'aujourd'hui bien qu'il n'ait pas pris en compte l'influence d'autres gaz à effet de

²³ « Arrhenius divided the earth into latitudinal sections (10 degrees apart) from 70° N to 60° S, with mean surface temperature assigned to each section for each of four seasons. He assigned various parameters for mean cloud amount (0.525), cloud albedo (0.55), snow albedo (0.5 - 0.78), ocean albedo (0.075), and surface relative humidity (75 - 80%). These values are acceptable and consistent with parameterisations used in models today. » (Anderson et al., 2016, p.181)

serre tels que le méthane, les oxydes d'azote et les chlorofluorocarbones sur les transferts radiatifs entre la surface terrestre et l'atmosphère, et bien qu'il n'ait pas considéré le rôle des aérosols issus de la combustion fossile ou des éruptions volcaniques qui contribuent à un refroidissement de l'atmosphère par phénomène de réflexion directe (Anderson et al., 2016, p.182).

Le tableau qui suit met en évidence la pluralité des critères « évolutifs » qui pourraient constituer une dimension du concept //réchauffement climatique// au cours des quatre derniers siècles et qui sont utilisés par les scientifiques référencés dans ces articles fondateurs. Il vise aussi à donner des repères sur la construction de ces critères et à identifier quelques obstacles épistémologiques sans pour autant prétendre à dégager les conditions ou le contexte d'émergence de ces savoirs ni les controverses qui y ont été associées.

Références aux articles fondateurs	Repérage de contenus présentés dans les articles qui s'apparentent à des éléments de construction de la dimension choisie pour le concept de //réchauffement climatique// (RC)
L'héliomètre de Saussure (1740-1799) ou la relation entre température et rayonnement	Réflexion, absorption, dispersion. Existence d'une température maximale. Source de chaleur. Isolation. Emprisonnement de la chaleur. Analogie entre vitres d'une serre et atmosphère (1780).
<ul style="list-style-type: none"> ⇒ La distinction entre propagation de chaleur et de lumière est présente. ⇒ Le raisonnement repose sur l'idée de chaleur : la notion de rayonnement n'est pas convoquée ni le phénomène de transmission ni celui d'émission. ⇒ L'importance donnée aux phénomènes convectifs (emprisonnement de la chaleur) constituent un obstacle : ce sont les phénomènes radiatifs qui permettent d'expliquer les mécanismes du //réchauffement climatique//. ⇒ L'analogie effectuée est un obstacle : vitre et atmosphère n'ont pas les mêmes propriétés convectives ni radiatives. 	
L'explication de Fourier (1768-1830) sur la température de la Terre	Température de la planète liée aux rayons solaires, aux astres irradiants (paramètres solaires et orbitaux) et à la chaleur primitive. Fluides et chaleur. Chaleur lumineuse et chaleur obscure, conversion. Température moyenne « des lieux profonds » (sur une année, selon un profil vertical). Equation différentielle et bilan de chaleur. Lien chaleur et température. Importance de l'atmosphère pour le bilan thermique sur Terre.
<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Le rôle du Soleil est identifié mais d'autres idées font obstacle (par exemple celle de l'interaction entre la Terre et des astres de l'univers qui « l'irradient »). ⇒ L'obstacle substantialiste (fluide, chaleur plutôt que rayonnement) domine. ⇒ La distinction de la chaleur lumineuse et obscure est à rapprocher de la nature du rayonnement (solaire, infrarouge) : elle est nécessaire pour réaliser un « bilan de chaleur ». L'idée que l'atmosphère joue un rôle particulier en lien avec la chaleur ou les rayons est présente (celle de transparence ou d'opacité à un rayonnement n'est pas encore formulée en ces termes). ⇒ La relation entre température et bilan d'énergie est présente dans l'explication actuelle du RC. 	
Chaleur solaire et température moyenne de l'atmosphère,	Pouvoir absorbant et de transmission de l'atmosphère (valeur de l'albédo erronée). Pouvoir rayonnant de surface terrestre. Equation et mesures, puissance calorifique constante du Soleil (valeur erronée) (1838).

Pouillet (1791-1868)	Lien entre température de la source et émission de chaleur et de lumière.
<p>⇒ La notion actuelle de fenêtres atmosphériques est expliquée en termes de pouvoir d'absorption ou de transmission de l'atmosphère. L'échelle microscopique, au niveau moléculaire, n'est pas prise en compte.</p> <p>⇒ Le lien entre chaleur solaire et température moyenne de l'atmosphère est étudié avec mesures et calculs.</p> <p>⇒ La relation entre température d'un corps émetteur et nature du rayonnement émis n'est pas encore précisée : les idées de « pouvoir rayonnant », « chaleur », « lumière » sont majoritaires par rapport à celle de « rayonnement ».</p> <p>⇒ L'absence d'idée de rayonnement émis par l'atmosphère vers la surface terrestre est un obstacle à la conceptualisation du //réchauffement climatique//.</p>	
Le rôle du gaz carbonique dans l'atmosphère, Foote (1819-1888)	Réchauffement de l'atmosphère par le rayonnement solaire. Expérience sur le rôle particulier des deux gaz atmosphériques : dioxyde de carbone et eau ; capacité thermique des gaz.
<p>⇒ Première mise en évidence de la capacité de certains gaz atmosphériques (vapeur d'eau et dioxyde de carbone) à faire augmenter la température de l'atmosphère.</p> <p>⇒ Les propriétés d'absorption et d'émission de rayonnement infrarouge (IR) par ces gaz ne sont pas identifiées.</p>	
Le pouvoir absorbant et rayonnant des gaz atmosphériques, Tyndall (1820-1893)	Gaz transparents à la lumière et opaques à l'infrarouge « caloric rays » (1861). Proportionnalité entre absorbance du gaz et sa densité (pour de faibles valeurs). Pouvoir absorbant important des deux gaz atmosphériques : dioxyde de carbone et eau. Influence de l'atmosphère sur le climat. Rôle de l'atmosphère dans les échanges radiatifs et au niveau moléculaire. Vibration des atomes et molécules et absorption d'ondes. Transfert radiatif dans les deux sens entre la surface terrestre et l'atmosphère. Pouvoir émissif des gaz lié à leur pouvoir absorbant. Lien entre variation de la composition de l'atmosphère et variation du climat. Travaux d'Herschell sur le spectre : relation entre rayonnement infrarouge et chaleur (1800).
<p>⇒ Les concepts de rayonnement et de spectre sont mobilisés dans les démarches.</p> <p>⇒ Le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau absorbent plus les infrarouges que les autres gaz atmosphériques.</p> <p>⇒ Les phénomènes radiatifs sont connus et étudiés à l'échelle microscopique. Les travaux de physique et chimie sur l'interaction rayonnement-matière au niveau moléculaire sont convoqués pour étudier l'atmosphère et le climat.</p>	
Le bolomètre de Samuel Pierpont Langley (1834-1906)	Influence de l'atmosphère terrestre sur le rayonnement solaire reçu. Obtention du spectre infrarouge du Soleil. Relation entre température de surface terrestre et absorption infrarouge par l'atmosphère.
<p>⇒ Rayonnement solaire et valeur de la constante solaire.</p> <p>⇒ Spectre d'émission du soleil dans le domaine de l'infrarouge.</p> <p>⇒ L'absence de prise en compte globale de l'atmosphère et de la surface terrestres constitue un obstacle (absence d'approche systémique).</p>	
Rayonnement infrarouge, gaz atmosphériques et surface terrestre,	Influence de l'atmosphère sur la température de surface terrestre. « L'air retient la chaleur (lumineuse ou obscure) ». Spectre de l'atmosphère : bandes d'absorption pour le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau. La surface terrestre émet un rayonnement vers l'espace

Arrhénius (1859–1927)	<p>dont une partie est absorbée par l'atmosphère. Rôle de la convection de l'air chaud, des courants atmosphériques et océaniques.</p> <p>Définition et rôle de l'albédo : l'air émet et absorbe le rayonnement.</p> <p>Première estimation de la valeur de la température terrestre moyenne.</p> <p>Rôle des nuages.</p>
<p>⇒ Le rôle des gaz atmosphériques dans l'absorption du rayonnement solaire et du rayonnement terrestre est identifié.</p> <p>⇒ L'albédo est relié à la température moyenne de la Terre. Lien entre augmentation de concentration des gaz atmosphériques et celle de la température de surface terrestre.</p> <p>⇒ Les connaissances mises en jeu permettent d'établir un « premier » bilan radiatif pour la Terre.</p> <p>⇒ L'obstacle majeur est l'absence de prise en compte du rayonnement infrarouge de l'atmosphère vers la surface terrestre.</p>	
Emission anthropique du CO ₂ et augmentation de température, Callendar (1898-1964)	<p>Identification des bandes d'absorption du dioxyde de carbone atmosphérique.</p> <p>L'atmosphère émet un rayonnement infrarouge vers la surface terrestre.</p> <p>Lien entre température de surface et émission de rayonnement par l'atmosphère.</p> <p>Corps noir et énergie radiative. Equation.</p> <p>Mise en évidence du réchauffement climatique ; écart de température important entre 1901 et 1930, différent selon zone en centre-ville ou périphérique.</p>
<p>⇒ Lien entre augmentation de la température de surface de la terre et celle de la concentration de dioxyde de carbone émis par les activités humaines.</p> <p>⇒ Spectre d'absorption du dioxyde de carbone.</p> <p>⇒ Le modèle de corps noir est convoqué dans l'explication du bilan radiatif.</p> <p>⇒ Les sciences climatiques naissent à peine : végétation, transfert d'énergie autre que radiatif, zone polaire ne sont pas pris en compte.</p>	

Tableau 3. Pluralité des critères « évolutifs » qui pourraient constituer une dimension du concept //réchauffement climatique// au cours des quatre derniers siècles dans les articles qualifiés de fondateurs

L'analyse épistémologique menée révèle que les critères de globalité, concentration en dioxyde de carbone atmosphérique et bilan radiatif (sur lesquels la dimension du concept de //réchauffement climatique// a été établie dans le MER construit) ont constitué des obstacles épistémologiques majeurs dans l'élaboration des savoirs sur ce phénomène. En effet, ces critères font eux-mêmes appel aux concepts mentionnés au II.2.2 dont la construction en réseau se place sous l'égide des « lois de la physique du transfert radiatif » (Anderson et al., 2016, p.178) et est nécessaire pour conceptualiser le //réchauffement climatique//. Les évolutions techniques des instruments de mesure ont permis de dépasser certains obstacles comme l'illustre l'utilisation des spectromètres ("He [Langley] was enabled by this powerful instrument to carefully map the infra-red energy spectrum of the sun", Walcott, 1912, p.251). Mais c'est surtout l'outil conceptuel qui a manqué aux scientifiques pour interpréter leurs résultats expérimentaux. L'étude du réchauffement climatique nécessite des lois et modèles élaborés dans le domaine de la physique et de la chimie : c'est bien ce qu'a permis aussi de mettre en évidence cette analyse épistémologique.

D'un point de vue terminologique, la relation entre terme et concept décelable à travers les articles fondateurs en français ou en anglais présente une cohérence diachronique. La connaissance du mot (cf. chapitre I.3.2) est liée à celle du concept qu'il permet de dénommer. Un exemple probant en est celui de l'usage actuel de « rayonnement infrarouge » (*infrared radiation*) qui a remplacé celui de « rayons calorifiques », « chaleur opaque » - (*calorific rays, dark heat*) : le concept de rayonnement a été mobilisé dans l'explication des mécanismes de l'effet de serre et du réchauffement climatique bien après celui de chaleur ou de l'idée de rayons de chaleur. Ce sont probablement les travaux sur les spectres et la spectroscopie qui ont contribué à l'apparition de cette terminologie pour distinguer la nature du rayonnement et interpréter les phénomènes d'interaction-matière à l'échelle microscopique.

L'activité scientifique décrite dans ces articles réaffirme l'idée d'une praxéologie de référence liée à un travail expérimental qui nécessite l'utilisation d'instruments de mesures, d'opérations de mesure et d'interprétation de données. Le bloc technologico-théorique d'une telle praxéologie pourrait mobiliser les critères constitutifs de la dimension du concept //réchauffement climatique//. Un changement d'habitat de ce concept pour trois groupes sociaux différents (public profane, apprenant.e.s, enseignant.e.s) conduit-il à une mise en mots et à une conceptualisation différentes ?

II.2.4. Rapport au réchauffement climatique : public profane, d'apprenant.e.s, d'enseignant.e.s

L'annexe II.2.4 présente un ensemble de résultats issus d'enquêtes variées sur les représentations sociales du réchauffement climatique, les modes de pensées, les raisonnements et les connaissances chez le grand public et chez des sujets en position d'apprenant.e.s ou d'enseignant.e.s. Les paragraphes qui suivent en synthétisent les principales idées.

La médiatisation a permis de multiplier les sujets d'actualité en lien avec le réchauffement climatique, sans nécessairement s'assurer que les faits scientifiques soient diffusés de manière rigoureuse pour en assurer une bonne compréhension. Notamment, la confusion entre réchauffement climatique, effet de serre (naturel) et autres problèmes environnementaux est fréquente. Eduquer la population au changement climatique est un enjeu qui a vu le jour dès les années quatre-vingt-dix. Le rapport de l'IPCC de 1992 met déjà en évidence l'importance d'informer le grand public sur le changement climatique afin de mieux promouvoir les politiques publiques.

Les nombreuses enquêtes initiées depuis les années quatre-vingt-dix permettent d'accéder aux représentations du public profane, d'apprenant.e.s et d'enseignant.e.s du primaire à l'université : la terminologie employée dans les médias a une influence sur les représentations sociales du réchauffement climatique et les causes du réchauffement climatique ne sont pas correctement

identifiées. La prégnance du raisonnement entre couche d'ozone ou couche de gaz et réchauffement climatique tend à diminuer. Les activités humaines et l'émission de gaz à effet de serre sont davantage référencées comme une cause à l'augmentation de la température de la planète. En revanche, les représentations sur les gaz à effet de serre sont souvent erronées quant à leur nature ou à leur capacité à absorber et émettre un rayonnement infrarouge. Les études mettent en évidence les concepts « clés » nécessaires à la compréhension de l'effet de serre naturel et anthropique en lien avec la construction de modèles de pensée. Les récents résultats prônent l'idée de programmes d'apprentissage, de formation ou de développement professionnel où les différents types de rayonnements, l'interaction entre gaz à effet de serre et rayonnement électromagnétique ainsi que l'établissement d'un bilan radiatif pour la Terre devraient être enseignés. Les apprenant.e.s ont des difficultés à comprendre les explications de l'effet de serre qu'ils.elles ont cherchées sur internet, dans les livres scolaires, même avec l'aide de l'enseignant.e (Österlind, 2005). Ils.elles ont besoin de connaissances dans les domaines spécifiques (par exemple sur le rayonnement) car ils.elles parviennent difficilement à donner du sens à un concept à mobiliser : les concepts prennent du sens à partir du moment où un contexte d'étude est proposé mais le transfert d'un contexte à un autre n'est pas aisé. Par exemple, l'élève explique la relation entre photosynthèse et diminution de dioxyde de carbone dans l'atmosphère mais ne réussit pas à expliquer l'augmentation de l'effet de serre lorsque la concentration de dioxyde de carbone atmosphérique augmente (*ibid.*, p.905).

L'analyse didactique issue de différents articles de recherche utilisés dans l'annexe II.2.4 permet de compléter le MER. Les principaux obstacles à la compréhension de l'effet de naturel pour le distinguer ensuite de l'effet de serre anthropique et expliquer le //réchauffement climatique// concernent les transferts radiatifs entre la surface de la Terre et l'atmosphère ainsi que et les propriétés radiatives des gaz à effet de serre. Cela confirme le choix de la dimension du concept pour le MER. Les propositions didactiques qui émergent des travaux de recherche mettent en avant l'intérêt des travaux pratiques sur les phénomènes d'absorption et d'émission de rayonnement électromagnétique et sur l'établissement de bilan d'énergie. La modélisation prend aussi une place conséquente dans le processus d'apprentissage des savoirs de physique nécessaires à l'explication du réchauffement climatique. Plusieurs études s'appuient sur la mise en mots de raisonnements explicatifs du phénomène pour évaluer le niveau de compréhension de l'apprenant.e.

Une autre idée de praxéologie de référence émerge pour un type de tâche dont la formulation serait « expliquer le phénomène de réchauffement climatique » (appréhendé comme le concept //rc// défini dans le MER). En termes de praxéologie de référence de l'activité scientifique pour des apprenant.e.s, le caractère expérimental est pertinent, ce qui permet de la mettre en relation avec la praxéologie de référence de l'activité scientifique du MER suggérée au II.2.2 et II.2.3.

L'éclairage didactique des publications référencées dans l'annexe II.2.4, combiné à un repérage terminologique, montre que la dimension du //réchauffement climatique// peut être exprimée en français et en anglais avec les mêmes termes qu'au II.2.2 dans le cadre d'une séquence.

Synthèse II.2. Construction du MER (1/3) : passages entre savoir savant et savoir à enseigner

La recherche d'intégration d'une approche bilingue et conceptuelle dans une séquence de physique-chimie sur le réchauffement climatique passe par la définition de ce concept, en termes de dimension, de direction et de constitution, et par une étude terminologique (Depecker, 2002). Le concept de //réchauffement climatique// est traité à travers trois critères qui constituent sa dimension : globalité, concentration en dioxyde de Carbone (CO₂) atmosphérique et bilan radiatif. Les premiers éléments de définition du concept en anglais et français ont guidé l'analyse de contenus, l'analyse épistémologique et l'analyse didactique dont le but a été de justifier la mise en œuvre de la transposition didactique entre le savoir savant et le savoir à enseigner pour le modèle épistémologique de référence construit. La « série de concepts » nécessaire à la conceptualisation du //réchauffement climatique//, où l'explication de l'augmentation de la température de la surface de la Terre en est l'enjeu principal, appartient au domaine de la physique des transferts radiatifs. L'identification des obstacles épistémologiques majeurs concernent ces savoirs dans ce domaine. L'activité de recherche d'équivalents français-anglais semble être une activité bénéfique à la construction du concept visé ; elle pourrait être proposée pour évaluer l'appropriation de savoirs disciplinaires par les élèves. Les trois analyses ont mis en évidence la cohérence synchronique et diachronique du //réchauffement climatique//. Elles ont également fait émerger deux idées pour les praxéologies de référence de l'activité scientifique : la place de l'expérimental et de l'explication d'un phénomène.

Quels contenus sélectionner dans les programmes d'enseignement spécifique de physique-chimie pour la classe de terminale scientifique (MENJVA, 2011) pour déterminer les savoirs à enseigner du MER construit ? Les critères retenus pour conceptualiser le //réchauffement climatique//, en particulier pour expliquer l'effet de serre naturel, anthropique et établir un bilan radiatif pour la Terre ont été évoqués. Les choix opérés pour le MER ont « mis de côté » de nombreux aspects du réchauffement climatique comme, entre autres, les aspects turbulents (rôle des cycles d'évaporation et condensation de l'eau, rôle des mouvements de convections atmosphériques et des phénomènes de conduction thermique, rôle des nuages dans le bilan énergétique...) ou les aspects liés à la répartition de l'énergie solaire à la surface de la Terre (bilan énergétique localement déséquilibré à cause de la « sphéricité » de la Terre, de paramètres astronomiques et de l'alternance de saisons). La construction du MER se poursuit avec la transposition externe du savoir à enseigner au savoir enseigné.

II.3. Construction du MER (2/3) : passages entre savoir à enseigner et savoir enseigné

II.3.1. Un MER établi sur la dialectique écologique média-milieu pour dégager une praxéologie de référence

Les contenus du programme d'enseignement spécifique de physique-chimie pour la classe de terminale scientifique (MENJVA, 2011)²⁴ sont traités dans le but de sélectionner les « notions et contenus » utiles à l'explication des mécanismes de ce phénomène et ainsi de spécifier les savoirs à enseigner. Ces notions sont qualifiées par Develay (1996, p.62) de « concepts intégrateurs » et sont caractéristiques de la discipline :

« Les concepts intégrateurs sont les notions qui, pour une discipline déterminée, à un niveau d'enseignement donné, intègrent l'ensemble des notions à enseigner. Ces concepts intégrateurs permettent de distinguer l'essentiel de la structure d'une discipline, de ce qui est accessoire. »

Develay distingue les notions des faits constitutifs de la discipline qui sont « enseignés à un registre de conceptualisation donné »²⁵. Pour enrichir le MER, les notions dans le programme sont repérées à partir de la dimension du concept //réchauffement climatique//. Les « compétences exigibles » apparaissent aux côtés des « notions et contenus » dans le but de construire une praxéologie de référence de l'activité scientifique pour l'élève dont le type de tâche a à voir avec ce qui est attendu d'un.e élève de terminale scientifique et dont les blocs praxis et logos sont en adéquation avec l'« esprit de la démarche scientifique »:

« Deux compétences occupent une place centrale en terminale : « extraire » et « exploiter » des informations ; elles seront mises en œuvre fréquemment, notamment dans les situations identifiées dans la colonne de droite du programme, en respectant l'esprit de la démarche scientifique. » (MENJVA, 2011, p.1)

Ainsi la séquence envisagée est découpée en trois volets qui incluent les « notions et contenus » et les « compétences exigibles » au programme. Ce qui est qualifié de « Notions et contenus » s'interprète comme les concepts intégrateurs et les faits de la discipline ; la distinction n'est pas apparente dans le programme. Le découpage de la séquence est fondé sur les trois critères de la dimension du //rc// et sur la prise en compte des obstacles épistémologiques identifiés dans le MER construit (cf.II.2). Le tableau ci-dessous structure la séquence en trois volets :

²⁴ Le programme est téléchargeable en ligne :

https://cache.media.education.gouv.fr/file/special_8_men/99/0/physique_chimie_S_195990.pdf

²⁵ Develay, 1996, p.62 : « Une discipline est constituée de faits, éléments particuliers opposables aux notions. En biologie, quand on étudie la notion de respiration, l'inspiration ou l'expiration sont des faits. »

Notions et contenus (MENJVA, 2011)	Compétences exigibles (MENJVA, 2011)
<p>Rayonnement dans l'Univers. Absorption de rayonnements par l'atmosphère. Détecteurs d'ondes (mécaniques et électromagnétiques) et de particules (photons, particules élémentaires ou non). (p.6)</p>	<p>Extraire et exploiter des informations sur l'absorption de rayonnements par l'atmosphère terrestre et ses conséquences sur l'observation des sources de rayonnements dans l'Univers. Connaître des sources de rayonnement radio, infrarouge et ultraviolet. Extraire et exploiter des informations sur : - des sources d'ondes et de particules et leurs utilisations ; - un dispositif de détection. <i>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en œuvre un capteur ou un dispositif de détection.</i></p>
<p>Ce premier volet de la séquence met en jeu la dimension du //réchauffement climatique// par le rôle de l'atmosphère et son interaction avec le rayonnement électromagnétique (globalité) ; il vise à dépasser les obstacles épistémologiques identifiés lors de la construction du MER pour l'explication du réchauffement de la planète (adhérence chaleur-rayonnement, atmosphère chauffante, trou de la couche d'ozone...). L'étude du spectre électromagnétique permet de distinguer les différents types de rayonnement (IR, solaire), de mettre en évidence l'interaction entre l'atmosphère et le rayonnement à l'échelle macroscopique et d'en fournir une explication par sa composition en gaz. Le programme évoque l'instrumentation d'observation.²⁶</p>	
<p>Spectres UV-visible Lien entre couleur perçue et longueur d'onde au maximum d'absorption de substances organiques ou inorganiques. Spectres IR Identification de liaisons à l'aide du nombre d'onde correspondant ; détermination de groupes caractéristiques. (p.7)</p>	<p><i>Mettre en œuvre un protocole expérimental pour caractériser une espèce colorée.</i> Exploiter des spectres UV-visible.</p>
<p>Le deuxième volet est mis en relation avec les propriétés radiatives des gaz à effet de serre. Il vise à franchir l'obstacle épistémologique de la chaleur piégée, emprisonnée par une couche de gaz qui engendre le réchauffement de la planète. L'enjeu conceptuel concerne la capacité d'un gaz à effet de serre à émettre un rayonnement infrarouge et l'interaction rayonnement-matière à l'échelle de la molécule. L'analyse spectrale dans l'UV-visible et l'infrarouge (IR) contribue à ce changement d'échelle du macroscopique au microscopique. L'approche expérimentale de caractérisation d'espèces pourrait rendre compte par analogie, de la démarche des scientifiques qui étudient le dioxyde de carbone atmosphérique.²⁷</p>	

²⁶ MENJVA, 2011, p.2 : « Cette interaction, qui dépend du domaine spectral considéré, conditionne la nature de l'instrument d'observation, son support technologique et son altitude (du sol à l'extérieur de l'atmosphère). »

²⁷ MENJVA, 2011, p.2 : « La spectroscopie est un moyen privilégié d'étude des propriétés physicochimiques (température, composition) des sources de rayonnement, des objets astronomiques aux sources colorées fabriquées par l'Homme. Elle est également un instrument irremplaçable d'analyse des espèces chimiques d'origine variée, notamment issues du domaine du vivant, qu'il s'agisse des spectres UV-visible, IR ou RMN. C'est principalement cet aspect qui donnera lieu à l'enseignement de terminale. Sans aborder les règles qui régissent les transferts d'énergie dans les molécules, il s'agira d'exploiter des spectres de natures différentes à l'aide de

<p>Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques Notions de système et d'énergie interne. Interprétation microscopique. Capacité thermique. Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement. Flux thermique. Résistance thermique. Notion d'irréversibilité. Bilans d'énergie. (p.11)</p>	<p>Savoir que l'énergie interne d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques. Connaître et exploiter la relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé. Interpréter les transferts thermiques dans la matière à l'échelle microscopique. Exploiter la relation entre le flux thermique à travers une paroi plane et l'écart de température entre ses deux faces. Établir un bilan d'énergie.</p>
<p>Le troisième volet est aussi lié à la dimension du concept //réchauffement climatique//. La notion de flux radiatif n'est pas explicitement au programme car la situation d'étude proposée met plutôt en jeu les transferts conductifs, mais l'approche systémique pour l'établissement d'un bilan d'énergie peut être appliquée pour traiter le cas du réchauffement climatique. Le raisonnement par analogie semble une piste d'exploration possible. L'étude de transferts et bilan d'énergie devrait contribuer à dépasser l'obstacle épistémologique principal de la serre chauffante.</p>	

Tableau 4. Structure en trois volets de la séquence envisagée autour de l'effet de serre et du réchauffement climatique en cours de physique-chimie pour la classe de terminale scientifique.

La prise en compte de l'écologie didactique pour élaborer la séquence se manifeste par la mobilisation des concepts intégrateurs dans le processus d'enseignement-apprentissage et à travers des activités menées par les élèves : le savoir à enseigner, identifié dans le programme, est transposé en savoir enseigné dont l'habitat peut être celui de la physique, de la chimie ou des sciences climatiques. En effet, la mise en place d'un « fil rouge » suggéré dans le programme de physique-chimie est possible : le fil rouge « réchauffement climatique » qui fédère les notions, contenus, compétences au programme fait vivre le savoir enseigné pour conceptualiser le //rc// selon la dimension, la direction et la constitution définies dans le MER. Dans l'institution qu'est la classe de terminale scientifique en cours de physique-chimie, le savoir enseigné est appréhendé d'un point de vue de la discipline et est contextualisé en sciences climatiques, c'est-à-dire qu'il est mis en relation avec le savoir savant caractérisé au II.2.2.

Le milieu avec lequel les élèves vont interagir pour construire leurs connaissances sur le //rc// est alors pensé pour faire vivre les savoirs enseignés issus des différents habitats : il contient des « supports d'informations » (MENJVA, 2011, p.1), les médias, en anglais. Il est envisagé pour soumettre une enquête aux élèves et la déclencher. Une dialectique s'opère entre le milieu et les médias à disposition des élèves lorsque les élèves parviennent, à partir des médias, à transformer les informations en connaissances. Le bilinguisme intégré est au cœur de cette dialectique. Les médias choisis pour la

tables et de logiciels, en vue de les mettre en relation avec la structure des molécules. En outre, il s'agira de choisir une espèce colorée pour conduire une démarche expérimentale destinée à la caractériser. »

séquence contribuent à dérouler le fil rouge. Ils sont diversifiés (texte, image, vidéo) et permettent également de faire vivre le savoir enseigné selon l'habitat. Par exemple un extrait d'un rapport de l'IPCC ou d'un article de recherche sur l'étude du dioxyde de carbone atmosphérique mobilise un ou plusieurs critères de la dimension du //rc// contextualisé(s) dans le domaine des sciences climatiques.

La dialectique média-milieu à laquelle la question écologique des savoirs est associée contribue également à l'identification de praxéologies de référence liées à l'activité scientifique. Au cours de la séquence, l'organisation en demie classe, lors de séances qualifiées au niveau institutionnel de « TP » (travaux pratiques), est profitable à la mise en œuvre d'activités à caractère expérimental où la dialectique écologique média-milieu est prise en compte : l'activité scientifique des élèves a pour référence celle de chercheur.e.s en sciences climatiques ; le passage de l'une à l'autre s'opère par analogie.

L'approche intégrée, bilingue et conceptuelle, est alors combinée à l'identification de praxéologies disciplinaires (liées à la physique-chimie) : les activités proposées aux élèves les conduisent à mobiliser des savoirs relatifs à la dimension du //rc// à travers la langue cible anglaise et en interlangue (cf. chapitre I.3.1.). La deuxième étape de construction du modèle épistémologique de référence se représente ainsi :

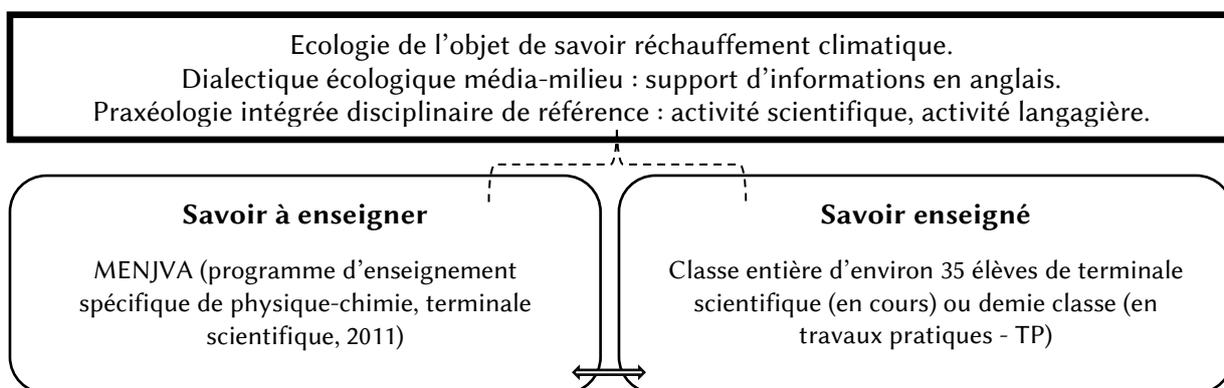


Figure 5. Modèle épistémologique de référence construit pour le passage entre savoir à enseigner et enseigné.

II.3.2. Dialectique écologique média-milieu : support d'informations en anglais

Le choix des supports en anglais, les médias, est guidé à la fois par le choix des contenus de physique-chimie et par le traitement des informations en langues L1 et L2 qu'ils génèrent. L'approche communicative recommandée dans le CECR²⁸ conduit à considérer l'exploitation de ces supports en termes d'activité langagière de réception. Selon la nature du support, l'activité est qualifiée de

²⁸ Cadre européen commun de référence pour les langues : apprendre, enseigner, évaluer volume complémentaire avec de nouveaux descripteurs ; Conseil de l'Europe, 2018.

réception orale, écrite ou audio-visuelle (Conseil de l'Europe, 2018, p.57). D'après les échelles des descripteurs fournies dans le CECR, les médias pour la séquence sont sélectionnés en supposant que l'élève de terminale scientifique soit compétent.e à un niveau B1 :

« Compréhension générale de l'oral : Peut comprendre une information factuelle directe sur des sujets de la vie quotidienne ou relatifs au travail en distinguant les messages généraux et les points de détail, à condition que l'articulation soit claire et l'accent courant. Peut comprendre les points principaux d'une intervention dans une langue claire et standard sur des sujets familiers rencontrés régulièrement au travail, à l'école, pendant les loisirs, y compris des récits courts. » (*ibid.*, p.58)

« Compréhension générale de l'écrit : Peut lire des textes factuels clairs sur des sujets relatifs à son domaine et à ses intérêts avec un niveau satisfaisant de compréhension. » (*ibid.*, p.63)

La stratégie communicative attendue, celle que l'élève devrait mettre en place est alors : « reconnaître des indices et faire des déductions (oral et écrit) ». Les descripteurs à un niveau B1 sont :

« Peut faire appel à différents types de connecteurs (numériques, temporels, logiques) ainsi qu'au rôle des paragraphes clés dans l'organisation générale du texte afin de mieux comprendre l'argumentation. Peut extrapoler le sens d'un passage d'un texte en tenant compte du texte dans son ensemble. Peut identifier des mots inconnus à l'aide du contexte sur des sujets relatifs à son domaine et à ses intérêts. Peut, à l'occasion, extrapoler du contexte le sens de mots inconnus et en déduire le sens de la phrase à condition que le sujet en question soit familier. Peut faire des déductions et des prévisions sur le contenu d'un texte à partir des rubriques, des titres et des manchettes. [...] Peut suivre une argumentation, ou les séquences d'événements dans une histoire en se concentrant sur les connecteurs logiques courants (par ex. cependant, parce que) et les articulateurs temporels (par ex. après quoi, au préalable). Peut déduire le sens probable de mots inconnus dans un texte écrit à partir des éléments dont ils sont constitués (par ex. les racines du mot, les éléments lexicaux, les suffixes et les préfixes). » (*ibid.*, p.70)

La stratégie attendue relève des considérations en didactique intégrée anglais/physique-chimie et du bilinguisme en particulier sur la fonction heuristique de la langue (cf. chapitre I.3.1.) et la connaissance du mot (cf. chapitre I.3.2.). Ainsi, l'élève doit pouvoir mobiliser différentes capacités en réception (Beacco, 2007, p.173) comme stocker en mémoire à court terme ce qu'il.elle entend à l'oral ou rechercher des indices de différentes natures (textuels, contextuels, paraverbaux...). Des aptitudes à anticiper ce qui va être lu ou écouté par l'élaboration d'hypothèses fondées sur des éléments de connaissances sur la langue, sur la situation contribue à rendre actif.ve l'élève. Ses représentations sur l'activité de réception, ses connaissances, sa culture générale et ses expériences influencent son savoir-faire (*ibid.*, p.174).

Cela implique d'évaluer l'opacité du discours et la densité du contenu (Gajo, 2009 ; cf. chapitre I.2.2) pour sélectionner les supports de la séquence. Bailly et al. (2008, p.202) évoquent « le degré de

« perméabilité » des élèves à la teneur du document, et donc leur faculté d'accès au sens [...] ». La contextualisation des informations dans les médias peut aider l'élève à les transformer en connaissances :

« Contextual teaching presents information in familiar contexts and in contexts in which the information is useful. It is effective because it takes advantage of the fact that learning occurs best when learners process new information or knowledge in such a way that it makes sense to them in their own frames of reference.» (Harwell, 2013, p.5)

Les médias à présenter à l'élève devraient tenir compte du degré de familiarité de l'élève avec les contenus véhiculés en L2 et contextualisés. L'élaboration du milieu contribue à la formulation de l'enquête pour que l'élève extraie les informations utiles à sa résolution. La mise en relation des informations issues des différents médias peut faire partie de la stratégie de résolution de l'élève. D'un point de vue de la langue cible L2, les médias choisis sont dans la mesure du possible « authentiques », « c'est-à-dire produits dans un but communicatif et non pour l'enseignement de la langue » (Conseil de l'Europe, 2001, p.112). D'un point de vue des contenus disciplinaires, les médias présentent des caractéristiques spécifiques à la littéracie scientifique²⁹ et au traitement du //réchauffement climatique// : cet aspect ainsi que l'analyse des médias lors de leur sélection est réalisée dans les chapitre IV et V, dans la perspective de la dialectique média-milieu. Pour la séquence, le milieu est présenté à l'élève à l'aide d'activité documentaire (AD) ou expérimentale (AE) sous forme d'un polycopié : les médias y sont intégrés sous forme de supports écrits (textes, images ...) ou audiovisuels (vidéos visionnées). Un contexte introduit l'activité et la problématise par formulation d'un objectif précis et/ou d'une question. La L1 et la L2 peuvent coexister dans le milieu en fonction des objectifs visés.

II.3.3. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence : activité scientifique, activité langagière

Le fait d'envisager un enseignement-apprentissage de contenus de physique-chimie dans une approche bilingue qui met en jeu la dialectique média-milieu questionne sur la notion de tâche en didactique des langues dont une définition est :

²⁹ « Les connaissances scientifiques de l'individu et sa capacité d'utiliser ces connaissances pour identifier les questions auxquelles la science peut apporter une réponse, pour acquérir de nouvelles connaissances, pour expliquer des phénomènes scientifiques et pour tirer des conclusions fondées sur des faits à propos de questions à caractère scientifique ; la compréhension des éléments caractéristiques de la science en tant que forme de recherche et de connaissance humaine ; la conscience du rôle de la science et de la technologie dans la constitution de notre environnement matériel, intellectuel et culturel ; et enfin, la volonté de s'engager en qualité de citoyen réfléchi sur des problèmes à caractère scientifique et touchant à des notions relatives à la science.» (OCDE, 2012, cité en ligne : <https://www.cnesco.fr/fr/comparaison-pisa-timss/presentation-des-enquetes/>).

« une activité authentique (qui fait sens pour l'apprenant) à réaliser individuellement, en binôme ou en petit groupe en vue d'une production, le résultat de la tâche, qui permettra de mesurer dans quelle mesure il y a eu apprentissage » (Narcy-Combes, 2006, p.55).

Skehan (1998, p.270) propose trois critères majeurs pour identifier une tâche : le sens donné à la tâche est primordial, l'objectif visé par la tâche doit être clair, la tâche est reliée à la « vie réelle ». La tâche peut conduire à une production de l'apprenant.e, production qui ne se limite pas au cadre de l'institution mais qui pourrait avoir lieu dans la réalité (Ellis, 2003, p.10, « real world processes of language use »). Cette approche de la tâche en langue semble envisageable à mettre en œuvre en cours de physique-chimie bien que limitée parce que produire en langue anglaise dans une situation authentique n'est pas un objectif premier. En revanche, la notion de « information-gap task » (*ibid.*, p.86, p.102, p.214) où l'apprenant.e réalise une tâche pour combler un déficit d'information peut être convoquée dans le cas de l'exploitation des médias pour la séquence, à titre individuel, car dans un cours de langue vivante cette tâche tire son intérêt dans l'interaction entre apprenant.e.s qu'elle induit alors que dans le cas envisagé d'un cours standard de physique-chimie, l'interaction aurait plutôt lieu entre l'élève et le milieu. Comment construire une praxéologie disciplinaire de référence où les contenus de physique-chimie et la L2 sont pris en compte, praxéologie qui pourrait être qualifiée de praxéologie intégrée disciplinaire de référence ?

Dans le MER construit, l'approche conceptuelle proposée passe par une activité de l'élève particulière lorsque l'élève s'appuie sur le milieu de l'enquête pour répondre à une problématique qui met en relation la dimension du //réchauffement climatique// et les concepts intégrateurs au programme, éventuellement à travers d'autres questions intermédiaires. La L2 utilisée dans les médias présents dans le milieu nécessite une stratégie d'activité de réception propre à l'usage de la langue cible par l'élève. Ainsi, un type de tâche au sens de la TAD qui met en jeu cette dialectique média-milieu est « expliquer un fait de physique par un texte à l'écrit ou à l'oral ». Une praxéologie de référence prend forme :

Type de tâche	Expliquer un fait de physique par un texte à l'écrit ou à l'oral (le fait de physique dépend de l'activité documentaire ou expérimentale concernée) en français.
Technique	Reconnaître des indices et faire des déductions (extraire et exploiter des informations). Faire des analogies (activité scientifique de chercheur.e.s / activité scientifique d'élèves).
Technologie	Discours en français et/ou en anglais, constitué des termes français et/ou anglais nécessaires pour exprimer les concepts intégrateurs et/ou la dimension du //rc// présents dans les médias.
Théorie	Discours qui relève des connaissances antérieures à mobiliser, relatives à la physique-chimie et/ou à la L2.

Tableau 5. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence issue du modèle épistémologique de référence

L'approche intégrée est présente dans les deux blocs de la praxéologie : littéracie scientifique en physique-chimie et activité langagière, au sens du CECR, relèvent d'une approche conceptuelle et d'une approche bilingue. Elles mettent en jeu des habiletés à comprendre un texte, dont la définition suivante est retenue :

« Comprendre un texte passe par deux opérations que sont la segmentation et la recontextualisation des unités segmentées. Lors de la segmentation le lecteur doit reconnaître et identifier les unités appelées segments » (Neisser, 1967, p.183-189, cité par Duval, 1995, p.326).

Segmenter le texte peut être appréhendé comme segmentation cognitive dans le cas où des unités d'informations dans le texte sont identifiées par la mobilisation de contenus cognitifs, pour répondre à une question par exemple (Duval, 1995, p.340). Lorsque la segmentation du texte est réalisée sans recours à un contenu cognitif particulier, elle est qualifiée de propositionnelle et les segments du texte sont proches de ses éléments. La segmentation fonctionnelle s'appuie sur la structure et l'organisation du texte. Pour comprendre le texte, l'élève doit recontextualiser les segments, en s'appuyant sur ses connaissances ; ce traitement de connaissances est indépendant de la rédaction du texte en explicite. La recontextualisation cognitive est primordiale pour comprendre le texte :

« Depuis Schank (1972) le contenu cognitif d'un texte est généralement défini comme l'ensemble des connaissances qui sont nécessaires à une compréhension maîtrisée du thème traité, indépendamment de ce que le texte en mobilise ou en présente. Autrement dit le contenu cognitif est défini en référence aux connaissances dont un expert dispose sur le thème traité. » (Duval, 1995, p.333)

Quant à la recontextualisation rédactionnelle, elle permet de mettre en évidence toute relation entre les segments du texte. Elle est propre au texte, dépendante du texte et indépendante de son contenu cognitif. L'acquisition des processus de segmentation et de recontextualisation permet de développer des représentations mentales³⁰. Duval (1995, p.356) propose de recourir à plusieurs systèmes de représentations sémiotiques ou « registres sémiotiques » dont la diversité joue un rôle important du point de vue de la conceptualisation. Il les définit ainsi :

« Les représentations sémiotiques sont des représentations dont la production ne peut se faire sans la mobilisation d'un système sémiotique : ainsi les représentations peuvent être des productions discursives (en langue naturelle, en langue formelle) ou non discursives (figures, graphiques, schémas...). »

L'auteur met en évidence deux difficultés, la conversion de représentation et la coordination de registres (*ibid.*, p.60-61). En général, la conversion permet un traitement plus aisé et plus économique

³⁰ Duval, 1995, p.27 : « Les représentations mentales sont toutes celles qui permettent une visée d'objets en l'absence de tout signifiant perceptible. »

de l'information car le traitement au sein d'un même registre ne suffit pas pour appréhender les concepts. Passer d'un registre à l'autre peut aider à la conceptualisation si les registres peuvent être coordonnés, c'est-à-dire mis en relation en termes d'unités signifiantes. Le rapport entre l'activité sémiotique et l'activité conceptuelle doit s'acquérir par un apprentissage spécifique. La praxéologie de référence proposée dans le MER est construite sur ces processus de traitement des informations présentes dans les médias. D'où la variété des supports déjà évoquée dans le MER. Les élèves élaborent des connaissances à partir de médias présents dans le milieu et réalisent un type de tâche. De quoi l'élève a-t-il.elle besoin pour y parvenir ? Le recours à des connaissances antérieures en physique-chimie et en L2 est nécessaire. La praxéologie de référence repose alors sur le fait que l'élève n'est pas obligé.e de comprendre tout le contenu d'un média pour parvenir à résoudre l'enquête du milieu.

L'explication et l'analogie sont deux entités caractéristiques de cette praxéologie. Elles contribuent également à la mise en œuvre de l'approche intégrée. Pour Duval (1995, p.234) :

« Expliquer un phénomène c'est le situer dans le système où il se produit et dont il relève [...] L'explication utilise donc une forme de description dans le sens où des informations sont fournies pour pouvoir créer une représentation mentale du phénomène qui est par la suite expliqué. »

L'explication conduit à un « énoncé-cible (celui qui exprime le phénomène à expliquer) » (*ibid.*, p.233). Elle met en jeu différents phénomènes dont les relations de causalité sont décrites. Des marqueurs du discours pour exprimer la causalité sont utilisés. L'explication présente une expansion discursive spécifique car d'autres énoncés que l'énoncé-cible peuvent être convoqués pour lui « donner une « raison » » (*ibid.*). Le cadre théorique utilisé par Ogborn et al. (1996) sur l'explication en sciences dans un contexte d'enseignement-apprentissage en classe, repose sur son aspect langagier. Il est développé selon trois axes : l'explication analogue à une histoire, l'explication qui permet de donner du sens et la variété de styles explicatifs. Une des difficultés liées à l'explication pour des élèves est leur manque de connaissances des « entités » qui constituent l'explication. Autrement dit, les élèves ont besoin de mobiliser les concepts nécessaires à la construction de l'énoncé-cible. Et comme le soulignent les auteurs, les termes employés en sciences ne sont pas toujours familiers aux élèves : *“Scientific explanations are often in terms of unfamiliar entities doing unfamiliar things, and the student is a stranger in an unknown world.”* (Ogborn et al., 1996, p.13).

Le recours à l'analogie dans la praxéologie de référence est justifié par l'approche conceptuelle visée : « Face à une expérience nouvelle, nous faisons des analogies entre ce que nous percevons dans l'instant et les concepts que nous possédons déjà. » (Sander, 2013, p.75). L'appropriation d'un savoir se distingue de son extériorisation (*ibid.*, p.76) : une mise en relation est nécessaire entre les structures

mentales d'un individu et le monde extérieur à cet individu. L'analogie apparaît alors comme le moyen de mettre en relation ces deux éléments : elle permet de développer des concepts.

Dans une perspective constructiviste (Duit et Treagust, 1998), le MER est élaboré à partir de considérations sur l'investigation scientifique, pour que soient proposées à l'élève des activités où il.elle devrait pouvoir mobiliser le « savoir enseigné » en tant que connaissances nouvelles issues de la transformation des informations présentes dans les médias : le MER prend en compte le rôle de la dialectique écologique média-milieu et la praxéologie intégrée disciplinaire de référence pour susciter un engagement chez l'élève qui a recourt à une investigation et résout l'enquête initiée par le milieu. Le MER contient les trois types d'investigation mis en évidence par Crawford (2014),

“(1) scientific inquiry (the various ways in which scientists study the natural world); (2) inquiry learning (a process by which children acquire knowledge of science concepts and learn about nature of science) and (3) inquiry teaching (broadly defined as the pedagogy by which teachers engage students in inquiry.”

En particulier, lors des activités expérimentales de la séquence envisagée, l'élève mène une investigation pour répondre à un questionnement (“*inquiry learning*”, “*inquiry teaching*”), par analogie à l'activité investigatrice de chercheur.e.s (“*scientific inquiry*”). L'activité à caractère expérimental est contextualisée par une situation problème, qui conduit les élèves à raisonner par analogie (Kind et Osborne, 2017). Une situation problème consiste à choisir une « situation initiale avec un but à atteindre, demandant à un sujet d'élaborer une suite d'actions... » (Dorier, 2012, p.64). Le raisonnement par analogie est alors introduit dans l'investigation pour que l'élève mette en correspondance des concepts intégrateurs au programme pour le fil rouge « réchauffement climatique » avec des critères du //rc//. Dupin et Johsua (1994, p.10) décrivent en quoi il consiste :

« Le raisonnement analogique apparaît quand, pour résoudre un problème donné, un sujet se réfère à un autre problème qu'il connaît mieux (Hashweh, 1986). Il y a mise en relation d'un domaine-cible (le problème nouveau posé) et d'un domaine de référence (Kircher, 1977 ; Cauzinille-Marmèche et al., 1985). La mise en correspondance n'est possible que si les deux domaines présentent des ressemblances (entre systèmes, grandeurs, propriétés...) que le sujet est capable de mettre à jour. Si le sujet reconnaît une structure commune aux deux domaines, il pourra utiliser un raisonnement analogique en appliquant au domaine-cible certaines propriétés ou relations du domaine de référence. »

Le recours au raisonnement analogique est présenté comme une forme d'investigation par Marlot et Morge (2016, p.74) :

« [...] l'investigation par analogie consiste à interroger à partir d'un domaine source bien connu un domaine cible moins connu en cherchant si les relations entre grandeur du domaine source sont de même nature que les relations entre grandeur dans le domaine cible. L'analogie permet d'établir dans le domaine cible un

ensemble d'hypothèses et de prévisions soumis à validation, ce qui correspond bien à une forme particulière d'investigation. »

L'idée de domaine source (ou de référence) et cible est associée à celle d'habitat : l'investigation par analogie permet de faire vivre l'objet de savoir lié au //rc// à travers l'investigation scientifique (chercheur.e.s, sciences climatiques) et à travers l'investigation « apprenante » (élèves de terminale scientifique, cours standard de physique-chimie intégré). « Grandeurs, relations entre grandeurs, phénomènes, objets » (*ibid.*, p.75) font partie des domaines source et cible et entrent en jeu dans la séquence pour conceptualiser le //réchauffement climatique//. L'idée d'une praxéologie fondée sur l'expérimental, l'investigation, le mesurage et le traitement de données, évoquée dans la première étape de construction du MER a donc sa place dans la praxéologie de référence.

En l'état actuel, le MER conduit à une ébauche d'organisation des activités documentaires (AD) et expérimentales (AE) au cours de la séquence, à partir du travail préliminaire mené au II.3.1. Des aspects du savoir à enseigner sont mis en relation avec des éléments du savoir enseigné :

Savoir à enseigner (repérés, MENJVA, 2011)	Savoir enseigné (élaborés avec le MER)
Rayonnement dans l'Univers. Absorption de rayonnements par l'atmosphère. Détecteurs [...] Extraire et exploiter des informations sur l'absorption de rayonnements par l'atmosphère terrestre et ses conséquences sur l'observation des sources de rayonnements dans l'Univers. Connaître des sources de rayonnement radio, infrarouge et ultraviolet.	Activité documentaire (AD1) : Rôle de l'atmosphère, interaction avec un rayonnement électromagnétique. Activité documentaire (AD2) : Relation température d'un corps et émission de rayonnement par ce corps.
Extraire et exploiter des informations sur : - des sources d'ondes et de particules et leurs utilisations ; - un dispositif de détection. <i>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en œuvre un capteur ou un dispositif de détection.</i>	Activité expérimentale (AE1) : Investigation par analogie (télé-détection par satellite).
<i>Mettre en œuvre un protocole expérimental pour caractériser une espèce colorée.</i> Exploiter des spectres UV-visible.	Activité expérimentale (AE2) : Investigation par analogie (étude du dioxyde de carbone atmosphérique).
Transferts d'énergie. Connaître et exploiter la relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé.	Activité expérimentale (AE3) : Investigation par analogie (flux et bilans radiatifs).

Tableau 6. Esquisse de la séquence à partir du travail préliminaire mené au II.3.1 (tableau 4)

Synthèse II.3. Construction du MER (2/3) : passages entre savoir à enseigner et savoir enseigné

Cette deuxième étape de construction du modèle épistémologique de référence circonscrit le savoir à enseigner à travers les concepts intégrateurs : les notions et contenus au « programme

d'enseignement spécifique de physique-chimie pour la classe de terminale scientifique » (MENJVA, 2011) sont sélectionnés en fonction des déterminants (dimension, direction, constitution) du concept de //réchauffement climatique// précédemment définis dans le MER. La dialectique média-milieu est prise en compte dans la praxéologie intégrée disciplinaire de référence dont le type de tâche est « expliquer un fait de physique à l'écrit ou à l'oral ». En effet, l'approche bilingue et l'approche conceptuelle sont mises en œuvre lors de l'exploitation des médias en L2 : la stratégie d'activité de réception proposée dans le CECR à un niveau B1 et le recours à l'analogie, en particulier à l'investigation par analogie, font appel à des connaissances en langue cible et en physique-chimie ainsi qu'à des habiletés qui relèvent plus globalement de la littéracie scientifique.

La praxéologie intégrée disciplinaire de référence est un précurseur fondamental à l'élaboration de la séquence. Elle vise à évaluer l'impact de l'intégration de la langue anglaise sur l'appropriation des savoirs de physique-chimie par l'élève de terminale scientifique : quelle forme prend cette praxéologie de référence au cours de l'activité les élèves en classe sachant que la transposition didactique du savoir enseigné au savoir disponible relève principalement de ce qui va être réalisé en classe par l'enseignant complice et les élèves ? La dernière étape de construction du MER reprend ce questionnement et permet de formuler la question et l'hypothèse de recherche, de détailler le type de travail collaboratif et les axes méthodologiques envisagés en particulier pour identifier les praxéologies intégrées disciplinaires « scolaires » et les comparer avec la praxéologie de référence.

II.4. Construction du MER (3/3) : passages entre savoir enseigné et savoir disponible

II.4.1. Savoir disponible : question de recherche et hypothèse

Toute la réflexion menée jusqu'à présent, y compris au sein du premier chapitre, donne forme à l'envie initiale d'élaborer et de tester une séquence de physique-chimie en français et en anglais où une approche bilingue est combinée avec une approche conceptuelle du réchauffement climatique. La construction en l'état du MER permet de poser la question de recherche (QR) et de formuler l'hypothèse de recherche (HR) :

QR - Comment intégrer la langue anglaise dans un cours de physique-chimie qui vise des savoirs sur les mécanismes physiques du réchauffement climatique ?

HR - Si l'anglais est intégré à des activités documentaires et expérimentales proposées à l'élève où des supports d'informations sont exploités pour en extraire des contenus pertinents d'un point de vue de l'investigation à mener, alors la production de l'élève pour expliquer un fait de physique sera construite

à partir de stratégies de repérage, d'inférence et d'analogie où les deux langues jouent un rôle (reformulation) dans la mobilisation des concepts de physique-chimie visés.

La question de recherche se réfère à l'étude de l'impact de l'intégration de la langue anglaise sur l'appropriation des savoirs disciplinaires de l'élève. Le terme appropriation signifie que l'élève fait sien le savoir enseigné et qu'une décontextualisation-recontextualisation de ce savoir est à sa portée : l'usage du savoir est adapté à la situation³¹. C'est au cours du passage du savoir enseigné au savoir disponible que le processus d'appropriation du savoir peut avoir lieu : concevoir la transposition didactique comme un processus de transformation du savoir savant jusqu'au savoir disponible amène à questionner le rapport personnel de l'élève à l'objet de savoir dans une institution donnée. Le savoir disponible chez l'élève est considéré comme le savoir « approprié » : le terme de connaissance qualifie aussi ce savoir disponible, que l'élève « a appris » (Chevallard et Bosch, 2014). L'hypothèse de recherche est bâtie sur les éléments fondateurs du MER que sont la définition du concept //réchauffement climatique// et l'écologie didactique, la dialectique média-milieu, la praxéologie intégrée disciplinaire de référence. Elle induit la mise en œuvre de compétences spécifiques chez l'élève qui relèvent d'un contexte d'enseignement bilingue disciplinaire : anticiper la difficulté d'appropriation des contenus scientifiques à travers la langue anglaise consiste par exemple à prévoir de former l'élève à développer les stratégies adéquates. Bueno Hernández (2012) montre que le rôle de l'enseignant.e est primordial pour aider l'élève à mettre en place des stratégies dans un tel contexte. L'autrice identifie trois types de stratégie (métacognitive, cognitive, sociale/affective) qui peuvent s'influencer. Dans le cas d'un apprentissage de contenus disciplinaires scientifiques en L2, la stratégie cognitive est l'objet de réflexion : le traitement de l'information est lié aux opérations mentales propres à chacun.e, à la manière dont chaque élève va mettre en réseau les nouvelles et les anciennes connaissances. L'enseignant.e peut accompagner l'élève à rendre ce traitement efficace. Pour la séquence envisagée, l'enseignant peut contribuer au développement des stratégies de repérage d'indices, d'inférence et d'analogie si l'élève ne parvient pas à les initier. Dans quelle mesure l'enseignant complice a-t-il conscience de son rôle de « médiateur du savoir »³² ?

Ce questionnement enrichit le MER par l'aspect collaboratif de la recherche menée. Les enseignant.e.s ne sont pas des « transducteur.trice.s passif.ve.s » de séquences proposées : pour permettre une

³¹ La définition d'appropriation en ligne (<https://www.cnrtl.fr/definition/appropriation>) est proposée selon deux idées : celle d'adaptation et celle de propriété.

³² Altet et al. (2013) : L'enseignant.e assure un guidage pédagogique (organisation des conditions et des situations d'apprentissage), didactique (construction des savoirs), cognitif (gestion de l'apprentissage).

meilleure acceptabilité d'une séquence d'enseignement-apprentissage par les enseignant.e.s, il est nécessaire de les consulter en amont (Colin, 1999).

II.4.2. Recherche-action

L'enseignant complice est l'acteur principal de la transposition didactique entre le savoir à enseigner et le savoir enseigné même si une réflexion commune et un travail collaboratif devrait influencer sa manière de concevoir et de mettre en œuvre son enseignement. La recherche menée est qualifiée de recherche-action selon la définition de Montagne-Macaire (2007, p.4) :

« une recherche-action en didactique des langues est une intervention sur un dispositif d'enseignement/apprentissage ou de formation/accompagnement effectuée par un individu ou par un groupe, accompagné par un ou plusieurs chercheurs, menée de manière collaborative, et dont le changement constitue l'un des axes majeurs. Enfin une recherche-action s'inscrit dans le temps et dure rarement plus de trois ans, eu égard au fait qu'elle sollicite fortement les enseignants en dehors de leurs pratiques. »

L'esquisse de la séquence et ses fondements sont soumis à l'enseignant complice qui participe à l'expérimentation dans le cadre d'une recherche-action collaborative (Lefrançois, 1997 ; Montagne-Macaire, 2007). L'idée de co-construction de séquence vient d'un double objectif : celui d'une bonne appropriation de la séquence au sein du projet de recherche par l'enseignant et celui de mener une recherche ancrée sur le terrain. Comment proposer à l'enseignant complice une séquence qui repose sur une approche bilingue et conceptuelle pour explorer ce qui est possible en classe ? Cette question intégrée au MER est traitée aux chapitres III et IV où la démarche collaborative et de co-construction est décrite. Elle suppose³³ que si l'enseignant part de ses pratiques et de son expérience professionnelle en tant que professeur de physique- chimie et de discipline non linguistique (physique-chimie en anglais) et s'il se nourrit des considérations didactiques sur l'approche conceptuelle et bilingue des mécanismes du réchauffement climatique, alors il assurera une transposition didactique proche de celle définie dans le MER et contribuera à l'analyse des séances d'un point de vue de son activité enseignante et de celle des élèves. En effet, la séquence effective, mise en œuvre par un.e enseignant.e est toujours différente de celle conçue dans le cadre d'une recherche : les intentions pédagogiques et didactiques du.de la chercheur.e ne sont pas forcément perçues, comprises par l'enseignant.e qui réalise la séquence initiale (Hirn, 1998). En particulier, les conceptions erronées des enseignant.e.s à propos de l'effet de serre et du changement climatique conduit inévitablement à un enseignement qui véhicule des idées fausses sur le sujet : « It is not only students but also teachers

³³ L'hypothèse formulée au sujet de la pratique de l'enseignant est « développée » dans les chapitres III.3 et IV.

who have misconceptions and misunderstandings about climate warming and they probably pass their own ideas on to pupils. » (Papadimitriou, 2004, p.5). Les recherches menées par Boon (2010, 2014) auprès d'enseignant.e.s en formation dans le primaire et le secondaire rappellent qu'il est nécessaire de proposer des programmes de développement professionnel autour du changement climatique. Une mise en évidence de leurs conceptions initiales sur l'effet de serre et le réchauffement climatique révèle que plus de 70 % ne connaissent pas bien le fonctionnement de l'effet de serre. En revanche la même proportion sait que le changement climatique est causé par les émissions anthropiques des gaz à effet de serre et notamment du gaz carbonique :

“Climate change science must be incorporated into pre-service teacher training if the science is to be accurately and appropriately communicated to school children and adolescents. In addition, there may be a need for climate change science to be communicated to existing primary and secondary teachers through professional development programs.” (Boon, 2014, p.1009)

Dans le cadre de cette recherche-action, l'esquisse de la séquence évolue vers une séquence que l'enseignant complice met en œuvre. La transformation du savoir à enseigner en savoir enseigné a lieu *in situ* lorsque des décisions sont prises spontanément par l'enseignant qui réagit en fonction de la situation d'enseignement. L'aspect collaboratif de la recherche-action doit pouvoir créer un espace d'échanges autour des intentions pédagogiques et didactiques qui pilotent la séquence selon les enjeux de la recherche menée. L'enseignant complice dispose de sa liberté pédagogique et décisionnelle : ce que font les élèves est lié à ce qu'il leur propose³⁴. Par conséquent introduire la recherche-action collaborative dans le MER permet de lui apporter des éléments de formation professionnelle (Desgagné, 1998) et de traiter la question de la pratique enseignante : comment l'enseignant complice aborde-t-il le savoir enseigné relatif aux mécanismes du réchauffement climatique lorsque les élèves ont à utiliser les supports d'informations en anglais ? Envisager des modules de co-construction de la séquence avec l'enseignant complice pour mener la démarche de recherche et tester l'hypothèse émise au II.4.1 s'oppose au stéréotype suivant lequel le.la chercheur.e pense et l'enseignant.e agit et rejoint l'idée de la négociation qui peut avoir lieu après qu'une unité d'enseignement ait été mise en œuvre (Sensevy et al., 2013). Comme l'enseignement du réchauffement climatique n'est pas explicité dans les programmes mais est envisagé comme une « structure didactique » (Lijnse, 1994) élaborée avec le MER, le travail collaboratif organisé sur la durée en modules de co-construction où la négociation peut prendre place semble être une piste effective de développement professionnel visé par la recherche-action. Celle-ci permet la « transposition

³⁴ « L'activité mathématique des élèves en classe est largement déterminée par l'organisation qu'en fait l'enseignant » (Perrin-Glorian et Robert, 2005, p.96)

didactique en acte » (Tavignot, 1991, p.54-57) par l'enseignant complice qui se nourrit des interactions lors de la co-construction de la séquence : si les notions et faits de physique (savoir enseigné) à aborder par une approche bilingue sont identifiés et mis en relation avec les supports exploités par les élèves lors des échanges coopératifs alors l'enseignant complice pourra clarifier ses intentions pédagogiques et didactiques, étayer son discours en classe et l'adapter à partir de ce que font et produisent les élèves *in situ*.

De plus la collaboration avec l'enseignant complice permet de produire des données sur le terrain. Des contraintes externes et internes (Vasseur, 2007, p.29) doivent être anticipées. Les premières concernent la déontologie : l'accueil de la chercheuse dans l'établissement, dans la classe nécessite la prise en compte des règles et usages à l'intérieur de ces institutions. La communication du travail de recherche auprès du personnel, des élèves, de leurs familles est indispensable au recueil des autorisations pour le droit à l'image, à la récupération des productions des élèves... Les secondes correspondent aux représentations que chercheuse, enseignant complice, élèves se font les un.e.s des autres sur leur rôle, leur compétences, leurs attentes... La recherche-action collaborative envisagée concerne un ensemble d'acteur.trice.s qui rend possible sa réalisation et l'enrichit. C'est pourquoi les contraintes externes et internes font l'objet d'échanges avec l'enseignant complice au cours du processus de collaboration et en particulier, lors des modules de co-construction.

Quelques contours ont été dessinés pour le rôle attribué à l'enseignant complice dans cette recherche centrée sur l'activité des élèves. Comment évaluer ce que font les élèves par rapport à ce qui est attendu, en termes de praxéologie intégrée disciplinaire de référence ?

II.4.3. Praxéologie intégrée disciplinaire scolaire

Accéder au savoir disponible équivaut dans cette recherche à identifier les praxéologies intégrées disciplinaires scolaires, celles qui sont effectivement mises en œuvre par les élèves en cours de physique-chimie. La troisième étape de construction du MER présente les pistes pour évaluer l'appropriation des savoirs disciplinaires par les élèves à partir de l'utilisation de médias en anglais. Pour s'assurer que le type de tâche de la praxéologie de référence fasse partie de l'activité de l'élève, les énoncés des activités documentaires et expérimentales contiennent consignes et questions en lien avec l'explication de faits de physiques. La technique de la praxéologie de référence est aussi décelable à travers les différentes tâches des élèves qui réalisent les consignes et répondent aux questions à l'écrit : un espace est prévu sur le photocopie pour que l'élève relève les mots et expressions clés (porteurs de sens et utiles aux inférences pour accéder à une bonne compréhension du média) et l'enseignant complice peut rappeler la stratégie à adopter en début de phase de travail ; la nature de la consigne ou de la question peut conduire à un raisonnement par analogie ; elle peut aussi exiger de

l'élève une reformulation, en français, d'une information ciblée dans les médias en anglais. La production de l'élève est un révélateur de la mise en œuvre de la technologie et de la théorie de la praxéologie de référence : en fonction des contenus disciplinaires et de l'objectif de l'activité à réaliser (AD ou AE), celles-ci sont préalablement définies.

Par conséquent, les productions écrites des élèves constituent le corpus principal pour caractériser les praxéologies intégrées disciplinaires scolaires mises en œuvre par les élèves à partir de la praxéologie de référence : elles permettent d'estimer le niveau d'appropriation des savoirs disciplinaires de l'élève mobilisés pour le type de tâche visé. L'enjeu majeur de la praxéologie scolaire repose sur le passage de l'activité de réception en L2 (dialectique média-milieu, écologie de l'objet de savoir, type de tâche et technique) à l'activité de production en L1 qui implique un processus de traduction ou de reformulation à travers lequel la technologie et la théorie employées sont un bon indicateur du niveau d'appropriation des savoirs en jeu. Comment préciser technologie et théorie de la praxéologie de référence pour en faire un bon indicateur ? L'élément de réponse est à chercher dans la description du processus de reformulation et de traduction.

Le terme de reformulation est privilégié par rapport à celui de traduction car certains critères propres au fait de traduire ne sont pas retenus pour la séquence envisagée, comme par exemple, celui de fidélité où la dimension stylistique de la langue source et cible est prise en compte, même si les « critères de fidélité varient selon la stratégie de traduction adoptée (libre, littérale) et selon le domaine traité, les genres et la fonction des textes. » (Deslile, 1993, p.32, cité par Percebois, 2004, p.4). Lors de la séquence, l'élève reformule d'abord pour « lui-même », ce qui lui permet de s'affranchir des préoccupations liées à l'élaboration d'un texte qui serait lu par un public particulier et répondrait à tous les critères de traduction. Pour autant, le processus de reformulation s'appuie sur des étapes analogues à la traduction. En premier lieu, la compréhension du message source passe par un décodage pour construire le texte d'arrivée. Certaines difficultés liées à la traduction tel que le décodage du style ou du registre de langue, sont évincées lors de la reformulation. L'important est d'identifier, lors du décodage, le domaine dont il est question. En effet, l'utilisation de connaissances propres au domaine abordé permet de reconstruire le message dans la langue d'arrivée. Le critère de crédibilité relatif à la traduction est retenu pour évaluer la qualité de la reformulation : « [...] se forme une image mentale que le traducteur doit exprimer dans la langue-cible ; il doit « retrouver le vouloir dire de l'auteur. » (Seleskovitch, 2001, p. 22, cité par Percebois, 2004, p.5). Cela implique que les médias choisis n'induisent pas de contestation ni de critique de la part de l'élève ; ils sont en quelque sorte « labellisés » comme source fiable d'accès à la connaissance. Autrement dit, l'élève ne devrait pas remettre en question le contenu des médias. La deuxième étape consiste à identifier le contexte. Discriminer les unités de textes, unités sémantiques pour trouver leur équivalent dans la langue

d'arrivée dépend du thème, du domaine abordé. Par exemple, le terme anglais « *balance* » d'une unité de texte peut se traduire par équilibre ou solde ; il ne prend pas le même sens selon l'expression utilisée « *energy balance* », « bilan d'énergie » en sciences, « *white balance* » (balance des blancs en acoustique), « *trade balance* » (balance commerciale en économie). Cette identification de contexte est à prendre en compte pour lever l'ambiguïté sur le sens d'un mot dans le cas de polysémie ou de faux-amis (cf. chapitre I.3.4.). Ce qui a été intégré dans le MER construit entre savoir à enseigner et enseigné en termes de contexte présent dans le milieu l'est aussi ici entre savoir enseigné et disponible : l'élève doit prendre en charge médias et milieu pour mettre en œuvre la praxéologie attendue. La troisième étape mise en œuvre par une traducteur.trice est la documentation. Elle est absente lors de la reformulation mais est à rapprocher de la mobilisation de connaissances « antérieures » pour que les contenus du texte d'arrivée soient fidèles et crédibles par rapport à ceux du texte de départ.

Ainsi, ce qui semble pertinent pour évaluer le niveau d'appropriation de savoirs de physique-chimie grâce au processus de reformulation est l'opération de « transcodage », « [qui consiste à] établir des correspondances entre deux langues, soit au niveau du lexique soit au niveau de la phrase isolée » (Delisle, 1993, p.48, cité par Percebois, 2004, p.7). En effet, lors du transcodage, le texte source est segmenté en unités de traduction³⁵ et les équivalents pour produire le texte cible tiennent compte des caractères idiomatique et authentique de la langue (L1 et L2). Dans le cas de la reformulation qui est demandée aux élèves dans la séquence construite, la rencontre d'une expression idiomatique (idiotisme) en L2, c'est-à-dire d'une « expression propre à une langue et qui n'est pas traduisible littéralement dans une autre langue » (Delisle, 1993, p.33, *ibid.*, p.8), crée une difficulté qui peut être surmontée par la mobilisation de savoirs disciplinaires en L1 : l'élève doit s'appuyer sur ses connaissances pour formuler correctement l'équivalent linguistique en L1. La manière d'exprimer les concepts intégrateurs et le concept de //réchauffement climatique// après cette opération de transcodage constitue un indicateur du niveau d'appropriation des savoirs disciplinaires visés. En l'occurrence, la technologie attendue doit prendre en compte la combinabilité des mots (Clas, 1994, p.576, cité par Percebois, 2004, p.9)³⁶. Le transcodage conduira-t-il l'élève à repérer les collocations spécifiques en L2 et à mobiliser leurs équivalents en langue française, dans le domaine de spécialité qu'est la physique-chimie ? Le chapitre I.4 a présenté les caractéristiques de l'anglais scientifique ; c'est à travers la comparaison des praxéologies de référence et scolaire que les caractéristiques du français

³⁵ (Ballard, 2003, p.73-76 « c'est par rapport à la reformulation, autour de l'équivalence, que se construit l'UT [Unité de Traduction] »).

³⁶ « aptitude qu'ont les mots à se joindre à d'autres » (*ibid.*)

scientifique, en physique-chimie, autour du //rc//, apparaissent comme nécessaires à l'évaluation de l'impact de l'anglais sur l'appropriation des savoirs disciplinaires.

Même si le paragraphe II.2.2 établit les équivalences possibles entre anglais et français spécifiques pour le //rc//, il faut « savoir utiliser le bon terme au bon moment » et donc apprendre à « se familiariser avec un vocabulaire souvent complexe puisque technique et précis » (Schmidt-König, 2019, p.5). Le savoir disponible est alors identifiable à travers la familiarité de l'élève pour la terminologie spécifique d'un concept intégrateur ou de la dimension du //rc//, familiarité qui se concrétise par le choix du terme approprié pour une reformulation donnée. La connaissance des collocations caractéristiques de l'anglais scientifique (cf. chapitre I.3.3) du réchauffement climatique et leur transcodage en français doivent permettre à l'élève de développer ses habiletés en repérage et en reformulation. L'élève devient alors « compétent.e » :

« Une collocation est un syntagme figé, dont les termes entretiennent des relations de compatibilité sémantique privilégiées et dont l'agencement sera reconnu comme naturel ou usité par un locuteur natif ou compétent. » (Ballard, 2003, p.191, cité par Percebois, 2004, p.9)

La mise en place et la qualité du repérage et de la reformulation permettent d'évaluer dans quelle mesure le texte d'arrivée, le reformulé en français, est constitué de syntagme dont les termes sont reliés de manière compatible, pour faire sens. Par exemple, comment le syntagme « *average equilibrium temperature* » sera-t-il reformulé en français dans le contexte du réchauffement climatique ? L'élève doit recourir, lors du processus de reformulation, à des propositions en français (en supposant que la traduction mot à mot est déjà à sa portée) car la langue française étoffe³⁷ le syntagme anglais (cf. chapitre I.4.2.1.) : « une température d'équilibre moyenne », « une température d'équilibre moyen » n'expriment pas la même idée et seule la première formulation est un précurseur à la conceptualisation du //rc//. De même, pour reformuler « *greenhouse gases* », l'élève doit connaître l'expression « gaz à effet de serre » plutôt que « gaz d'effet de serre ».

La praxéologie intégrée disciplinaire de référence contribue à caractériser le niveau d'appropriation des savoirs disciplinaires attendu : l'approche bilingue, par le transcodage-reformulation, conditionne l'évaluation de la conceptualisation du //rc// chez l'élève dans un paysage plus vaste, celui de la littéracie scientifique de l'élève. Les aller-retours entre langue anglaise et langue française générés par

³⁷ Le processus de concentration est inverse à celui d'étoffement : le nombre de mots de la collocation en français est inférieur à celui en anglais. Par exemple, « *remote sensing* » se traduit par télédétection, « *decision makers* » par décideur.euse.s.

la praxéologie de référence que l'élève doit effectuer exigent des connaissances et compétences en langues, en physique-chimie et en sciences de manière générale car :

« Traduire, c'est reformuler un texte dans une autre langue en étant fidèle à son sens et en concevant une forme adaptée à la langue et à la culture du public auquel cette traduction est destinée, en l'occurrence la communauté linguistique des économistes aussi bien que celle des autres usagers de la langue économique, à un moindre degré de scientificité. » (Percebois, 2004, p.13)

La séquence envisagée met donc en jeu la notion d'anglais des sciences (cf. chapitre I.4.3), et pourquoi pas celle de français des sciences, où les savoirs langagiers, disciplinaires, scientifiques, experts sont différents aspects que peut prendre le savoir disponible. L'identification des praxéologies intégrées disciplinaires scolaires permet de tester l'hypothèse de recherche. Elle est corrélée aux différents moments de l'organisation didactique (cf. II.1.3), à l'activité de l'enseignant complice et à la sélection des médias et du milieu. Le MER entre savoirs enseigné et disponible fournit alors des pistes méthodologiques pour concevoir le protocole de recherche et mettre à l'épreuve l'hypothèse de recherche :

MER : praxéologie de référence définie à partir de la question de recherche et de l'hypothèse de recherche	MER et fondements méthodologiques : ce que doit contenir la séquence pour inciter l'élève à mettre en place la praxéologie de référence.	MER et fondements méthodologiques : corpus et traitement de données
Type de tâche Expliquer un fait de physique par un texte à l'écrit ou à l'oral (le fait de physique dépend de l'activité documentaire ou expérimentale).	Elaboration des activités documentaires et expérimentales (AD et AE) dont les consignes et questions sont en lien avec l'explication d'un fait de physique.	Analyse des productions des élèves (AD et AE) pour contrôler la présence de réponse aux questions sur l'explication de fait de physique.
Technique Reconnaître des indices et faire des déductions (extraire et exploiter des informations). Faire des analogies (activité scientifique de chercheur.e.s / activité scientifique de l'élève).	Elaboration des AD et AE dont les consignes et questions permettent le repérage (« vocab space », espace dédié au lexique sur les photocopiés), le raisonnement par analogie, la conversion et le traitement de représentations sémiotiques, la reformulation.	Analyse des productions des élèves (AD et AE) pour identifier la présence des éléments de la technique de référence et les caractériser.

<p>Technologie Discours constitué des termes français et/ou anglais nécessaires pour exprimer les concepts intégrateurs et/ou la dimension du //rc// présents dans les médias.</p>	<p>Sélection des médias selon la spécificité de l'AD ou de l'AE (présence de mots et expression spécifiques, porteurs de sens ; unités sémantiques ; contenus disciplinaires et registres sémiotiques).</p>	<p>Analyse des productions des élèves (AD et AE) pour comparer leur discours à la technologie de référence.</p>
<p>Théorie Discours qui relève des connaissances antérieures à mobiliser, relatives à la physique-chimie et/ou à la L2.</p>	<p>Construction du milieu en lien avec les médias (cohérence des consignes, questions et supports à exploiter) : analyse didactique. Choix de la progressivité de la séquence.</p>	<p>Analyse des productions des élèves (AD et AE) pour comparer leur discours à la théorie de référence.</p>

Tableau 7. Eléments de méthodologie fondée sur le MER pour comparer la praxéologie scolaire à la praxéologie de référence

Synthèse II.4. Construction du MER (3/3) : passages entre savoir enseigné et savoir disponible

La dernière étape de construction du modèle épistémologique de référence développe les notions d'écologie de l'objet de savoir, de dialectique média-milieu et de praxéologie de référence pour envisager la transposition didactique du savoir enseigné au savoir disponible. Elle permet de préciser la question de recherche et l'hypothèse de recherche centrées sur ce que sont capables de produire les élèves en cours de physique-chimie par exploitation de supports en langue anglaise et détaille le choix de collaboration avec l'enseignant complice. Elle est représentée ci-après.

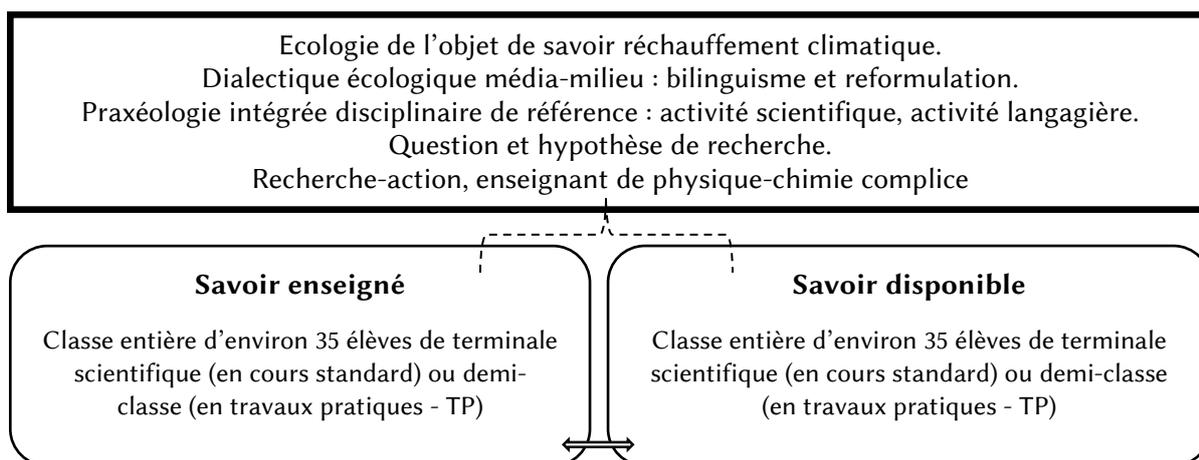


Figure 6. Modèle épistémologique de référence construit pour le passage entre savoir enseigné et disponible.

Synthèse du chapitre II. Fondements de la séquence à co-construire, justifiés à partir de la théorie anthropologique du didactique et du modèle épistémologique de référence

Le chapitre II conduit à l'esquisse de la séquence : elle provient de certains choix, issus du cadre de la théorie anthropologique du didactique (TAD) et qui contribuent à la combinaison de l'approche bilingue et de l'approche conceptuelle dont il est question dans le chapitre I. Le modèle épistémologique de référence (MER) défini en TAD sert d'outil théorique puis méthodologique pour présenter l'essentiel de la démarche de recherche à travers l'exploration du processus de transposition didactique du savoir savant au savoir disponible (II.1). L'objet de savoir qu'est le réchauffement climatique est appréhendé comme un concept qui vit dans différentes institutions et dont les champs d'étude sont variés. L'analyse de contenus, l'analyse épistémologique et l'analyse didactique (II.2) permettent de définir le concept de //réchauffement climatique// à partir duquel la séquence est esquissée, en tenant compte du programme d'enseignement spécifique de physique-chimie pour la classe de terminale scientifique (autrement dit, en privilégiant l'étude des mécanismes physico-chimiques en jeu, en particulier ceux liés au rayonnement). Un examen conjoint de l'expression de ce concept, en langues anglaise et française, conduit à mobiliser les notions en TAD de dialectique média-milieu et de praxéologie disciplinaire de référence (II.3) : expliquer un fait de physique est considéré comme le type de tâche pertinent pour que l'approche intégrée entre bilinguisme et conceptualisation en sciences prenne forme lors de l'activité de l'élève. Des stratégies particulières lors de l'activité de réception en L2 pour traiter les médias (textes, images, graphiques, vidéos ...) et des habiletés liées à la littéracie scientifique sont introduites dans la praxéologie de référence en termes de technique, technologie et théorie. Evaluer la mise en place de cette praxéologie de référence par les élèves, au cours de la séquence, revient à analyser les praxéologies intégrées disciplinaires scolaires à partir de leurs différentes productions lors des activités documentaires et expérimentales en anglais (II.4). C'est l'enjeu du protocole de recherche pour répondre à la question suivante et mettre à l'épreuve l'hypothèse de recherche :

QR - Comment intégrer la langue anglaise dans un cours standard de physique-chimie en terminale scientifique qui vise des savoirs sur les mécanismes physiques du réchauffement climatique ?

L'hypothèse de recherche est formulée à partir des considérations effectuées dans le modèle épistémologique de référence :

HR - Si l'anglais est intégré à des activités documentaires et expérimentales proposées à l'élève où des supports d'information sont exploités pour en extraire des contenus pertinents d'un point de vue de l'investigation à mener, alors la production de l'élève pour expliquer un fait de physique sera

construite à partir de stratégies de repérage, d'inférence et d'analogie où les deux langues jouent un rôle (reformulation) dans la mobilisation des concepts de physique-chimie visés.

La praxéologie de référence du MER sert donc d'outil méthodologique pour évaluer le savoir disponible, c'est-à-dire pour vérifier si l'élève parvient à s'appropriier des savoirs disciplinaires au cours d'activités en langues et à mobiliser les connaissances de physique-chimie qui lui permettent d'expliquer le //réchauffement climatique//. L'esquisse de la séquence tient compte du choix de faire réaliser la séquence par un enseignant de physique-chimie : c'est pourquoi la recherche-action collaborative fait partie du MER et que des modules de co-construction de la séquence sont envisagés avec l'enseignant complice. Comment la collaboration avec l'enseignant est-elle mise en place ? Cette question est examinée au chapitre III.

Chapitre III : Collaboration avec l'enseignant complice

Comme le choix de la recherche-action collaborative a été justifié au chapitre précédent, ce chapitre en détaille sa nature et sa mise en place (III.1). La collaboration relative à des observations de deux séances de DNL réalisées par l'enseignant qui participe à la co-construction de la séquence est détaillée (III.2) puis analysée (III.3) pour en dégager des pistes à suivre lors de la co-construction et de la mise en œuvre de la séquence.

III.1. Complicité à travers la recherche-action collaborative (nature, mise en place)

Le travail collaboratif avec l'enseignant a d'abord été mené sur plusieurs mois avant la réalisation de la séquence auprès des élèves de terminale. Il s'inscrit dans une recherche de faisabilité ou l'interaction praticien.ne-chercheur.e est privilégiée (III.1.1). La mise en place de la collaboration s'est précisée dès les premiers échanges avec l'enseignant afin d'envisager la réalisation du projet (III.1.2).

III.1.1. Nature de la collaboration (recherche de faisabilité et logique double)

La collaboration avec l'enseignant est à situer dans une démarche de recherche de faisabilité qui génère « un état des possibles dans une situation didactique donnée, à un moment donné » (Astolfi, 1993, p.8). Ce type de recherche est fondé sur l'idée « d'innovations contrôlées » (élaboration de la séquence à partir d'un fil rouge et intégration de supports en anglais) où « l'état des possibles » est obtenu « par essais », à partir d'hypothèses qui sont des *a priori* raisonnablement pensés et réalistes sur ce qui devrait se dérouler *in situ*, en pratique. Cette recherche est pragmatique et vise à formuler des outils pour la communauté enseignante et celle des élèves. Le corpus constitué est de nature empirique et résulte d'interactions entre pratique et recherche, entre enseignant.e.s et chercheur.e.s.

Desgagné, et al. (2001) distinguent trois étapes du processus de recherche collaborative :

- la cosituation, qui spécifie le contrat entre les acteurs.trice.s de la collaboration ; elle permet, grâce à un processus de négociation, le passage d'une « thématique générale » à un objet d'étude ciblé,
- la coopération qui définit les tâches collaboratives et grâce à laquelle l'activité de réflexion à double dimension (pratique et recherche) conduit à la « coconstruction d'un savoir lié à la pratique » et
- la coproduction qui met en jeu les « retombées » de l'action collaborative pour chaque acteur.rice.

L'idée de partenariat que suggèrent Desgagné et al. (2001, p.34) permet de considérer l'enseignant de physique-chimie comme complice dans ce projet :

« À l'enseignant considéré comme un objet d'investigation et « sur » la pratique de qui on pose un regard distant et évaluatif, on oppose ici un enseignant considéré comme un partenaire de l'investigation, « avec » qui on pose un regard complice et réflexif sur la pratique. »

Ainsi, développement professionnel de l'enseignant complice et investigation en didactique de la physique-chimie s'organisent dans une logique double, de pratique et de recherche : la co-construction de la séquence s'articule autour d'une médiation entre la culture des « savoirs d'action » et celle des « savoirs savants » (Desgagné, 1998). Au chapitre II.4.2, la question posée et intégrée au modèle épistémologique de référence (Comment proposer à l'enseignant complice une séquence qui repose sur une approche bilingue et conceptuelle pour explorer ce qui est possible en classe ?) a conduit à supposer la nécessité de prendre en compte les pratiques ordinaires de l'enseignant en cours standard et en section européenne et de faire en sorte qu'il s'appuie sur des connaissances didactiques liées à l'approche conceptuelle et bilingue des mécanismes du réchauffement climatique pour jouer le rôle de « médiateur du savoir » (cf. II.4.1, Bueno Hernández, 2012 ; Altet et al., 2013). La mise en place d'un travail collaboratif qui repose sur le concept de « chercheur collaboratif » (Desgagné, 2001) devrait alors favoriser l'effet recherché sur la transposition didactique assurée par l'enseignant complice pour co-construire la séquence dans une démarche de faisabilité. En effet, dans une conception de la pratique comme étant « non transparente » et « évolutive », la pratique « exige du chercheur de créer un espace de rapprochement, entendu comme une exploration impliquée en contexte réel » et « un espace de questionnement, entendu comme une conversation réflexive avec l'action concrète » (*ibid.*, p.56).

C'est pourquoi, la recherche-action collaborative est développée dans une dynamique d'échanges avec l'enseignant complice, avec une prise de données liée à sa pratique et sur la durée ; ce qui explique le choix de l'observation de séances, d'entretiens d'auto-confrontation et de modules de co-construction (temps dédié à la construction de la séquence). Le tableau 8 en présente les différentes étapes, la nature de chacune d'entre elles (classification de Desgagné et al., 2001) et leur objectif principal (l'année N est celle de la mise en œuvre de la séquence co-construite) :

Etapes (ordonnées chronologiquement) de la recherche-action collaborative menée	Objectifs principaux
Premiers échanges par courriel avec l'enseignant complice (année N-1) ; cosituation.	Présenter le projet, y faire adhérer l'enseignant.
Rencontre avec l'enseignant (année N-1) ; cosituation, coopération.	Concrétiser la collaboration, clarifier certains éléments du projet.
Observation de deux séances de DNL physique-chimie en anglais menées par l'enseignant complice, entretiens d'auto-confrontation et document « retour sur la séance observée » (année N-1) ; cosituation, coopération.	Repérer la présence d'éléments caractéristiques de l'approche bilingue conceptuelle et de la praxéologie de référence (cf. chapitres I et II).
Modules de co-construction (année N-1) ; coopération, coproduction.	Elaborer le prototype de séquence à mettre en place l'année N, à partir de l'esquisse de la séquence et du travail collaboratif déjà mené.
Observation de séances de la séquence co-construite (année N) ; coopération.	Identifier des traits caractéristiques de l'approche conceptuelle bilingue pour les séances observées.
Echanges, modules informels de co-construction et d'analyse (année N) ; coopération, coproduction.	Ajuster la séquence en fonction des conditions et des contraintes, et de l'objectif de mise en place d'une approche conceptuelle bilingue.
Entretien d'auto-confrontation (année N) après la mise en œuvre de la séquence ; coopération.	Repérer les caractéristiques de la séquence réalisée en termes d'approche conceptuelle bilingue et de faisabilité « généralisable ».

Tableau 8. Les étapes de la recherche-action collaborative mise en œuvre et leurs objectifs

L'observation et l'enregistrement vidéographique des séances permet d'avoir des « traces de l'activité enseignante », « de comportements continus » et de faire verbaliser l'enseignant sur son activité professionnelle à partir du visionnage de l'enregistrement au cours de l'entretien d'auto-confrontation (Theureau, 2010) ou des modules de co-construction. Le dispositif d'entretien d'auto-confrontation est détaillé au III.2.1 lors de sa première utilisation après une séance d'observation d'un cours de DNL physique-chimie en anglais. La double dimension de la collaboration apparaît lors des échanges qui permettent l'entretien d'auto-confrontation et des négociations concernant les choix de co-construction de la séquence.

Dans le cadre de cette recherche-action collaborative et de démarche de faisabilité, la collaboration avec l'enseignant induit de considérer le fait didactique dans un environnement vaste qu'est la société, en référence à Chevallard (2007, p.19) qui rappelle qu'un « fait didactique est un fait social total : il engage une société comme totalité – si peu intégrée soit-elle ». Une organisation en niveaux de co-détermination permet d'appréhender l'ensemble du système didactique centré sur le niveau 1 (celui de la discipline) et « siège de conditions et de contraintes participant de l'écologie didactique des praxéologies auxquelles il se voue » (*ibid.*, p.18-19), adapté à ce projet :

niveau -3 : civilisation (par exemple, la culture occidentale, ses normes et ses traditions (Winslow, 2010, p.15))
niveau -2 : société (en France, système éducatif qui relève du ministère de l'Éducation nationale)
niveau -1 : école (en lycée général, institution scolaire ; par exemple, modalités du travail des enseignants en dehors ou dans la classe (Winslow, 2010, p.15) ; « où les didacticiens n'apparaissent plus que de façon furtive et aléatoire, et où, par contraste, la densité des spécialistes de sciences de l'éducation s'accroît tout à coup fortement » (Chevallard, 2007, p.19))
niveau 0 : pédagogie (contexte d'une classe de terminale scientifique, normes et conditions d'enseignement (Winslow, 2010, p.15))
niveau 1 : discipline (physique-chimie)
niveau 2 : domaine d'étude (par exemple, transferts thermiques)
niveau 3 : secteur d'étude (transfert radiatif)
niveau 4 : thème d'étude (bilan radiatif)
niveau 5 : sujet d'étude (calculs effectifs issus du bilan radiatif)

Figure 7. Organisation du système didactique en niveaux de codétermination

Les niveaux de co-détermination permettent d'identifier la nature des contenus traités lors du travail collaboratif au cours duquel les conditions et les contraintes³⁸ sont étudiés en vue d'une séquence qui repose sur une approche conceptuelle et bilingue : les niveaux 0 à 5 devraient alors être directement concernés.

Enfin, pour permettre la médiation avec l'enseignant, des « outils intermédiaires » (Coppé et Tiberghien, 2013, p.80) dont l'élaboration repose sur des considérations théoriques issues de la recherche et qui peuvent être opérationnels dans les pratiques sont utilisés. Ce sont des documents communiqués à l'enseignant complice. Ils sont variés et dépendent des interactions au cours de la collaboration. Ces outils intermédiaires sont présentés dans ce qui suit selon les étapes de la collaboration.

III.1.2. Mise en place de la collaboration

Comme indiqué dans l'introduction, la recherche d'un professeur de physique-chimie enseignant en section européenne, titulaire de la certification complémentaire DNL anglais a limité la prise de contact à deux enseignants, dont l'enseignant complice, qui a accepté de participer à la recherche-action. Celui-ci est professeur certifié de physique-chimie depuis moins de dix ans (cursus universitaire dans la discipline après l'obtention du baccalauréat, avec une dominante en chimie, jusqu'à la préparation au concours de l'éducation nationale). Il a exercé au collège, en section bilingue (un équivalent des sections européennes) et est affecté au lycée l'année N-1. Il est titulaire du poste et enseigne en

³⁸ Cf. *supra*, l'ensemble du système didactique est appréhendé comme le « siège de conditions et de contraintes participant de l'écologie didactique des praxéologies auxquelles il se voue » (Chevallard, 2007, p.18-19)

section européenne pour les classes de seconde et première générale qui viennent d'être mises en place (physique-chimie en anglais). C'est la première fois, au cours de l'année N-1, qu'il a en charge une classe de terminale scientifique (en abrégé, TS). Dans son parcours professionnel, l'enseignant complice a enseigné une année en Angleterre grâce à un programme de mobilité du ministère de l'Education nationale. Il a l'habitude de s'investir dans de nombreux projets au sein des collèges où il a été affecté et du lycée où il exerce (par exemple, il participe au dispositif national des Olympiades de chimie). Il est aussi familier avec la fonction de professeur principal d'une classe. La mise en place de la collaboration s'est déroulée à partir de premiers échanges :

- 22/09/15 : prise de contact par courriel.
- 18/10/15 : description du projet de thèse et demande de renseignements sur la faisabilité du projet par courriel à l'enseignant qui a répondu favorablement suite à la prise de contact (annexe III.1.2).
- 23/10/15 : réponses et demandes de clarification par l'enseignant par courriel.
- 05/11/15 : apports de réponses au courriel de l'enseignant.
- 13/01/16 : rencontre autour du projet.

Dès les premiers échanges avec l'enseignant complice, les grandes lignes de la démarche de recherche portées à la connaissance de l'enseignant ont pour objectif de « créer un espace de rapprochement » (cf. *supra*, Desgagné, 2001, p.56). La description du projet à l'enseignant (annexe III.1.2) présente des éléments relatifs aux trois étapes du travail collaboratif (Desgagné et al., 2001). En ce qui concerne la cosituation, l'enseignant est informé de ce qu'est la « recherche-action » et de l'objectif du projet de recherche en termes de construction, mise en œuvre et évaluation d'une séquence bilingue autour du réchauffement climatique. La coopération est décrite brièvement et inscrite dans le temps (construction de la séquence l'année scolaire N-1, en 2015 - 16, et mise en œuvre l'année N en 2016 - 17) : la mise en place d'observations de séances de DNL puis d'entretiens d'auto-confrontation (cf. *infra* III.2.) et de réunions pour la co-construction sont précisées. La co-production relève des éléments fournis sur la valorisation du projet pour l'enseignant, les élèves, la communauté éducative et scientifique. Les premiers échanges par courriel montrent que l'enseignant contacté essaie de se projeter et d'envisager ce qui est réalisable d'un point de vue organisationnel dans l'établissement. En effet, il indique qu'il est d'accord sur l'ensemble du projet et apporte ou demande des précisions sur le public visé, les modalités d'organisation (durée, volume horaire hebdomadaire...), la prise de contact avec l'équipe administrative de l'établissement et les contenus de la séquence :

« Si nous intervenons sur une classe de terminale S spécifique, il faudra que j'aie 2 groupes, ce qui n'est pas le cas cette année, j'ai une classe de 17 élèves. » ;
« Souhaitez-vous intégrer cette séquence dans le cadre de la section euro ou de l'enseignement spécifique ? A quelle partie du programme avez-vous pensé pour

cette séquence ? » ; « Pour réaliser cette expérimentation, il faudrait que j'intervienne sur 2 classes de TS ? Combien d'heures souhaitez-vous consacrer à cette séquence, l'AP³⁹ n'est que de 1h/semaine en demi-groupe. » (Enseignant complice, courriel du 23/10/15)

Afin de concrétiser la collaboration, une rencontre a lieu avec l'enseignant pour clarifier les points abordés dans les échanges précédents. Elle se déroule dans l'établissement où il exerce et dure vingt-cinq minutes environ. Elle débute par un récapitulatif du projet de recherche à partir du courriel imprimé où la description du projet a été communiqué (annexe III.1.2). Le dialogue s'établit facilement et s'appuie ensuite sur la liste des contenus de physique-chimie prévus pour la séquence autour du réchauffement climatique (cf. chapitre II.3.3). Alors que les échanges par mail mettent particulièrement en jeu les niveaux -2 et -1 (société et école) dans la description de la collaboration, les premiers éléments de co-construction de la séquence lors de la première rencontre concernent les niveaux -1 à 4 : les contenus disciplinaires nourrissent les échanges même si de l'importance est donnée à l'organisation de la séquence au niveau -1 de l'école. L'intégration de l'anglais est abordée à un niveau 0 (pédagogie) : approche conceptuelle et approche bilingue restent dissociées (absence de réflexion sur l'anglais aux niveaux 2, 3 et 4). Le tableau 9 ci-dessous synthétise ces premiers éléments.

Niveau -1 (école)
Lors de cette entrevue avec l'enseignant complice (N-1), les modalités d'organisation pour mettre en œuvre la séquence l'année suivante (N) sont étudiées : <ul style="list-style-type: none">- La séquence a lieu entre septembre et novembre pour limiter les difficultés liées à l'organisation de l'établissement en ce qui concerne la programmation commune entre enseignants de terminale scientifique (en abrégé, TS), l'échéance du bac blanc et du bac, la répartition des services, le nombre d'élèves pour les classes de TS.- La présentation du projet aux élèves et aux familles est envisagée avant la mise en place de la séquence pour limiter les écueils et les réactions d'opposition des familles contre l'utilisation de l'anglais dans les cours hors de la section européenne.
Niveau 0 (pédagogie)
Les modalités d'intégration de l'anglais dans la séquence prévue est détaillée : en classe entière, les élèves sont sensibilisés à l'utilisation de cette langue à travers des documents en anglais, en réception (écrit, oral, audio-visuel). Ils.elles sont incité.e.s à produire en anglais mais rien n'est exigé. La possibilité d'enseigner la séquence en TS ou un groupe de travaux pratiques (en abrégé, TP) en

³⁹ AP : « accompagnement personnalisé » ; dans le bulletin officiel spécial n°1 du 4 février 2010 publié par le ministère de l'Education nationale, l'accompagnement personnalisé est défini comme « un temps d'enseignement intégré à l'horaire de l'élève qui s'organise autour de trois activités principales : le soutien, l'approfondissement et l'aide à l'orientation. Distinct du face-à-face disciplinaire, il s'adresse à tous les élèves tout au long de leur scolarité au lycée. L'horaire prévu est pour chaque élève de 72 heures par année. »

<https://www.education.gouv.fr/bo/2010/special01/mene1002847c.htm>

demi-classe expérimente la séquence exclusivement en français (de type groupe témoin ; les supports sont exclusivement en français) et l'autre groupe de TP en français/anglais (de type groupe test ; la langue cible est utilisée en réception et éventuellement en production écrite) est évoquée⁴⁰. Chaque semaine un groupe de TP prend alternativement le rôle de groupe témoin ou de groupe test.

Niveaux 1 (discipline), 2 (domaine d'étude), 3(secteur d'étude), 4 (thème d'étude)

La programmation des contenus à enseigner au cours de la séquence co-construite est mise en correspondance avec celle établie par l'enseignant complice l'année N-1. Un exemple du cahier de texte de la classe est communiqué par l'enseignant complice pour proposer une programmation de séquence avec les notions et contenus de TP et étudier les modifications engendrées sur la programmation actuelle. En effet,

- les ondes électromagnétiques étaient traitées en début d'année ; le chapitre sur les ondes sonores est décalé au cours de l'année N puisque cette notion ne fait pas partie de la séquence sur le réchauffement climatique.

- les chapitres sur le spectre infrarouge IR, ultraviolet UV et de résonance magnétique nucléaire RMN traités au premier trimestre sont dissociés : le chapitre sur la RMN, « hors séquence » est décalé également.

- le chapitre qui inclut les notions de transferts thermiques et de bilan d'énergie était traité plus tard dans l'année.

- ce qui relève de l'enseignement de la mécanique (étude des champs électromagnétiques, de la gravitation et des lois de Kepler) est retardé au cours de l'année N par rapport à la programmation de l'année N-1.

Tableau 9. Premiers éléments de co-construction de la séquence lors de la première rencontre avec l'enseignant complice.

Ainsi, les contraintes semblent fortement liées au fonctionnement de l'établissement (niveau -1, école) et à la démarche de recherche proposée (utilisation de l'anglais en classe entière et en groupe de TP, pour l'ensemble des élèves en cours standard), ce qui impacte les modalités de travail de l'enseignant complice dans la classe (niveau 0, pédagogie). Celui-ci montre une adaptabilité pour l'élaboration de la séquence en termes de contenus (niveau 1 à 4) : la mise en correspondance des contenus enseignés l'année N-1 avec ceux qui pourraient être envisagés par l'intermédiaire du cahier de texte et de l'esquisse de la séquence révèle ce qui est envisageable d'enseigner l'année N.

A l'issue de cette première entrevue, deux observations en cours de physique-chimie en anglais (section européenne, classe de seconde générale) sont planifiées avec un entretien d'auto-confrontation pour repérer la présence d'éléments de contenus et de pédagogie, caractéristiques d'une approche conceptuelle bilingue et envisager une intégration de l'anglais en cours standard à partir d'aspects de la pratique de l'enseignant complice en cours de DNL physique-chimie en anglais.

⁴⁰ L'aspect méthodologique relatif au protocole de recherche fait partie des négociations au cours de la collaboration et en particulier lors des modules de co-construction. Celle qui est « effectivement adoptée » est précisée au chapitre IV.

Synthèse du III.1. Complicité à travers la recherche-action collaborative (nature, mise en place)

Les choix concernant la nature et la mise en place de la recherche-action collaborative sont réalisés dans le cadre d'une démarche de faisabilité (Astolfi, 1993) qui s'appuie sur le modèle épistémologique de référence et prend en compte, dans ce chapitre, la pratique ordinaire de l'enseignant ainsi que son expertise pour co-construire la séquence. La volonté de mettre en relation recherche et pratique se concrétise par le fait de désigner et de considérer l'enseignant comme complice, en référence à la réflexion de Desgagné et al. (2001), au cours du processus collaboratif, lors de chaque étape de cosituation, coopération et coproduction. La collaboration se déroule sur un temps long, par des étapes diversifiées (échanges par courriel, rencontre, observations de séances de DNL, entretiens d'auto-confrontation, modules de co-construction) dont les objectifs s'inscrivent dans les enjeux de la recherche-action. Le recours au concept de niveau de co-détermination (Chevallard, 2007) contribue à appréhender la place du système didactique dans la collaboration en tenant compte de la dimension sociale du fait didactique. La description du projet de co-construction (annexe III.1.2) et de mise en œuvre de la séquence pour cette recherche-action, communiquée à l'enseignant complice, donne suite à une rencontre avec lui. Celle-ci repose sur des échanges qui ciblent quelques conditions et contraintes qui concernent un ensemble de niveaux de co-détermination, allant de l'école (-1) au thème d'étude (4). L'engagement de l'enseignant complice ne fait pas de doute et la collaboration continue à prendre forme.

III.2. Observation et analyse de séances de physique-chimie en anglais (DNL) menées par l'enseignant complice

Le travail collaboratif autour des deux séances de DNL se déroule en plusieurs étapes :

- 28/01/16 : observation d'une première séance de DNL sur les acides et les bases (correction d'activités), classe de seconde, 14 élèves, 55 minutes - annexe III.2.1a (énoncé) et annexe III.2.1b (déroulement de la séance).
- 02/02/16 : entretien d'auto-confrontation à partir d'extraits du premier cours de DNL observé - annexe III.2.1c.
- 18/03/16 : un retour sur la séance observée est communiqué à l'enseignant qui en prend connaissance puis renvoie ses commentaires à l'écrit le 06/05/16 : échanges par courriel - annexe III.2.1d.
- 24/03/16 : observation d'une deuxième séance de DNL sur les matières plastiques (activité expérimentale), classe de seconde, 17 élèves, 55 minutes annexe III.2.2a.

- 02/05/16 : entretien d'auto-confrontation à partir d'extraits du deuxième cours de DNL observé - annexe III.2.2b.
- 02/06/16 : un retour sur la séance observée est communiqué à l'enseignant (en arrêt de travail au mois de mai) qui le commente à l'écrit le 09/06/16 : échanges par courriel - annexe III.2.2c.

Le choix d'observer deux séances, une séance de type correction d'activité et une séance d'activité expérimentale, donne un aperçu de la diversité des contextes et des approches de l'enseignement-apprentissage de la discipline, au même titre que celle qui est prévue pour la séquence envisagée. L'enseignant complice s'est adapté pour mettre en œuvre des séances de nature différente en fonction des disponibilités de l'observatrice.

Dix-huit élèves issus de trois classes différentes de seconde (15-16 ans) ont choisi d'avoir une heure hebdomadaire de cours de physique-chimie en anglais en s'inscrivant en section européenne (ils.elles ont aussi une heure d'anglais par semaine spécifique à la section euro). Le groupe est de niveau hétérogène que ce soit en langue anglaise ou en physique-chimie (absence de sélection sur le niveau des élèves pour suivre les cours de DNL) et est constitué d'élèves issus de différents milieux socio-culturels. Leur choix d'inscription en section européenne DNL physique-chimie en anglais est d'origine variée : affinité pour l'apprentissage d'une langue, volonté de développer des compétences en langues, « un plus » pour le cursus scolaire, participation à un voyage culturel à l'étranger, découverte d'une autre manière d'apprendre la physique-chimie ... L'enseignant a l'habitude d'échanger avec les autres professeurs de physique-chimie pour savoir ce qui est fait en tronc commun (cours standard) mais ne se rapproche pas des professeur.e.s de langue vivante des élèves qu'il a en classe de DNL.

La méthodologie adoptée consiste à aller observer *in situ* l'enseignant : l'observatrice est assise au fond de la classe à une table où un appareil photo-caméra est posé de manière à favoriser la plus grande discrétion possible malgré « l'effet vidéo » et l'approche ethnographique (Leblanc et al., 2013). Puis, plusieurs semaines plus tard, à cause des contraintes liées à la compatibilité des emplois du temps, un entretien d'auto-confrontation est mené, à partir d'extraits de l'enregistrement vidéographique de la séance, préalablement sélectionnés et proposés à l'enseignant (Theureau, 2010 ; Leblanc et al. 2013 ; Leblanc, 2014). L'auto-confrontation vise à faire expliciter l'enseignant complice pour mieux appréhender ses intentions et les actions réalisées en classe. Celui-ci est en effet incité à prendre spontanément la parole pendant la visualisation des différents extraits : des pauses sont marquées et des questions telles que « Peux-tu décrire ce que tu fais là ? », « Qu'est-ce que tu cherches à faire à ce moment-là ? » peuvent-être posées pour déclencher la parole de l'enseignant (cf. *infra*). L'auto-confrontation simple est une méthode d'analyse de l'activité dont l'origine est à chercher dans le domaine des sciences du travail et dans celui de l'ergonomie. Elle se rapproche d'une « méthodologie

de réimmersion » (Theureau, 2010) : même si un.e enseignant.e est confronté.e pour la première fois au film de son activité professionnelle, il.elle a vécu la situation et est capable de s'appuyer sur ses compétences et connaissances pour décrire son activité. Une condition pour que l'auto-confrontation repose le moins possible sur un auto-jugement de l'enseignant.e est de lui expliciter les finalités de cet entretien et la manière dont il va se dérouler (*ibid.*, 2010). Clarifier en quelque sorte le contrat entre chercheur.e et enseignant.e peut alors conduire à une meilleure compréhension des intentions de l'enseignant.e avant d'entrer dans un discours dialogué où le.la chercheur.e proposerait des éléments d'analyse et de transformation de l'activité de l'enseignant.e. Ce dispositif d'auto-confrontation présente quelques inconvénients (*ibid.*, 2010). Il peut être chronophage pour le.la chercheur.e qui visualise le film et en choisit les extraits mais aussi pour l'enseignant.e qui est présent.e lors du visionnage de ces extraits et lors de l'entretien. Il exige une vigilance d'un point de vue de l'éthique : les conditions d'utilisation de la vidéo sont présentées à l'enseignant.e. De plus, être confronté.e à son image peut être mal vécu par l'enseignant.e, du moins au début du visionnage. Enfin, ce dispositif conduit à des résultats pertinents si la capacité de l'enseignant.e à décrire et commenter son activité, sans l'analyser ni la juger, se manifeste au cours de l'entretien. Répéter une telle mise en confrontation devant son activité professionnelle peut permettre de développer cette capacité. L'enseignant.e est censé.e prendre du recul sur son activité de façon la plus neutre possible.

Deux principales questions guident l'analyse de l'observation en classe et de l'entretien d'auto-confrontation :

- Comment la langue anglaise est-elle utilisée pendant le cours de DNL (à quels moments, avec quels supports, avec quels objectifs ...) ?
- Quelles compétences sont mobilisées par l'élève (d'un point de vue de la langue cible et de la discipline physique-chimie) ?

Elles sont articulées autour des axes développés dans le premier chapitre qui constituent, en quelque sorte, une grille d'analyse :

- Présence et caractéristiques de l'activité langagière (langue cible anglaise) en réception (compréhension écrite, orale, audio-visuelle) et des supports utilisés (chapitre I.1.)
- Présence et caractéristiques du bilinguisme holistique (absence de juxtaposition de deux monolinguisms) : transfert entre langue cible et source (chapitre I.2), « manifestation du parler bilingue », reformulation, comparaison, étayage, « opacité de la langue » et « densité de contenus »
- Connaissances appréhendées comme des concepts, mis en relation avec la connaissance du mot ou des mots (réseau lexical et sémantique) (I.3)

- Démarches et anglais spécifiques à la physique-chimie (collocations, faits de langue spécifiques) (I.4)

L'analyse interroge aussi les concepts définis au chapitre II, en particulier celui de dialectique média-milieu et de praxéologie de référence (langue cible et littéracie scientifique, stratégie particulière (de repérage, d'inférence, d'analogie - transcodage et reformulation), type de tâche « expliquer un fait de physique ».

Pour chaque séance (DNL1 et DNL2), l'analyse est illustrée par des références aux annexes où est présenté :

- le déroulement de chaque séance (respectivement, annexe III.2.1.b et III.2.2.a), avec des extraits de vidéos transcrits et désignés par « VX » (où X est un nombre),
- l'entretien d'auto-confrontation transcrit avec les extraits repérés par « AC1-X » (respectivement, III.2.1.c et III.2.2.b).

Les conventions de transcription appliquées sont celles issues de choix présentés dans l'article de Dister et Simon (2008) : l'orthographe standard, l'absence de ponctuation sont adoptés. Les disfluences (pauses telles que « euh, ben », répétitions de mots ...) sont transcrites. Un tour de parole est défini comme « l'occupation matérielle du canal de parole par un locuteur », d'où la présentation verticale et par ligne des interventions des deux locuteurs (N, l'autrice de ce manuscrit, en position de chercheure dans le cadre du travail collaboratif avec E, l'enseignant complice). Les marques utilisées dans la transcription⁴¹ et leur signification sont indiquées dans les annexes III.2.1b et III.2.1c.

Les extraits du film de la séance présentés à l'enseignant complice lors de l'entretien d'auto-confrontation sont choisis pour explorer l'ensemble de la séance et accéder à une verbalisation de l'enseignant sur son action, en interaction avec le groupe classe ou avec un.e élève en particulier, assis.e dans la classe ou interrogé.e au tableau. Dans l'annexe III.2.1c, une description sommaire de l'extrait visionné et une à deux questions qui guident l'entretien sont indiquées pour chaque passage présenté. Ces questions sont issues de la réflexion sur les rôles de l'entretien d'auto-confrontation et du.de la chercheur.e présentés par Leblanc et al. (2013, §17) :

« Celui-ci cherche à placer l'acteur dans une posture et un état mental favorables à cette explicitation en l'amenant en premier lieu à décrire ses actions (qu'est-ce que tu fais là ?) et ses focalisations (à quoi fais-tu attention ?). Dans le même temps,

⁴¹ Marques fréquemment utilisées : « / pause brève ; // pause longue ; ? question de forme déclarative à contour intonatif montant ; () commentaires para-verbaux » (Dister et Simon, 2008) ; E et El sont les locuteurs : E est l'enseignant qui met en œuvre la séance et El représente un ou une élève. « E (autre) » signifie que c'est un.e autre élève que celui.celle qui a la réplique précédente.

l'interlocuteur doit chercher à documenter les autres composantes de l'expérience que sont le faisceau de préoccupations de l'acteur dans la situation présente (que cherches-tu à faire à ce moment-là ?), ses attentes par rapport au devenir de la situation (quels résultats attends-tu de ton action ?), les connaissances mobilisées, validées, invalidées et construites à ce moment-là (qu'est-ce qui t'amène à agir ainsi à cet instant ?), les interprétations réalisées dans la situation (comment vois-tu la situation à ce moment-là ?) et les émotions ressenties (et là, que ressens-tu ?). »

Les questions anticipées lors de la préparation de l'entretien d'auto-confrontation sont plutôt choisies parmi les premières proposées ci-dessus (ou reformulées) pour centrer les échanges sur la description de l'action de l'enseignant et sur ses intentions (par exemple, question sur ce qu'attend l'enseignant des élèves). Sont passées sous silence les questions qui relèvent des émotions. Ces choix sont fondés sur le questionnement qui guide l'analyse de la séance observée, enrichie par les propos de l'enseignant complice lors de l'entretien.

III.2.1. Analyse de la séance DNL1 : observation, entretien d'auto-confrontation, retour sur la séance

La séance DNL1 physique-chimie en anglais dure cinquante-cinq minutes. La séance auprès de quatorze élèves se déroule en quatre phases :

- Rappel de ce qui a été fait la semaine précédente (environ 2-3 min) – vidéo 1
- Correction, à l'oral et à l'écrit au tableau, de l'activité expérimentale (*Comparing strong and weak acids*) qui a été réalisée deux semaines auparavant (environ 15 min) – vidéos 1, 2, 3 et 4 : les élèves avaient suivi et mis en œuvre des protocoles expérimentaux pour étudier trois transformations chimiques produites par le mélange dans des tubes à essais, d'une solution d'acide chlorhydrique (acide fort) ou éthanoïque (acide faible) avec une solution d'indicateur coloré de pH, un ruban de magnésium ou un morceau de craie.
- Correction de l'activité sur le chou rouge (*Lab session - Red cabbage*) avec les mêmes modalités de travail (environ 15-20 min) – vidéos 4, 5 et 6 : lors d'une séance précédente, les élèves ont réalisé des mélanges entre le jus de chou rouge et différentes solutions acides ou basiques, ont observé et interprété la couleur du mélange obtenu et en ont déterminé une valeur approximative du pH à l'aide du papier-pH.
- Nouvelle activité sur polycopié (*Naturally occurring acids*) qui consiste à lire de courts textes (quelques phrases) accompagnés de deux illustrations (paquet de chips et pot de betterave) sur la présence et la nature d'acides dans les aliments puis à répondre aux questions (environ 15-20 min) – vidéos 6 et 7.

Les énoncés d'activité intitulés *Comparing strong and weak acids* et *Naturally occurring acids* sont issus d'un manuel scolaire anglophone de physique-chimie, niveau fin de seconde (préparation à l'examen GCSE)⁴² que l'enseignant a récupéré lors de son séjour d'un an en Angleterre et qui est utilisé par les élèves anglais.e.s sous forme de fiches d'activités et de cours. Celui sur le chou rouge est construit par l'enseignant. L'annexe III.2.1a présente ces énoncés.

III.2.1.1. Activités langagières en L2 et supports en anglais

La séance révèle que les élèves développent majoritairement leurs compétences en langue cible à travers des activités de réception : écoute de l'enseignant qui parle en anglais, lecture (textes et questions des énoncés d'activité). Les activités langagières en production consistent à écrire les réponses aux questions des différents énoncés, à partir de la correction écrite au tableau ou de ce qui a été dit à l'oral (cas de la nouvelle activité en fin de séance). L'enseignant veille à ce que les phrases soient écrites correctement en anglais (V3 - L'enseignant prononce bien la terminaison du verbe "needs" pour que l'élève se corrige ; V6 0'59 - E (au fond de la classe) : *no drop / to drop / drop without the s / remove this s.*). L'interaction en langue anglaise est favorisée lorsque l'enseignant pose une question à l'oral et sollicite la participation des élèves. Mais lors de la séance il est exceptionnel de rencontrer une situation où les élèves répondent à l'oral par des phrases et dialoguent avec l'enseignant : la répartition de la parole entre l'enseignant et les élèves est déséquilibrée. C'est majoritairement l'enseignant qui discourt lors de la séance et en fin de séance, les élèves lui répondent plutôt en français. Et pourtant, pour inciter les élèves à parler en anglais dès le début de la séance, la phase de rappel est menée en langue cible (V1 - *What did you do last time? Who can explain what we did two weeks ago?*) : le questionnement de l'enseignant vise l'établissement d'interactions construites autour d'une tâche accessible aux élèves car le vocabulaire dont ils.elles ont besoin est supposé connu (vocabulaire autour des couleurs, des acides et des bases à réinvestir). De plus, la langue anglaise véhicule des contenus scientifiques ; au cours de l'échange, le concept d'indicateur coloré acido-basique⁴³ semble être réactivé (certain.e.s élèves regardent leur feuille d'activité) :

V1 1'01 - E: what is interesting with the red cabbage? // What did we saw / did we see? / what's going on with the red cabbage juice? // If I 've got some acid or

EI: or a base

E: a base yes / what's going on with the color? //

EI (autre): it's change

E: changing yes

EI (autre): it can change its pH

⁴² Pearson Education Limited 2007, AQA GCSE Science Extension Units Copymaster File, sous copyright, p.85-86.

⁴³ Le jus de chou rouge change de couleur en fonction de l'acidité du milieu.

E: yes we can use it as a color indicator because it will change with the pH / If it's acid what's gonna be the color of the red cabbage / acidic

EI: euh yellow

E: yellow ?

EI: euh non non pink

E: Pink and if it's / if there's a lot of base / it's gonna be?

EI (autre): green

E: green then / at the end very basic

E (autre): yellow

E: yellow ok

L'enseignant complice associe cette phase de cours à un échauffement en L2 (« *warm up* ») dont le but en classe de langue vivante étrangère, comme en classe d'enseignement bilingue, est de mettre à l'aise les élèves, de les désinhiber (Lorenzo, 2007) :

AC1-1 ; 16 ; E : Donc là je pose des questions simples / c'est sur les couleurs pour qu'ils s'habituent à prendre la parole / là tout le monde était capable de répondre parce qu'ils avaient tous marqué les couleurs sur leur / leur grille et c'est assez facile de répondre un peu à ce genre de questions un peu collègue quoi / pour que / pour instaurer la prise de parole c'est plus simple c'est des questions hyper simples / et c'est aussi pour ça que / ils savent de quoi on parle normalement

L'interaction comme activité langagière apparaît aussi comme une intention de l'enseignant qui confère à la langue cible le rôle d'outil de communication. Par exemple lors de la correction d'une question au tableau numérique par un élève, des difficultés de manipulation de l'outil suscitent des commentaires au sein de la classe. Lors de l'entretien d'auto-confrontation, l'enseignant justifie ces échanges « hors sujet » :

AC1-2 ; 21 ; E : il est content de venir au tableau mais il est pas à l'aise / là je parlais du tableau parce qu'il parlait en anglais donc du coup / du moment qu'ils parlent en anglais on peut parler d'autre chose / enfin tu sais / ça ne me gêne pas de parler un autre sujet / là je lui demande les avantages du tableau en anglais/ donc euh je parle en anglais comme ça on a une petite discussion en anglais ça //

AC1-2 ; 25 ; E : donc du coup on parle du tableau parce que c'est en anglais et puis du moment qu'on parle en anglais ça / c'est le but de la section euro aussi c'est de participer en anglais // donc là il est un peu perturbé parce qu'il attend sa réponse à copier / je lui parle du tableau [E rit] //

L'enseignant profite du cours de DNL pour mettre le plus possible l'élève en contact avec la langue, en immersion. Dans l'exemple précédent, les interactions sont plus conversationnelles que didactiques. Pour l'ensemble de la séance, il semble que beaucoup d'élèves ne soient pas très autonomes pour produire des phrases à l'écrit ou à l'oral alors que les contenus de physique-chimie ont été abordés lors de séances précédentes et sont à leur portée. Les supports d'information en anglais utilisés sont spécifiques d'une séance de physique-chimie : le caractère expérimental est affirmé à travers un texte correspondant à la rédaction d'un protocole pour l'activité sur la force d'un acide et celle sur l'indicateur coloré (chou rouge) ou à travers des tableaux qui permettent de rassembler des résultats expérimentaux. Des textes de quelques lignes qui permettent de décrire différentes solutions ou

espèces chimiques telles que l'acide éthanoïque ou l'acide formique sont présentés à l'aide de dessins qui contextualisent l'activité sur les acides naturellement présents dans l'alimentation. Les questions posées à la fin de l'énoncé contribuent à l'exploitation des différentes informations par l'élève. Elles mettent en jeu les différents registres de représentations sémiotiques (cf. chapitre II.3.3, Duval, 1995) présents dans les énoncés. Ainsi les supports semblent pouvoir contribuer au développement de compétences scientifiques à partir de « compétences linguistiques et pragmatique de la langue » (cf. chapitre I.2.2, Michaud, 2014, p.47) et à travers les activités langagières de réception, production et d'interaction.

III.2.1.2. Caractéristiques du bilinguisme holistique

Lors de la séance, le bilinguisme se manifeste par la micro-alternance des langues L1 et L2 (cf. chapitre I, Duverger, 2008) favorable à la mobilisation ou à la construction des savoirs liés à la discipline. L'enseignant initie les échanges en français à plusieurs reprises, par exemple lorsqu'il demande aux élèves d'expliquer ce qui se trouve dans la solution aqueuse ou d'expliquer pourquoi la concentration en acide doit être la même pour comparer les acides (V3 0'0-1'47) et lorsqu'il reformule les questions de l'énoncé en français (V7 4'29). La manifestation du « parler-bilingue » (cf. chapitre I., Duverger et al., 2011) pour éclairer une notion disciplinaire est générée par l'enseignant qui explicite son action lors de l'entretien d'auto-confrontation, par exemple pour les échanges autour de la notion de solution aqueuse :

AC1-3 ; 5 ; E : enfin ce ne sont pas des notions / donc c'est pour ça que je demande en français à ceux qui savent / pour remettre un peu / pour que tout le monde sache de quoi on parle [...]

AC1-3 ; 6 ; N : ceux qui l'ont donné sont ceux qui l'ont vu avec leur prof de physique en tronc commun ?

AC1-3 ; 7 ; E : ouais

L'enseignant est conscient de l'intérêt de passer d'une langue à l'autre pour assurer la compréhension d'un savoir disciplinaire : il commente, à sa manière, lors de l'entretien ce qui relève de la recherche d'un équilibre ciblé entre « l'opacité de la langue » et « la densité du contenu disciplinaire » (cf. chapitre I, Gajo, 2009) :

AC1-3 ; 11 ; L : [...] / donc quand c'est quelque chose de compliqué euh je demande à un élève de traduire ou d'expliquer en français ou d'expliquer aux autres / quand c'est quelque chose qui n'est pas / dont ils n'ont pas l'habitude

Le qualificatif « compliqué » renvoie à la libre appréciation de l'enseignant du niveau de difficulté de l'objet d'étude. Par exemple, l'enseignant passe de l'anglais au français pour expliciter le concept d'acide pour les aliments après avoir essayé de faire deviner aux élèves le sens du mot « *sour* » par inférence à partir du contexte (phrase, images de l'énoncé). Ce qui peut sembler compliqué dans cet exemple est qu'en français le concept d'espèce acide dans le domaine de la chimie et celui de saveur acide dans le domaine de la biologie et de l'alimentation sont désignés par le même terme « acide »

alors qu'en anglais deux désignations « *acid* » et « *sour* » sont utilisées, chacune pour un concept (cf. chapitre II.2.1, Depecker, 2002 ; L'Homme, 2004). L'alternance codique ponctuelle est présente lorsque l'enseignant passe par le mot « cornichon » sans interrompre le discours en anglais (cf. chapitre I, Nikula, 2007) :

V6 6'20

E: so many food taste sour because they contain naturally occurring acids called carboxylic acids // what's sour? / taste sour / fourth word / many food taste sour

EI: saveur?

E: no it's like this (il montre l'image du paquet de chips sur l'énoncé) / when you read crisps with vinegar / vinegar crisps /

EI (plusieurs) : amer / c'est amer non ?

E: and this (il montre l'image du pot avec l'étiquette beetroot) is like a / a kind of cornichon⁴⁴ (il fait le geste de manger avec la main vers la bouche) / what do you say in French ? /

EI (plusieurs en même temps): manger / croquer

E: it's a word we know and we talked a lot with this word // acide / les anglais pour dire quand ça a un goût acide ils disent pas acide ils disent / ils réservent ça à la chimie / ils disent sour ok ? // donc many food taste sour because they contain naturally occurring acids called carboxylic acids / (s'adresse à un élève E) mister E/ read this/ I've got the feeling you wanna talk / talk loud /

La traduction en français d'un mot anglais comme « stratégie d'appui » (cf. chapitre I.2, Causa, 1996) apparaît plusieurs fois lors de la séance (stratégie d'élève) et en particulier lors de la première lecture des textes de la dernière activité de la séance au moment des « *vocab questions* » (stratégie proposée régulièrement par l'enseignant), comme dans l'extrait ci-dessus.

III.2.1.3. Connaissance du mot et concept

La réflexion sur la connaissance du mot dans une langue, appréhendée par la mise en relation avec la connaissance du concept désigné (cf. chapitre I.3) est illustrée par le même extrait : le concept d'acidité a été étudié à travers des exemples de solutions acides et la détermination du pH de la solution⁴⁵. Pour faire deviner la signification du mot anglais *sour*, l'enseignant finit par indiquer en anglais (avant de passer au français) « *it's a word we know and we talked a lot with this word* » : le mot *sour* en tant que tel n'a pas encore été mobilisé en interaction à la différence des mots *acid* ou *acidic* qui ont déjà été utilisés pour évoquer le concept d'acidité ; l'enseignant semble donc se référer en fait au concept d'acide plus qu'au mot et favoriser le modèle de médiation conceptuelle (cf. chapitre I.3.2). Mais les élèves ne parviennent ni à associer au mot inconnu *sour* un autre mot en L2, par exemple *acid* ni un

⁴⁴ Beetroot signifie betterave.

⁴⁵ Au niveau du collège et de la seconde, le caractère acide d'une solution aqueuse est déterminé par la mesure de son pH (pH<7) ou à l'aide du papier-pH dont la couleur au contact de la solution est comparée avec une échelle « étalonnée » de correspondance entre couleur du papier-pH et intervalle de valeur du pH. Il est interprété par la présence majoritaire d'ions hydrogène H⁺ en solution, par rapport aux ions hydroxydes OH⁻.

mot équivalent en L1, malgré le contexte de l'activité sur les aliments acides et la phrase lue en anglais au cours de laquelle les mots *sour* et *acids* apparaissent (« *so many food taste sour because they contain naturally occurring acids called carboxylic acids* »). Il est possible qu'une relecture silencieuse individuelle de la phrase qui contient le mot *sour* aurait permis aux élèves de le mettre en relation avec *acids* et *carboxylic acids*. Le repérage du terme *acid* était peut-être une autre stratégie à envisager.

Dans l'extrait où l'enseignant demande une explication en français aux élèves sur la solution aqueuse (pour faire écho à la notion de « concentration » présente dans une réponse écrite au tableau), il ne se contente pas de la traduction du mot anglais « *solution* » au français « solution aqueuse » mais initie l'échange en L1. Le réseau sémantique du mot-concept se constitue avec les termes de « soluté », « solvant », « dissous ». Aucune phrase n'est formée en français par les élèves pour expliquer ce qu'est une solution aqueuse à un niveau de formulation adapté à la classe de seconde (mélange homogène obtenu par dissolution d'un soluté dans un solvant) et c'est même l'enseignant qui fait mobiliser le concept de solution aqueuse en apportant « solvant » puis « dissous » :

V3 - 0'00 à 2'10

E: what do we have in the solution? / in French / who can explain to me? /

El: il y a une solution aqueuse

E: oui / solution aqueuse c'est quoi ?

El (autre): de l'eau

E: l'eau oui donc ça c'est le solvant / et on a dissous quoi dedans ?

El (plusieurs): soluté

E: le soluté / donc ici (il s'adresse à l'élève qui est au tableau) / concentration of the two acids needs to be the same

Dans l'entretien d'auto-confrontation, l'enseignant précise son intention à travers cet échange (« pour que tout le monde sache de quoi on parle ») car les élèves de ce cours de DNL n'ont pas tous abordé avec leur enseignant.e dans l'année en cours de physique-chimie les notions de solution, soluté, solvant ; et même si celles-ci sont au programme de collège, l'enseignant choisit de passer au français pour que les élèves aient le vocabulaire :

AC1-3 ; 3 ; E : donc ça c'est des choses que les miens n'ont pas vu par exemple/ c'est pour ça que je passe en français parce que / moi je n'ai pas fait la solution encore / ils ne savent pas ce que c'est qu'un soluté / enfin ils l'ont vu normalement au collège c'est au collège ?

AC1 -3 ; 4 ; N : oui je pense que c'est vu en cinquième

AC1-3 ; 5 ; E : enfin ce ne sont pas des notions / donc c'est pour ça que je demande en français à ceux qui savent / pour remettre un peu / pour que tout le monde sache de quoi on parle / et puis en plus ils ne connaissent pas le vocabulaire de soluté solvant / même si c'est les mêmes mots

Lors de l'entretien d'auto-confrontation les échanges autour des mots et du vocabulaire montrent que l'enseignant a conscience que s'appuyer sur la forme du mot dans une langue est insuffisant (« même

si c'est les mêmes mots » dans l'extrait AC1-3 précédent) pour aider l'élève à identifier le mot équivalent dans l'autre langue ou à en dégager le sens :

AC1-6 ; 22 ; cas du mot « malt » lu dans le texte en anglais ; E : en plus c'est un mot transparent⁴⁶ donc euh / finalement c'est pas l'anglais qui pose problème parce qu'ils ne connaissent pas le mot en français non plus //

Les difficultés liées à la connaissance du mot, à la conceptualisation, à la différence entre vocabulaire et lexique mental (cf. chapitre I.3.2 Lecocq et Segui, 1989 ; cf. I.3.3 Long, 1991 et Nation, 1990) ainsi qu'aux stratégies mises en place sont verbalisées par l'enseignant plusieurs fois au cours de l'entretien car les questions de vocabulaire font partie de son approche pédagogique en cours de DNL (AC1-6 ; 31 ; E : on lit l'énoncé tous ensemble /alors euh / euh c'est surtout pour le vocabulaire). Il apparaît que les traits morphologique et orthographique de la connaissance du mot sont prédominants dans la réflexion de l'enseignant (écrits au tableau, lecture et questions de vocabulaire). Les traits phonologique, syntaxique et sémantique le sont moins. Par exemple, en ce qui concerne la prononciation, l'enseignant laisse lire les élèves ou participer à l'oral sans reprendre leur accent ou la manière de prononcer un mot. A un moment, l'enseignant fait une remarque sur la prononciation lors de l'entretien d'auto-confrontation pour le mot *cells* dans l'énoncé (AC1-6 ; 25 ; E : oui parce que j'étais sûr que ça posait problème et personne n'a posé la question / je pense qu'ils avaient du mal / c'est pas évident à prononcer [...]). Une correction de l'enseignant sur la manière d'écrire « pH » illustre l'idée de mot-concept par la mise en relation des connaissances morphologique et sémantique du mot, appréhendé comme un terme spécifique au domaine de la chimie :

V5 3'40 - E: because the different solutions don't have the save pH / and finish the sentence by yourself // don't have the same pH and / pH with a little p / big H // what does it mean / pH? // what does the p and the H?

E1 (plusieurs en même temps) : paper / power hydrogen

E (avec un ton marquant l'étonnement) : paper ?

E1: non / power

E: power / power of hydrogen // I told you / hydrogen / H plus / it's the index of something acid

L'enseignant conclut l'échange en rappelant rapidement le lien entre la présence d'ions hydrogène H⁺ et le caractère acide d'une solution.

⁴⁶ « Cela est le cas surtout des langues apparentées, dont la ressemblance phonique ou graphique des lexèmes permet d'établir une réelle correspondance (on parle dans ce cas de mots transparents, que Masperi (1996, p.492) appelle les « vrais amis » par opposition aux « faux-amis » ». Gerolimich, 2009, p.113

III.2.1.4. Le spécialisé : chimie et anglais

Les énoncés d'activités comme le discours de l'enseignant en interaction avec les élèves présentent les caractéristiques du domaine spécialisé au sein de la discipline physique-chimie : le sujet traité, la terminologie employée et la phraséologie (cf. chapitre I.4.1 Petit, 2010) relèvent de la chimie et de l'étude de la matière en termes d'espèces chimiques, de transformation chimique, de caractère acido-basique d'une solution ou d'une espèce chimique. La similitude du trait morphologique entre les mots français et anglais⁴⁷ pour le domaine de spécialité de la chimie (niveaux de codétermination de 2 à 5) incite l'élève à s'appuyer sur ses connaissances du mot en français pour donner du sens aux textes et questions des activités en anglais. Le modèle d'association lexicale où les deux langues L1 et L2 sont dépendantes semble particulièrement favorisé. L'extrait de la séance (V7 5'57) où l'enseignant précise la signification du mot anglais *alkaline* en utilisant le synonyme *basic* contribue aussi à la mise en place de l'association lexicale L2-L1 : la connaissance du lexique spécifique en français (ici « basique, base ») aide l'élève à donner du sens au mot anglais (*akaline* par l'intermédiaire de *basic* synonyme communiqué par l'enseignant) rencontrés lors du cours de DNL. En revanche, associer un mot anglais présent dans l'énoncé à un mot français en s'appuyant sur le trait morphologique du mot conduit une élève, lors de la séance, à traduire spontanément *preservative* par « préservateur » et à commenter qu'elle « invente des mots » (V6 6'20) :

E: ok / any vocab question? // what's preservative?

El (autre que celui qui a lu): préservateur

El (autre): conservateur

E: oui / conservateur / préservatif en vinaigre euh non (des élèves rient)

El (celle qui a dit préservateur): j'invente des mots

L'enseignant s'appuie sur la réponse correcte d'un élève pour valider le sens du mot *preservative* (« oui / conservateur / »), en contexte, car une autre réponse fautive proposée est en même temps rejetée avec un raccourci de langage (« préservatif en vinaigre euh non »).

La phraséologie est typique du sujet traité dans une activité donnée : pour celle sur les acides forts et faibles, la notion de force d'un acide en solution aqueuse est mobilisée à travers les idiomes *concentration of hydrogen ions in solution, is totally ionised in water, is only partially ionised in water, etc* ; le protocole fourni dans l'énoncé s'appuie sur des structures syntaxiques récurrentes comme *Put a 2 cm depth of ... in one test tube, and the same amount of ... in another tube*. Pour la dernière activité de la séance où des exemples d'acides dans les aliments sont présentés, la phraséologie se caractérise par des expressions telles que *is made by, is made from, is used as, is found*

⁴⁷ Par exemple, dans l'énoncé de la nouvelle activité : « carboxylic acid » et « acide carboxylique » comme « ethanoic acid » et « acide éthanoïque », « oxidation » et « oxydation », « alcohol » et « alcool » ...

in... Les difficultés de compréhension ne semblent pas résider dans l'emploi de cette phraséologie spécifique, proche de celle en français et utilisée en chimie, mais nécessitent une vigilance sur la signification que les élèves donnent à ces expressions. Par exemple *amount of* est rencontré à plusieurs reprises et en fin de séance, un élève demande à l'enseignant ce que cela veut dire (par exemple, V6 5'23). De même, l'expression *change color* est récurrente lors de la correction de l'activité sur le chou rouge ; l'enseignant ne reprend pas les erreurs commises par les élèves qui ont tendance à dire et écrire *change of color* (par exemple, V5 2'05) même s'il mène les échanges en utilisant correctement l'expression. Dans les trois activités, la nominalisation, procédé caractéristique de l'anglais scientifique est peu utilisée dans les énoncés et s'applique plutôt pour des termes spécialisés de la chimie comme *test tube*, *universal indicator solution*, *sodium hydroxide solution* ou proches de la vie quotidienne comme *red cabbage juice*. Par conséquent, elle ne semble pas poser de difficultés aux élèves même si en production orale, des marques d'un anglais francisé peuvent être mises en évidence avec l'utilisation de « of », par exemple pour *the juice of the red cabbage* (V5 2'05).

Lors de la séance de DNL1, le concept d'acide est appréhendé au niveau phénoménologique par la mise en évidence de différentes propriétés des acides caractéristiques du modèle de Boyle :

“At the phenomenological level, acids can be defined using *the ancient model*, or Boyle model, in terms of their properties; for example, they have a sour taste, aqueous solutions of acids turn blue litmus red, they neutralise bases. [...]” (Drechsler et Van Driel, 2008, p.163).⁴⁸

Les énoncés d'activité conduisent l'élève à étudier le comportement d'acides à l'échelle macroscopique. L'anglais de spécialité propre à ce domaine de la chimie véhicule des contenus à des niveaux de codétermination de 2 à 5, mobilisés à travers une démarche scientifique pour les deux activités expérimentales corrigées, qui repose sur la réalisation de protocoles expérimentaux, l'observation, éventuellement une opération de mesurage, le traitement des données obtenues (changement de couleur, valeur du pH ...) et l'interprétation de ses données et à travers une activité documentaire fondée sur la sélection d'informations pour répondre à des questions : le spécialisé en termes de compétences disciplinaires ou de la langue cible est à la portée des élèves. Définir une praxéologie intégrée disciplinaire est alors envisagé.

⁴⁸ « Au niveau phénoménologique, les acides peuvent être définis à l'aide de l'ancien modèle, ou modèle de Boyle, en fonction de leurs propriétés ; par exemple, ils ont un goût aigre, les solutions aqueuses d'acides font virer le papier de tournesol du rouge au bleu, ils neutralisent les bases. » (Notre traduction). « Litmus red » est un papier filtre traité de couleur rouge, appelé « papier de tournesol », utilisé comme indicateur de pH universel.

III.2.1.5. Praxéologie intégrée disciplinaire

La langue anglaise est donc utilisée lors de cette séance de discipline non linguistique physique-chimie de manière à créer l'immersion en langue. Les contenus mis en jeu, propres à la physique-chimie, sont abordés à travers la langue cible en réception, en compréhension écrite des énoncés d'activité et en compréhension orale à travers le discours de l'enseignant, ainsi qu'en production écrite pour répondre aux questions des énoncés d'activité. Les productions orales des élèves sont très réduites et sont générées par l'enseignant qui invite les élèves à participer en les interrogeant individuellement. Autrement dit, aucune situation de communication spécifique n'est proposée pour favoriser les interactions orales entre élèves. En effet, les supports en anglais exploités par les élèves relèvent des énoncés d'activité réalisée en classe dont deux, corrigées, présentent un caractère expérimental et une, la nouvelle, est plutôt documentaire. La mise en œuvre d'un protocole expérimental et l'exploitation des observations par les élèves les amène à expliquer le rôle du jus de chou rouge en tant qu'indicateur coloré acido-basique, à comparer la force de l'acide éthanoïque et de l'acide chlorhydrique.

L'explication d'un fait de physique n'est pas l'objet principal des séances mais est présente dans les démarches scientifiques des élèves, notamment à travers la formulation de questions qui commencent par « pourquoi » ou appellent une justification (par exemple, 2. *Why does the red cabbage juice color is changing in contact with water, vinegar, lemon, white wine or detergent?* 3. *Sometime, we call the red cabbage juice: "pH indicator". Explain why.*). Les énoncés jouent le rôle de media car ils fournissent des informations aux élèves sur ce qu'est un acide fort, le jus de chou rouge ou tel acide carboxylique présent dans tel aliment, et ils jouent le rôle de milieu car les élèves doivent s'appuyer sur leurs connaissances de chimie liées à différentes notions (pH, solution, ions hydrogène et hydroxyde, transformation chimique ...) et sélectionner les informations présentes dans les médias pour répondre aux questions posées de l'énoncé. La dialectique média-milieu s'opère pour que l'élève réussisse ce qui est demandé à travers les questions de l'activité. Le type de tâche relatif à l'explication en anglais d'un fait de physique, explicite dans certaines questions, peut être associé, avec adaptation, à la praxéologie de référence définie au chapitre II.3.3 :

Type de tâche	Expliquer un fait de physique par un texte à l'écrit en anglais.
Technique	Reconnaître des indices et faire des déductions (extraire et exploiter des informations).
Technologie	Discours en anglais, constitué des termes anglais nécessaires pour exprimer les notions, concepts intégrateurs présents dans les médias.
Théorie	Discours qui relève des connaissances antérieures à mobiliser, relatives à la physique-chimie et/ou à la L2.

Tableau 10. Praxéologie intégrée scolaire établie par analyse de la séance DNL1 en fonction de celle du MER

Concernant la technique, la reconnaissance d'indices et les déductions pour extraire et exploiter les informations nécessaires à mener à bien l'explication d'un fait de physique ne sont pas clairement enseignées lors de la séance : elles sont probablement mises en œuvre par quelques élèves qui parviennent à répondre de manière autonome aux questions mais aucun élément observable ne permet de l'affirmer. L'enseignant intervient peu auprès des élèves pour les inciter à repérer les mots et idées clés présents dans les médias puis à les mettre en relation pour produire une réponse. Par exemple, à la deuxième question de l'activité sur le chou rouge, l'explication-réponse (« énoncé-cible » ; cf. chapitre II.3.3, Duval, 1995) écrite au tableau du changement de couleur du jus de chou rouge en fonction de la solution avec laquelle il est mis en contact (2. *Why does the red cabbage juice color is changing in contact with water, vinegar, lemon, white wine or detergent?* - une formulation correcte serait : [Why is the color of red cabbage juice is changing...]) est constituée d'un premier argument (les solutions ont des valeurs de pH différentes) puis du fait observé à expliquer (la couleur change) et enfin d'un argument de relation causale (la couleur dépend du pH) : *because the different solutions don't have the same pH and red cabbage color is changing and depending of [on] the pH*. Lors de l'interaction orale avec deux élèves pour corriger cette question, chaque argument attendu dans la réponse est formulé approximativement par un élève (*because they don't have the same pH ; the juice of the red cabbage change of color*) et l'enseignant précise l'ensemble (*yes because we've got different solutions with different pH and/ the red cabbage juice is changing color regarding the pH*) :

V5 2'05 – L'enseignant lit la question 2.

E: *Why does the red cabbage juice color is changing in contact with water, vinegar, lemon, white wine or detergent? [Why is the color of red cabbage juice is changing...]*

E1: *because they don't have the same pH*

E: *yes / because / yes / so all those liquids have the same pH // And what's happen / happening with this red cabbage juice? / What's the property of this?*

E1 (autre, a levé la main): *the juice of the red cabbage change of color*

E: *yes because we've got different solutions with different pH and/ the red cabbage juice is changing color regarding the pH // ok? // Who wants to write on the board?*

L'explication produite à l'écrit au tableau sous la dictée semble de moins bonne qualité que celle synthétisée à l'oral par l'enseignant puisque fait observé et argument sont imbriqués. Il n'est pas fait référence aux résultats expérimentaux présentés avec l'énoncé dans le tableau de mesure du pH de chaque solution et dont l'interprétation conduit à conclure que les solutions ont des pH différents (idée clé du milieu). Or, c'est par déduction que les élèves peuvent expliquer que le jus de chou rouge change de couleur en fonction de la solution avec laquelle il est mis en contact : sa couleur change en fonction du pH de la solution. Ce raisonnement déductif n'est donc pas mis en évidence dans l'énoncé-cible.

De même pour la question 4 de l'activité (*Explain how to use red cabbage juice as pH indicator now.*), la réponse écrite au tableau (*We just need to drop the red cabbage juice in the solution, and check the color to find the pH*) rend implicite le raisonnement déductif à mener à partir du tableau obtenu dans

la partie III de l'activité, qui met en relation *pH zone* et *color of red cabbage juice*. Le bloc logos montre que l'explication du changement de couleur du jus de chou rouge mobilise la notion de pH d'une solution et met en évidence l'influence d'une variable (pH) sur la grandeur étudiée (couleur). L'élève utilise ses connaissances en chimie tant au niveau des notions que de la démarche scientifique à caractère expérimental. Le discours contient les mots en anglais qui permettent d'exprimer ces connaissances et qui ont été rencontrés au cours du processus dialectique média-milieu. L'emploi récurrent de « and » dans les énoncés-cible⁴⁹ semble mettre sur le même plan des observations issues de l'expérience et le lien de causalité entre solution, pH et couleur (le marqueur de causalité dans l'énoncé-cible de la question 2 serait *depending on*). Le discours qui correspond à la technologie du bloc logos est produit par les élèves à partir d'éléments langagiers présents dans l'énoncé d'activité (V5 2'05). C'est l'enseignant qui l'enrichit à l'oral lors des échanges ou lors de la dictée car les élèves n'y parviennent pas de manière autonome (V5 3'40 – *depending on* ; V6 0'59 – *drop some*).

Lors de l'entretien d'auto-confrontation, l'enseignant évoque la stratégie des élèves pour écrire en anglais (reprise de mots ou de morceaux de phrases de l'énoncé, paraphrases) et produire une réponse, coûte que coûte, même si celle-ci est erronée par manque de compréhension des textes et/ou de la question :

AC1-7 ; 10 ; E : (48'10) Là elles n'ont toujours pas trouvé / j'ai eu le temps de faire le tour et je reviens / elles n'ont toujours pas trouvé / elles n'ont pas compris ce que je leur ai expliqué en anglais / on relit / par contre elles ont essayé de mettre une autre réponse mais qui était fausse aussi /

AC1-7 ; 11 ; N : elles ont répondu en anglais

AC1-7 ; 12 ; E : oui toutes les réponses sont en anglais / je vois qu'elles n'ont toujours pas compris / elles reprennent des mots / souvent elles prennent des morceaux de phrases / donc là je leur explique en français mais je vois que c'est la fin de l'heure donc euh /

AC1-7 ; 13 ; N : elles prennent des morceaux de phrases / du texte ?

AC1-7 ; 14 ; E : oui souvent ils font / pour répondre aux questions / ils prennent des / tu sais c'est ce qu'ils font en anglais / ils paraphrasent le texte

AC1-7 ; 15 ; N : d'accord

AC1-7 ; 16 ; E : donc là elles ont compris et elles le font en anglais / parce que j'ai expliqué en français donc je leur ai dit bon là écrivez en anglais maintenant / elles ont compris / [...]

Dans l'extrait ci-dessus, le passage au français avec reformulation de l'enseignant pour expliquer les contenus des médias aux deux élèves apparaît comme l'aide ultime à proposer : l'enseignant défend l'idée que si les élèves ont compris, grâce à l'utilisation du français par l'enseignant le sens de la question et la réponse à apporter, alors elles peuvent répondre correctement la question en anglais (V7 4'29 – E : qu'est-ce que ça veut dire ? // quelle est la différence entre le vinaigre qui est produit du

⁴⁹ Énoncé-cible (question 2): "because the different solutions don't have the same pH and red cabbage color is changing and depending of[on] the pH."; énoncé-cible (question 4): "We just need to drop the red cabbage juice in the solution, and check the color to find the pH"

vin et du cidre / et tous ces composés / par rapport au vinaigre qui est produit / qui est créé en laboratoire ? / la différence entre les deux molécules c'est quoi ?). C'est la stratégie qu'il adopte aussi pour aider une élève qui ne réalise pas la tâche demandée lors de la nouvelle activité dont les textes ont été lus et commentés à l'oral (V7 4'29).

III.2.2. Analyse de la séance DNL2 : observation, entretien d'auto-confrontation, retour sur la séance

La deuxième séance de DNL physique-chimie en anglais a lieu avec la même classe de seconde, avec dix-sept élèves. Les conditions de mise en œuvre de la séance et son déroulé avec la transcription de certains passages sont disponibles dans l'annexe III.2.2a. La transcription de l'entretien d'auto-confrontation est présentée dans l'annexe III.2.2b. Le document « retour sur la séance DNL2 » constitue l'annexe III.2.2c.

La séance est caractéristique d'une séance d'activité expérimentale en chimie, au cours de laquelle les élèves vont synthétiser un produit chimique (une matière plastique biodégradable à partir de l'amidon de maïs - *corn starch*). Elle peut être décrite en trois phases :

- Visionnage sur un écran en vidéoprojection, avec des pauses gérées par l'enseignant, d'une vidéo⁵⁰ sur les polymères et les matières plastiques (environ 10 min) – vidéo 1 : l'enseignant questionne régulièrement à l'oral les élèves lors des arrêts sur image orchestrés.
- Prise de connaissance de l'énoncé (sous copyright, présenté dans l'annexe III.2.2a) de l'activité expérimentale *Making a plastic from corn starch* (environ 10 min) – vidéo 1, 2, 3 : lecture de l'énoncé par l'enseignant ou par un.e élève, questionnement et commentaires de l'enseignant pour permettre au élèves de comprendre ce qui est sur l'énoncé, utilisation du français si nécessaire.
- Mise en œuvre du protocole expérimental de synthèse chimique par les élèves et intervention de l'enseignant pour les guider si besoin auprès d'un binôme d'élèves ou de l'ensemble des élèves (environ 30 min) – vidéo 3, 4.

L'analyse de la séance enrichie de celle de l'entretien d'auto-confrontation est également conduite autour des deux questions sur l'utilisation de la langue cible et des supports en anglais ainsi que sur les compétences mobilisées par les élèves en langue et en physique-chimie pour identifier la présence de traits caractéristiques d'une approche conceptuelle bilingue.

⁵⁰ Lors de la collaboration, il n'a pas été demandé à l'enseignant de communiquer la source pour retrouver la vidéo : la transcription de la vidéo n'a donc pas pu être réalisée.

III.2.2.1. Activités langagières en L2 et supports en anglais

Lors de la séance de DNL2, la langue anglaise est utilisée majoritairement dans des situations de compréhension audio-visuelle, orale (exploitation de la vidéo sur les polymères en début de séance, discours de l'enseignant) et écrite (énoncé d'activité). Lors de l'entretien d'auto-confrontation, l'enseignant indique comment il a choisi la vidéo, d'un point de vue de la recherche du support et des critères liés à la compétence en compréhension audio-visuelle des élèves :

AC2-1 ; 3 ; E : je vais sur youtube / après je l'enregistre et et euh / j'en regarde plusieurs / enfin je tape le thème / là polymer / et j'en regarde plusieurs et euh / je m'arrange pour que les images aident à la compréhension / pour que les mots de vocabulaire soient sur les images et que ça colle

AC2-1 ; 5 ; E : non je ne mets pas les sous-titres en principe / donc je m'arrange pour que les images collent au son / je choisis des vidéos récentes et assez modernes / avec des mots clés / quand même assez simples / après ben des fois ça parle vite /

L'exploitation du support vidéographique est menée par l'enseignant qui interroge régulièrement les élèves après quelques secondes de visionnage pour s'assurer qu'ils ont bien compris. Dès les premières secondes visionnées, l'enseignant s'assure que les élèves savent de quoi traite la vidéo (V1 5'40 - E : what's the topic?). Les interactions en anglais entre l'enseignant et les élèves reposent sur les mêmes modalités de fonctionnement que pour la première séance observée : l'enseignant pose des questions et quelques élèves y répondent à l'oral. Certaines questions ont pour objectif, lors du visionnage, de « mettre en confiance les élèves », lorsque l'enseignant estime que les contenus sont à la portée des élèves :

AC2-3 ; 4 ; E : oui et pour les mettre en confiance aussi / ça semblait très simple / *rigid* / il donnait les trois propriétés lentement / il disait les trois propriétés très lentement / très / c'est pour qu'ils se disent bon ben j'ai compris quand même un peu / parce que euh / j'ai peur qu'ils décrochent / au bout d'un moment / tu sais ça fait beaucoup d'anglais / donc quand il y a des choses simples comme ça

L'enseignant n'hésite pas alors à mettre sur pause la vidéo et /ou à faire passer plusieurs fois le même extrait pour aider les élèves à se concentrer et à apporter la réponse attendue :

V1 10'43 - L'arrêt du visionnage permet un nouvel échange :

E: what's the property of this one?

EI: plastic bottle

E: no / listen to it //

L'enseignant fait visionner de nouveau les dernières secondes de la vidéo :

EI: rigid and strong /

E: rigid and strong // to make plastic bottles // [...]

AC2-3 ; 6 ; E : oui ils n'ont pas compris les trois mots faciles / donc je me dis bon / il faut qu'ils se reconcentrent / tu sais parce que si tu laisses trop longtemps la vidéo au bout d'un moment ils décrochent / c'est pour ça que je fais des pauses /

Les interactions à l'oral autour de la vidéo correspondent à de très courts dialogues où les élèves qui le souhaitent prennent la parole et répondent à l'enseignant par des mots : l'enseignant s'appuie sur

les « bonnes réponses » pour les enrichir et/ou poursuivre le questionnement ; il fournit la bonne réponse si aucun élève n'y parvient :

V1 11'58 E: so we can add molecule to make a plastic [make plastic] /

El: stronger

E: stronger

El (autre): rigider

E: more rigid / and / resistant to?

El (autre): water

E: no // high temperature /

El (autre): ah voilà

Pour l'exploitation de la vidéo, l'enseignant décide de tout faire à l'oral :

AC2-2 ; 5 ; E : non là non / je m'étais dit qu'on n'aurait pas / ça prend du temps / ça prend / faut bien compter vingt / vingt trente minutes si tu expliques la vidéo / le temps de passer trois fois / de couper / qu'ils notent / donc là c'est juste une introduction à la partie sur le sport

Aucune production écrite n'est réalisée par les élèves au cours de la séance par manque de temps et choix de l'enseignant.

Le questionnement de l'enseignant aux élèves est similaire lors de l'exploitation de l'énoncé d'activité expérimentale sur la synthèse chimique d'une matière plastique. La compréhension écrite de ce qui est lu collectivement à partir de l'énoncé est travaillée avec des modalités analogues à ce qui est observé dans la séance de DNL1 : lecture puis questions de vocabulaire. Celles-ci sont centrées sur les mots relatifs à la verrerie et aux produits chimiques utilisés (cf. *infra*, III.2.2.3). En revanche, comme les élèves doivent mettre en œuvre un protocole de synthèse, l'enseignant les interroge pour faire en sorte que les étapes soient par la suite réalisées correctement. L'enseignant reformule aussi de nombreuses fois en anglais et/ou en français les contenus de l'énoncé en s'appuyant sur le matériel de chimie. Il veille à attirer l'attention des élèves sur les consignes de sécurité lors de la manipulation (par exemple, V2 3'34). Les quelques réponses d'élèves se réduisent souvent à des mots en anglais, avec une aide de l'enseignant qui peut mimer la situation :

V2 2'33 - L'élève poursuit la lecture du dernier paragraphe. La deuxième phrase termine par « plasticiser », l'enseignant interrompt la lecture.

E: yes plasticiser / remind to us [remind us] what's this? // it makes the plastic? (E fléchit et tend le bras)

El: bending

Comme toutes les interactions se déroulent à l'oral et que les élèves n'ont pas à répondre à des questions posées à l'écrit, il semble difficile de les inciter à participer à davantage en anglais, de manière spontanée, et d'évaluer dans quelle mesure les supports exploités collectivement sont globalement compris à titre individuel. D'où les pistes de réflexion qui sont proposées dans le paragraphe « s'exprimer à l'oral en anglais, en continu » dans le document « retour sur la séance de DNL2 » en annexe III.2.2c.

III.2.2.2. Caractéristiques du bilinguisme holistique

La présence du bilinguisme se manifeste par les mêmes traits décelés lors de l'observation de la séance DNL1 : alternance codique intraphrastique (micro-alternance⁵¹) entre français et anglais pour clarifier les contenus de la vidéo et de l'énoncé, stratégie d'appui en L1, préoccupation de l'enseignant pour favoriser un équilibre entre discours en langue cible et contenus spécifiques à la chimie. Les réponses formulées par les élèves à l'oral le sont de plus en plus en français, au fur et à mesure que la séance se déroule. Lors de la réalisation du protocole expérimental, les élèves communiquent entre eux.elles en français. L'enseignant utilise l'une ou l'autre langue en fonction de la personne à qui il s'adresse et de ce qu'il doit dire :

AC2-6 ; 11 ; E : [...] et là ben forcément ceux qui n'ont jamais utilisé le bec bunsen ben j'ai dû expliquer plusieurs fois / en français / et de toute façon je ne peux pas tout faire en anglais c'est trop compliqué / surtout ceux qui sont en retard / ou en difficultés

AC2-6 ; 15 ; E : [...] moi je passe récupérer la maïzena qui reste et je contrôle que tout se passe bien / je demande en anglais de me donner la maïzena pour la récupérer

AC2-6 ; 17 ; E : [...] et quand ils ont un problème avec le protocole ils savent qu'ils peuvent venir me demander / c'est pareil en cours en français // après elle elle est forte en anglais alors je lui parle en anglais / elle est forte aussi en physique

La stratégie d'appui en L1 mise en place par les élèves pour participer spontanément semble plus fréquente que pour la séance de DNL1 : le manque de vocabulaire en anglais ou de préparation des questions peut expliquer ce constat. En effet, la vidéo traite d'un thème nouveau pour les élèves, d'un point de vue de leurs connaissances en chimie et en langue anglaise. Les nouveaux mots en anglais sont uniquement prononcés à l'oral dans la vidéo : leur reconnaissance demeure improbable à moins que le répertoire linguistique des élèves ne les contienne déjà. C'est toute la difficulté de la compréhension audio-visuelle ; sans étayage ou un travail préalable, cette manière de procéder laisse peu de choix à l'élève : formuler en anglais l'idée en utilisant un synonyme ou en reformulant ou passer par le français. Dans les exemples ci-dessous, *flexible*, *biodegradable* sont absents de la réponse de l'élève :

V1 10'43 [...]

E: rigid and strong // to make plastic bottles // Do we want always [always want] rigid and strong plastic?

E1: euh non / le plastique qu'on tort

E: it could be flexible

⁵¹ Cf. chapitre I.2.4 : la micro-alternance définit le passage ponctuel d'une langue à l'autre, par des « reformulations » qui n'entravent pas l'aspect communicatif de la situation mais profitent à la construction des savoirs de la discipline.

V1 14'40 [...]

E: petrol [oil] and // if you leave it in the nature [in nature] it will stay for years and years /

El: it's not biodégradable

L'enseignant fait aussi utiliser le français aux élèves lorsqu'il attend une traduction d'un mot en anglais.

C'est une manière, pour lui, de vérifier que les élèves savent de quoi parle le texte :

V1 16'39 [...]

E: so / in this activity / you're going to use starch / to make a plastic [make plastic] // this is corn starch (il prend le paquet de fécule de maïs sur la paillasse-bureau et le montre aux élèves) // what's the other name?

El: de la farine?

E: no / starch is amidon / amidon de maïs / fécule de maïs / and if you look at the ingredients / ingrédients / amidon de maïs / voilà c'est tout / c'est que de l'amidon de maïs / donc les nouveaux plastiques qu'on achète en supermarché sont faits à partir de maïzena / c'est ce qu'on va faire aujourd'hui /

L'enseignant étaye alors en français pour préciser la réponse de l'élève et pour reformuler l'enjeu de l'activité expérimentale :

AC2-5 ; 3 ; E : pour être sûr / parce que là c'est quand même un peu la clé du TP / c'est que c'est fait à partir de l'amidon de maïs / donc je me suis dit si / enfin je voulais que ce soit clair pour tout le monde / pour raccrocher tout le monde // puis je lis le texte

La langue française permet également de rappeler les règles de sécurité (AC2-6 ; 7 ; E) et de développer les consignes pour que les élèves réalisent les gestes appropriés selon les étapes de la synthèse chimique (par exemple : V2 4'52 ; V3 0'0 à 4'45). Lors de la séance DNL2, la reformulation en français tient donc une place importante, au niveau des savoirs et savoir-faire de chimie propres à l'activité (cf. *infra*, III.2.2.4).

III.2.2.3. Connaissance du mot et concept

Comme mentionné précédemment au III.2.2.1, la séance de DNL2 se caractérise par une densité élevée de contenus de chimie : de nombreux mots dans la vidéo et dans l'énoncé relèvent du champ de spécialité du sujet traité autour de la synthèse de la matière plastique. En compréhension audiovisuelle, la connaissance du trait phonologique du mot en anglais constitue une aide pour l'élève. Dans le cas où la prononciation du mot en anglais et en français est proche et que le mot en français est connu, l'élève réalise une association lexicale. Par exemple, les échanges autour du thème de la vidéo ont lieu autour du mot *plastics* et *polymers* qui font partie des premières secondes de la lecture de la vidéo :

V1 5'40

E: what's the topic?

El: plastics

E: plastics yes / plastics and? /

El (autre): and polymers

E: polymers // you know some polymers / poly? / poly something?

El: plusieurs / plusieurs matières

E (en français): polyester/ poly ?

El(autre) : polystyrène

E : polystyrène / ok / carry on

En référence aux quelques élèves qui participent aux échanges, il semble que le mot « polymère » et les mots en français qui désignent des exemples de polymères soient connus des élèves. Par contre, la notion de polymère⁵² est expliquée dans la vidéo après l'échange précédent et paraît être découverte par les élèves, ce que confirme l'enseignant lors de l'entretien (V1 8'13 et AC2-3 ; 2) :

V1 8'13 - Le mot anglais « polymerisation » est prononcé dans la vidéo, l'enseignant la met en pause.

E: so / how can we create polymer? /

El (lève la main): euh / put the carbon together

E: yes but it's not only the carbon

El: carbon to make a chain

E: yes / but we're using a little molecule

[...] E: so I'm going to finish this video / finally // so when you see a molecule / a small one / which is monomer / and we stick [them] together to be a polymer / ok/

AC2-3 ; 2 ; E : euh voir s'ils ont bien compris que / on partait d'une petite molécule qu'on soudait / qu'on répétait / enfin / la notion de polymère en fait / de polymère et de monomère sans utiliser forcément le mot de monomère qu'ils ne connaissaient et qui / je préfère être simple comme c'est des secondes / leur dire une petite molécule on la répète plein de fois / on la soude et on obtient une grande molécule / parce que le terme monomère est pas utile // alors là avec la vidéo c'était mieux avec styrène et polystyrène parce que polyéthène ils ne connaissent pas / le mot // j'sais pas si tu as entendu au début mais quand je parlais de polymère / y en a qui disaient polymère plusieurs matières / et après ils ont compris polymère plusieurs molécules

L'enseignant donne plus d'importance à la notion qu'au mot qui la désigne : c'est très explicite pour « monomère » qui est moins employé dans la vidéo et dans les échanges en classe. L'explication de la notion de monomère ou polymère fournie par l'enseignant en anglais au niveau microscopique mobilise la notion d'atome de carbone et de molécule (« *a small molecule* ») que les élèves connaissent et les termes *polymer*, *monomer* présents dans la vidéo. Elle est aussi proposée à un niveau de formulation accessible aux élèves avec l'évocation de l'image de molécules collées, soudées. Les exemples de polymères présentés dans la vidéo comme produit synthétisé, à partir d'un monomère par réaction de polymérisation, contribuent à l'appropriation de la notion par les élèves.

⁵² Dans le glossaire d'accompagnement des programmes de chimie au lycée (MENJ, 2019, p.24) fondé sur la terminologie de l'International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), la définition d'un polymère est rappelée à une échelle de description macroscopique : « Ensemble d'un nombre élevé de macromolécules, de tailles non uniformes, construites par répétition d'une ou plusieurs unités structurales appelées « unité de répétition » (motif). »

Lors de la lecture de l'énoncé, l'enseignant interroge régulièrement les élèves sur le sens des mots propres à la chimie. En ce qui concerne la connaissance de la verrerie et des substances chimiques utilisées pour le protocole de synthèse, l'association lexicale d'un mot en L2 avec un mot en L1 est privilégiée à travers les interactions orales lorsque les élèves ont recours à la traduction mot à mot. Comme les mots désignent un objet ou une substance « de la chimie », la stratégie de l'enseignant (qui opère de la même façon en cours standard en français) consiste aussi à prendre et montrer le matériel aux élèves :

AC2-6 ; 7 ; E : là nan c'est pas courant d'utiliser le verre de montre donc je leur explique *watch* montre et *glass* verre et je montre le creuset / [...]

Cette manière d'agir reflète l'effort de l'enseignant pour favoriser l'apprentissage des élèves, dans un contexte particulier où spécialité de la discipline enseignée et spécificités liées à l'usage de la L2 au service des contenus disciplinaires sont deux sources de difficultés pour les élèves.

III.2.2.4. Le spécialisé : chimie et anglais

La vidéo d'introduction sur les polymères et l'énoncé d'activité traitent de la chimie à des niveaux de co-détermination de 2 ou 3 à 5 : les caractéristiques du spécialisé (cf. chapitre I.4.1 Petit, 2010) sont bien visibles, comme lors de la séance DNL1. Les termes propres à la chimie des polymères dans la vidéo et à la chimie de synthèse dans l'énoncé sont omniprésents. De même, la phraséologie liée à la réalisation expérimentale est caractéristique de l'anglais de la chimie (au sens proche de l'anglais des sciences, cf. chapitre I.4.3, Chaplier, 2017) et se manifeste par des structures syntaxiques similaires à celles rencontrées pour la séance de DNL1. Pour la séance DNL2, les expressions relatives à des étapes du protocole spécifique d'une synthèse sont employées avec un champ lexical spécifique, par exemple celui du chauffage (*heat the mixture using, bring it carefully to the boil, boil it gently for, not boil dry, stop heating ...*).

L'usage de deux supports différents en anglais contribue à varier la manière de traiter le thème de la chimie des polymères. La notion de polymère abordée dans la vidéo et lors d'échanges en classe est reprise dans l'activité avec l'exemple de l'amidon de maïs. De même pour le rôle de l'additif (*plasticiser*) qui change les propriétés d'un polymère et est utilisé dans le protocole de synthèse (V1 12'44 - E: so I'm gonna add inside / plasticiser / like this / listen to it // et V2 2'33 - E: yes plasticiser / remind to us remind us [remind us] what's this? // [...]). La séance DNL2 permet donc aux élèves de développer des connaissances en chimie en termes de savoirs spécifiques à la discipline et également en termes de compétence expérimentale, à travers l'alternance codique de la L1 et de la L2. Suivre et mettre en œuvre un protocole expérimental de synthèse est la principale compétence à mobiliser dans l'activité. Comme l'enseignant passe systématiquement par une traduction/reformulation en français des étapes du protocole, il est impossible d'évaluer l'aptitude des élèves à recourir à cette compétence

à partir du support en anglais. De même il est difficile de savoir si l'élève parvient à analyser le protocole, c'est-à-dire à donner du sens à chaque étape en s'appuyant sur ce qu'est un protocole de synthèse en chimie, même si lors de l'entretien l'enseignant indique ce qu'il a mis en place pour favoriser cet « apprentissage » :

AC2-6 ; 3 ; E : ils ont compris que l'amylopectine c'était euh / enfin j'espère / que ça empêchait de faire du plastique / qu'il fallait casser cette molécule avec de l'acide / donc je leur montre qu'on a de l'acide et que c'est ce qu'on va faire // et là je fais le lien avec la vidéo avec le plastifiant / pour comprendre à quoi ça va servir de mettre ça dedans // [...]

Identifier une praxéologie intégrée disciplinaire est alors moins aisé que pour la première séance de DNL observée.

III.2.2.5. Praxéologie intégrée disciplinaire

En effet, le type de tâche « expliquer un fait de physique » n'est pas explicitement mis en œuvre par les élèves. Si le fait en question est les propriétés observées du plastique biodégradable synthétisé, une reformulation par les élèves du protocole à envisager consiste, à un premier niveau, à décrire le rôle de chaque étape de la synthèse dans l'explication des propriétés du plastique et, à un deuxième niveau, à justifier chaque étape, ce qui peut constituer l'explication du fait de physique (cf. III.2.3.2 et les propositions dans le document de retour sur la séance). En fait, l'énoncé de l'activité expérimentale est conçu pour que les médias proposés (phrases introductives pour le contexte et l'objectif de l'activité, liste de matériel et protocole expérimental) soient explorés par les élèves qui doivent répondre à des questions dans la quatrième partie : la dialectique média-milieu mise en évidence au III.2.1 est aussi présente dans l'énoncé mais non observée lors de la séance. La question 3 demande à l'élève d'expliquer les propriétés du plastique synthétisé en présence ou en l'absence de l'ajout du plastifiant dans le protocole. Ainsi ce type de tâche a sa place dans le cadre d'une activité expérimentale de synthèse en chimie. La réflexion sur le manque de temps pour répondre aux questions lors de la séance 2 et mettre en œuvre une praxéologie en lien avec la réalisation du protocole est développée dans le paragraphe III.3.2.

L'observation de la séance de DNL2 suscite également un questionnement sur la mise en place d'une praxéologie intégrée disciplinaire à partir du support vidéo car les interactions entre l'enseignant et les élèves lors de son exploitation à l'oral concernent aussi les propriétés des plastiques et le rôle de l'additif pour les changer. L'analyse de l'utilisation de la vidéo en anglais pour construire des savoirs en physique-chimie est précisée au III.3.2 en référence au document « retour sur la séance DNL2 ».

Synthèse du III.2. Observation et analyse de séances de physique-chimie en anglais (DNL) menées par l'enseignant complice

Deux observations *in situ* de séances de physique-chimie en anglais en section européenne en classe de seconde auprès de 14 (DNL1) et de 17 élèves (DNL2) sont réalisées pour relever la présence d'éléments caractéristiques de l'approche bilingue conceptuelle et de la praxéologie de référence définies aux chapitres I et II et pour en dégager des conditions et des contraintes. Les deux séances filmées sont très différentes. La première repose sur la correction de deux activités expérimentales réalisées par les élèves les semaines précédentes et une activité documentaire. Les contenus traitent des acides et des bases (énoncés en annexe III.2.1a). La seconde séance concerne la synthèse d'une matière plastique. Le déroulement des séances est présenté avec des extraits transcrits de l'enregistrement vidéo dans les annexes III.2.1b et III.2.2a. Un entretien d'auto-confrontation avec l'enseignant complice (Theureau, 2010 ; Leblanc et al. 2013 ; Leblanc, 2014) mené en différé, après les observations, permet d'obtenir des éléments de contexte et de clarification sur ce qui est observé dans les séances. Il est intégralement transcrit (annexes III.2.1c et III.2.2b). Un document « retour sur la séance observée » (annexes III.2.1d et III.2.2c) est partagé avec l'enseignant complice qui le commente à l'écrit : il reprend des éléments observés lors la séance et propose des pistes liées à l'approche conceptuelle bilingue, à la dialectique média-milieu et à la praxéologie de référence, en vue de la co-construction de la séquence.

Une analyse des séances à partir des transcriptions d'extraits des films et des entretiens d'auto-confrontation est présentée à l'aide de catégories qui reposent sur l'expertise menée au chapitre I et au chapitre II : activités langagières en L2 et supports en anglais, caractéristiques du bilinguisme holistique, connaissance du mot et concept, le spécialisé : chimie et anglais, praxéologie intégrée disciplinaire. Les supports en anglais sont diversifiés (plusieurs registres sémiotiques ; Duval, 1995). Les séances mettent principalement en jeu la compréhension orale lorsque l'élève écoute l'enseignant, audio-visuelle par l'exploitation de la vidéo en début de séance DNL2 et la compréhension écrite par l'intermédiaire des énoncés rédigés en anglais. Elles révèlent la présence de difficultés pour écrire des phrases en réponse aux questions de l'activité et pour répondre à l'enseignant en anglais. L'alternance codique est utilisée par l'enseignant dans un souci de clarification, d'explication, en particulier lorsqu'il estime que les contenus à enseigner sont inconnus des élèves, ou pour aller plus vite. La place conférée par l'enseignant à l'apprentissage du vocabulaire (cf. chapitre I.3.2 Lecocq et Segui, 1989 ; cf. I.3.3 Long, 1991 et Nation ,1990) est importante et les questions autour des mots nouveaux en anglais sont fréquentes : le trait morphologique du mot prédomine dans les interactions professeur-élève(s), l'association lexicale de la L2 à la L1 est privilégiée, le recours au concept désigné par le mot par des reformulations dans la même langue ou d'une langue à l'autre est presque absent. La langue anglaise

n'est pas l'objet d'étude : l'enseignement et l'apprentissage concerne le domaine spécialisé de la physique-chimie. Les faits de chimie étudiés sont expliqués à l'échelle macroscopique, par une approche phénoménologique. Il est difficile d'évaluer ce que les élèves ont acquis en termes de contenus disciplinaires malgré une réalisation de la séance à partir d'activités structurées, sans doute parce que le cours dialogué est la modalité d'organisation de travail privilégiée par l'enseignant. « L'état des possibles » (cf. III.1.1, Astolfi, 1993) dressé à la fin de ce dispositif collaboratif autour des séances de DNL laisse se dessiner la praxéologie intégrée disciplinaire de référence mais sous une forme incomplète : ce qui relève de la technique (repérage, inférence, analogie, reformulation) manque dans les deux séances. Le document « retour sur la séance observée » apporte alors des précisions et des compléments à l'enseignant complice pour que ces stratégies soient observables lorsque les élèves exploitent les supports en anglais.

Les observations des séances, les entretiens d'auto-confrontation et le document partagé avec un retour sur chacune des séances apportent aussi de précieuses informations sur la manière de collaborer avec l'enseignant complice pour construire une séquence qui intègre l'approche conceptuelle bilingue. Celles-ci sont présentées dans ce qui suit.

III.3. Prise de recul sur la collaboration et l'analyse des séances de DNL observées

III.3.1. Complicité à travers les entretiens d'auto-confrontation des séances de DNL

L'entretien d'auto-confrontation met en évidence la collaboration d'un point de vue de la co-situation (cf. III.1.1, Desgagné et al., 2001). En effet, le rôle de l'entretien a été présenté à l'enseignant complice qui s'est approprié le « contrat », ce qui a contribué à aborder les extraits visionnés à différents niveaux de co-détermination, du niveau 0 (pédagogie) au niveau 5 (sujet d'étude) : les échanges sont centrés sur l'intégration de l'anglais et des contenus disciplinaires liés au domaine de la chimie des acides et des bases. Lors du premier visionnage (AC1-0, AC1-1), la réaction de l'enseignant complice face à son image était prévisible, comme le détaille Leroy (2011, p.8) : « Une fois passé le choc de se voir avec ses mimiques, son accent, son corps en déplacement, les FE [futurs enseignants] parviennent alors à entrer dans des postures davantage réflexives. ». L'enseignant complice ne s'est jamais vu filmé en situation d'enseignant et commente sa manière de parler :

AC1-0 ; 10 ; N : [...] // tu t'es déjà vu en classe filmé ?

AC1-0 ; 11 ; E : non j'aime pas trop on va dire

AC1-0 ; 12 ; N : bah tu vas être habitué du coup [E rit] / alors je vais laisser quelques secondes dérouler comme ça on va voir si le son fonctionne aussi je vais essayer mais c'est un peu à l'instinct tu sais

AC1-1 ; 2 ; E : je parle fort [L rit] les élèves me le disent

AC1-1 ; 6 ; E : l'accent ça va / tu n'as pas trouvé que c'était trop

AC1-1 ; 7 ; N : non je comprends / les élèves aussi non ?

AC1-1 ; 8 ; E : oui (rire)

Mener les entretiens d'auto-confrontation a été aisé : l'enseignant prend souvent la parole de lui-même pour commenter et préciser ce qui se passe dans la classe. Ainsi, peu de questions envisagées lors de la préparation de l'entretien (Theureau, 2010 ; Leblanc, 2014 ; Leblanc et al., 2013) ont été formulées en tant que telles : l'échange en a été plus fluide, plus spontané et naturel, et il semble qu'une forme de complicité (enseignant « chercheur collaboratif », cf. III.1.1) s'est plus facilement installée. D'ailleurs, pour le deuxième entretien d'auto-confrontation qui a eu lieu environ cinq semaines après la mise en œuvre de la séance par l'enseignant, le choix de faire défiler rapidement tout le film de la séance et de permettre des pauses sur des extraits plus ciblés (annexe III.2.2b) repose sur la prise en compte de cette temporalité et la volonté d'une « réimmersion » (Theureau, 2010) plus rapide. Et dans ce cas aussi, l'enseignant prend régulièrement la parole, de manière spontanée, pour décrire son action, ses préoccupations, ses attentes : les questions formelles issues de la méthodologie de ce type d'entretien (Theureau, 2010 ; Leblanc, 2014 ; Leblanc et al., 2013) ont peu été utilisées pour déclencher la parole, à l'exception des moments où il a semblé utile de questionner explicitement l'enseignant sur des actions particulières pour en dégager ses intentions, en comprendre la finalité ou obtenir des éléments de contexte supplémentaire (par exemple AC2-1; 2 ; N et AC2-1; 4 ; N sur le choix de la vidéo de l'enseignant et l'utilisation ou non des sous-titre).

Pour les deux entretiens, les éléments de contexte que l'enseignant communique clarifie certaines interactions enseignant-élève(s) et lève les difficultés d'interprétation de ce qui est observé. Des commentaires de l'enseignant sur des élèves en particulier indiquent qu'il connaît les élèves, leurs points forts et/ou difficultés, leur manière de se comporter... (cf. différentes études de cas dans l'analyse menée). D'autres sur les choix de planification de la séance révèlent la capacité et la volonté d'adaptation de l'enseignant complice. Par exemple, dans le cadre de la collaboration, celui-ci a fait en sorte d'intégrer une compréhension audio-visuelle avant l'activité expérimentale pour la séance de DNL2 :

AC2-1 ; 1 ; E : donc là j'ai un peu / comme il y avait du retard et que je voulais te / comme je voulais montrer la vidéo avant le TP / si tu n'avais pas été là / j'aurais pas passé la vidéo / j'aurais pris tout le temps pour le TP et j'aurais gardé éventuellement la vidéo pour la fin / s'il me restait du temps.

Le choix de l'entretien d'auto-confrontation se révèle pertinent car l'enseignant complice a pu décrire son action en classe et verbaliser des intentions. Ce dispositif a enrichi l'analyse des séances. L'observation de la séance et l'entretien d'auto-confrontation permettent d'affirmer que la réflexion de l'enseignant complice sur l'enseignement bilingue est déjà initiée d'un point de vue du rôle de la langue et de l'alternance des langues dans la construction de savoirs disciplinaires. Intuition, perspicacité apparaissent comme des qualités de cet enseignant.

III.3.2. Apport de la médiation avec l'enseignant via l'outil intermédiaire « retour sur la séance observée »

A la fin de l'entretien d'auto-confrontation des échanges ont lieu sur les éléments de la séance de DNL qui peuvent être mis en relation avec ce qui est visé pour la séquence à co-construire. Certains de ces éléments sont ensuite communiqués à l'écrit à l'enseignant sous forme d'un document intitulé « retour sur la séance observée » (annexes III.2.1d et III.2.2c). Ce document (de type « outils intermédiaires », cf. III.1.1., Coppé et Tiberghien, 2013) est formulé dans un registre de langue accessible à l'enseignant et présente des idées fortement ancrées dans des pratiques de classes réalistes⁵³.

Il propose des pistes de réflexion autour des deux questions qui ont piloté l'analyse de la séance (utilisation de la langue anglaise et compétences mobilisées par les élèves). Il a été commenté à l'écrit par l'enseignant complice (ses commentaires sont en italiques, annexes III.2.1d et III.2.2c) : celui-ci est souvent d'accord avec les propositions communiquées et ajoute des remarques sur ce qui serait envisageable dans une autre séance de ce type ou de la séquence à co-construire. Les deux documents contiennent trois paragraphes communs. Le premier « S'exprimer à l'oral en anglais, en continu » vise au développement de pratique professionnelle spécifique au cours de DNL pour que les élèves prennent plus facilement la parole en anglais, à partir d'un support numérique pour le rappel de ce qui a été vu durant les séances précédentes et/ou à l'aide d'une application numérique comme aide à la prononciation en anglais et/ou en permettant aux élèves de construire leur réponse à l'oral en passant par l'écrit. Le deuxième paragraphe « Communiquer ses résultats » met en jeu la réflexion sur la confrontation des idées entre pairs, l'alternance codique pour favoriser la construction des savoirs disciplinaires dans un contexte bilingue et la relation entre mot et concept. Enfin le troisième point « S'approprier les savoirs disciplinaires » a pour but d'aborder l'approche conceptuelle tout en intégrant l'anglais ; elle évoque le rôle de la reformulation dans l'appropriation des notions et concepts de physique-chimie ainsi que la mise en place de démarche scientifique autour d'une question investigatrice. C'est le point le moins commenté par l'enseignant qui est d'accord avec les pistes proposées : certains éléments formulés font déjà partie de sa pratique comme par exemple la construction de l'activité sur le chou rouge autour de la question « *How can we use red cabbage as a pH indicator ?* ».

⁵³ Le document est issu d'expérience professionnelle de l'autrice, d'échanges avec des enseignants d'anglais du secondaire et avec Mme Tardieu, co-directrice de cette thèse, ainsi que d'éléments de connaissance issus de l'état de l'art présenté dans le chapitre I de ce manuscrit.

L'outil de médiation utilisé présente un intérêt pour la recherche-action collaborative menée car il révèle les différences de points de vue réflexifs entre enseignant complice et chercheure doctorante. Par exemple, l'enseignant réagit de manière très critique et réaliste sur les pistes qui lui sont proposées et n'hésite pas à montrer son désaccord (notamment pour la séance DNL2) : certaines propositions formulées paraissent alors utopiques par rapport au temps imparti dans la séance (« *Je pense encore que 10 minutes ne suffiraient pas.* ») et aux modalités de travail (DNL2 : tout ce qui relève des propositions sur la phonologie, lors de l'exploitation de la vidéo sur la polymérisation, est plutôt rejeté par l'enseignant, à juste titre si la priorité est pour la discipline physique-chimie et si la méconnaissance de la transcription phonétique par les élèves est un obstacle, comme il l'indique). Les échanges via le document indiquent que les deux partenaires de la collaboration prennent en compte la durée à consacrer à chacune des phases de la séance. En fait, l'ensemble de la méthodologie adoptée met en évidence que l'enseignant complice a le souci de rythmer la séance (par exemple, DNL1 : « Je pense que je vais à la facilité en dictant la phrase afin de gagner du temps et donner du rythme. » ou AC2-1 ; 1 ; E). La préoccupation des enseignant.e.s au sujet de la gestion du temps est souvent abordée dans les analyses d'entretiens comme l'indique Vérin (1998, p.157) :

« Le thème du manque de temps revient souvent dans les entretiens, plus particulièrement d'ailleurs au collège et au lycée, où les demandes institutionnelles par rapport au programme pèsent de façon importante. Les enseignants se sentent tiraillés entre le désir de prendre le temps nécessaire pour que les élèves approfondissent leur compréhension et la nécessité de traiter tous les chapitres au programme. »

Cette préoccupation est aussi présente dans l'élaboration des propositions livrées à l'enseignant pour les deux séances de DNL. Il est nécessaire d'y réfléchir dans la construction et la réalisation d'une séance pour éviter l'écueil d'une séance « idéale » où tout pourrait être fait. A ce titre, l'enseignant complice fait preuve de clairvoyance et pragmatisme, d'autant plus que dans le cas d'une approche conceptuelle bilingue, la recherche de l'équilibre entre opacité de la langue et densité de contenus (Gajo, 2009) est difficile. Une de ses réflexions à ce sujet est particulièrement décelable dans l'outil intermédiaire pour la séance DNL2 où il est suggéré de nommer chaque étape du protocole de synthèse pour évaluer la compréhension à travers la langue anglaise de celle-ci : « Oui, les élèves sont très concentrés sur le chauffage et parfois même effrayés. Si on leur donne autre chose à faire, ils ont tendance à ne pas réussir à se concentrer pour les faire. Mais il est vrai qu'il est possible de les stimuler à l'oral sur cette période » (enseignant complice, annexe III.2.2c).

De tels propos sont cohérents avec ce qui a été observé en classe : l'enseignant prend en charge, pendant au moins la première moitié de la séance, le déroulement du cours construit sur l'exploitation d'un support et les interactions orales entre lui et quelques élèves. Une interprétation possible, déjà

évoquée, est que l'enseignant est préoccupé par le temps et veut donner du rythme à la séance. Une autre provient de l'analyse de Vérin (1998, p.155) qui met en évidence l'élaboration d'activités structurées par l'enseignant.e pour « maintenir le cap en canalisant plus étroitement l'expression des élèves » et moins se confronter à des prises de décisions en situation d'enseignement puisque la part d'imprévu se trouve réduite. Par exemple, faire mener la phase de correction aux élèves dans la séance de DNL1 en mettant en place une modalité de travail qui leur permet de comparer leurs réponses (cf. propositions formulées sur le document en annexe III.2.1d) nécessite de voir l'élève comme étant capable de contrôler des réponses, de gérer une variété de réponses. Morge (2001, p.50) précise le rôle de l'élève pour interagir en classe :

« L'élève, disposant des connaissances lui permettant de s'insérer dans l'interaction, peut participer à la négociation des différentes productions.»

L'idée de confrontation de réponses suggérée à l'enseignant complice implique aussi des interactions différentes que celles observées puisque celui-ci devrait alors déléguer la gestion des interactions aux élèves tout en exerçant un contrôle de leurs discours (Morge, 2001, p.59-60). L'outil intermédiaire médiateur « retour sur la séance observée » aborde de manière implicite le rôle de l'enseignant à travers les interactions en classe, dans le cas d'une mise en œuvre d'une séance qui repose sur des « activités pré-construites » (Vérin, 1998).

La proposition de réagencement de la séance de DNL2 et celle pour l'exploitation de la vidéo en introduction de l'activité expérimentale (annexe III.2.2c) repose sur les mêmes considérations au sujet du rôle de l'élève. Par exemple, pour que l'élève exploite la vidéo en anglais et s'entraîne à la compréhension audio-visuelle de manière moins « canalisée », la notion de pré-tâche développée par Lorenzo et al. (2011, p.245-247) (cf. chapitre I.1.4) est mise en application lorsque les élèves prennent des notes au cours de plusieurs visionnages et résument le contenu de la vidéo. Ce point est évoqué sous une forme différente lors du deuxième entretien d'auto-confrontation où l'enseignant complice présente ce qui est fait d'habitude en compréhension audio-visuelle :

AC2- 2; 2 ; N : les élèves / ils sont habitués à travailler en / sur des vidéos comme ça à l'oral ?
AC2- 2; 3 ; E : en principe il y a des questions à l'écrit mais euh / oui euh / nan ils sont pas trop habitués / ils sont habitués à travailler sur vidéo / mais s'ils ont les questions à l'écrit ça permet aussi de prendre des notes / en principe je fais la vidéo une fois en entier / et après je la / je fais des parties de vidéo et ils répondent aux questions / donc on la regarde deux trois fois / et s'ils sont en difficulté je leur dis bon ben là question 1 c'est maintenant /

La notion d'habitude est en fait délicate pour estimer si la procédure d'exploitation d'une vidéo en compréhension audio-visuelle est automatisée, chez l'enseignant et chez l'élève. Morge (2001, p.44) rappelle que les écarts entre ce que déclarent les enseignants sur l'enseignement et l'apprentissage et ce qu'ils.elles mettent en œuvre dans les classes ont déjà été mis en évidence dans des travaux de recherche en didactique des sciences. Le document médiateur permet alors de mettre à l'écrit ce qui

est négocié dans le cadre de la collaboration pour que la dialectique média-milieu en compréhension orale d'une vidéo conduise à une praxéologie proche de celle définie dans le MER. D'ailleurs lors d'échanges libres avec l'enseignant complice après l'entretien d'auto-confrontation ce thème est à nouveau détaillé (hors annexe III.2.2b) :

AC2 ; N : (44'16) les élèves de terminale ont au bac de LV un enregistrement de trois écoutes / et ils doivent prendre des notes pour en faire une synthèse / on pourrait travailler sur ce type d'activité / pour optimiser les 10-15 minutes du passage de la vidéo / pour que les élèves écrivent quelques mots / comme rigide / densité / polymère

AC2 ; E : oui c'est vrai que faire un résumé je ne le fais jamais

AC2 ; N : peut être qu'une prise de notes sans faire un résumé est jouable en DNL / ça leur donne un type de stratégie pour la compréhension orale et le travail de la chimie

Les observations des séances de DNL enrichies des entretiens et de l'outil de médiation contribuent à faire des ponts entre la pratique ordinaire observée et le MER construit, pour envisager la séquence autour de l'effet de serre et du réchauffement climatique, ainsi qu'à instaurer les bases d'une recherche-action collaborative dont la complicité avec l'enseignant est recherchée dans une logique double (« un enseignant considéré comme un partenaire de l'investigation, « avec » qui on pose un regard complice et réflexif sur la pratique. », cf. III.1.1.). Dans quelle mesure l'approche conceptuelle bilingue identifiée à travers la pratique ordinaire de l'enseignant complice est-elle transférable dans la séquence envisagée ?

III.3.3. Pratique enseignante et approche conceptuelle bilingue

L'enseignant complice tient une position très claire vis-à-vis des élèves, par sa manière d'agir, sur le fait que la langue anglaise n'est pas un objet d'étude mais un outil de communication :

AC2 – 5 ; 5 ; E : euh oui là j'en avais marre / mais souvent je les fais lire / c'est eux qui lisent / ça me permet de voir comment ils lisent en anglais / je fais tourner la parole voir leur accent et corriger deux trois mots si besoin / mais on / en fait en section euro j'évite de trop les / les reprendre sur l' anglais / tu sais du moment qu'on comprend euh / sauf s'il y a de grosses erreurs de prononciation mais moi ce que je veux c'est qu'ils soient à l'aise / je veux pas qu'ils ont l'impression qu'ils fassent de l'anglais quoi / je ne veux pas les reprendre sur des euh / même quand ils parlent / s'ils font des erreurs d'anglais / qu'ils n'utilisent pas le bon temps qu'ils / pas les bons / qu'ils n'accordent pas les verbes c'est pas trop grave

L'exploitation des supports en anglais proposés par l'enseignant confère à la langue cible le rôle de « vecteur d'une compétence pragmatique. » (cf. chapitre I.2.2, Breton, 2009), où les contenus de la discipline enseignée ont toute leur place. C'est lors d'activités langagières en réception à l'écrit, à l'oral et en compréhensions audio-visuelle que l'approche conceptuelle en anglais et français semble plutôt accessible aux élèves de la classe. Comme mentionné au chapitre I.1.3 (Lorenzo, 2007), produire en anglais à l'écrit ou à l'oral leur est plus difficile. L'appropriation de contenus de physique-chimie « nouveaux », présentés dans les énoncés ou dans la vidéo visionnée (AC2-1 ; 6 ; N : ce sujet-là avait déjà été traité en tronc commun ou avec toi en DNL ? AC2-1 ; 7 ; E : nan /non je ne pense pas / enfin

les miens non / non je ne pense pas qu'ils ont vu les polymères / [...]), semble fortement conditionnée par l'étayage de l'enseignant qui recourt à l'alternance codique et à la reformulation en langue ou d'une langue à l'autre. Le guidage des élèves est fort et l'enseignement de stratégies spécifiques pour exploiter les supports en anglais peu « lisible ». Pourtant, la structuration des énoncés d'activités est favorable à la mobilisation de connaissances antérieures de physique-chimie via la dialectique médiamilieu. « Le degré de « perméabilité » des élèves à la teneur du document » (cf. chapitre II.3.2, Bailly et al., 2008) augmenterait si l'enseignement des techniques définies dans la praxéologie de référence était présent. L'absence d'enseignement explicite⁵⁴ de ce type constitue un élément de résistance pour la séquence à co-construire. Ainsi, le rôle de « médiateur du savoir » de l'enseignant complice (cf. chapitre II.4.1, Bueno Hernández, 2012) est à préciser lors des modules de co-construction pour envisager la mise en place de stratégies par les élèves et l'évaluation des leurs acquisitions en physique-chimie, à partir des supports en L2. En effet, la médiation est assurée lorsque l'enseignant complice a le souci que l'élève réalise la tâche demandée (séance DNL1 et 2) ; il assure alors un guidage pédagogique au sens de Altet et al. (2013, cf. chapitre II.4.1). Les interactions de ce-dernier avec les élèves révèlent par contre un guidage didactique et cognitif plus flous et moins efficaces.

Cela s'explique peut-être par la représentation de l'enseignant sur l'autonomie des élèves, par exemple sur la lecture des textes en anglais à partir desquels l'élève doit en extraire les informations pertinentes pour répondre aux questions de l'énoncé de l'activité :

AC5-2 ; 7 ; E : ben je me dis qu'ils ne le font pas et là il fallait avancer / je sais pas quelle heure il était / on n'avait pas encore commencé / il y avait le bec bunsen à utiliser // enfin // comme ça je suis sûr que tout le monde / à peu près / suivait en même temps / en classique je le fais aussi / parce que je me rends compte qu'il y en a plein qui lisent pas

Le fait de consacrer peu de temps lors de la séance à un travail individuel confère au cours un caractère modélisant : l'enseignant lit, dicte, traduit les phrases avec et aussi à la place des élèves, ce qui situe le guidage pour construire les savoirs ou gérer l'apprentissage en arrière-plan du guidage pédagogique. De plus, les habitudes de l'enseignant complice en cours « classique » (ses propos, au sujet de sa pratique déclarée) et en cours de DNL sont les mêmes ; il semble qu'il ne prend pas en compte les spécificités d'un cours de DNL en anglais. En effet, Chaplier (2013, p.68-69) montre, dans le cas d'enseignant.e.s-chercheur.e.s en sciences à l'université « l'absence de réflexion sur l'enseignement disciplinaire en anglais » et la primauté du « disciplinaire ». Elle en déduit :

⁵⁴ L'expression « enseignement explicite » est utilisée « naïvement » ; elle est consacrée en sciences de l'éducation à un cadre théorique particulier (par exemple : Gauthier, C., Bissonnette, S., Richard, M., & Castonguay, M. (2013). Enseignement explicite et réussite des élèves : la gestion des apprentissages. Pearson.)

« [...] il n'y a donc pas de nécessité à avoir un enseignement différent de celui dispensé en français. Par conséquent, le cours de sciences en anglais semble être une traduction de celui en français. »

Dans le cas de la collaboration avec l'enseignant complice autour des deux séances de DNL, l'analyse menée corrobore ce constat d'absence d'aménagement de cours de discipline en L2. D'ailleurs, l'utilisation d'énoncés authentiques issus de manuels à destination d'anglophones dans les séances observées va à l'encontre de l'idée d'un aménagement. Les modules de co-construction devraient permettre d'attirer l'attention de l'enseignant complice sur la mise en place d'une réflexion et d'une modification de la pratique enseignante pour permettre l'appropriation de savoirs disciplinaires par l'intermédiaire de stratégies d'élèves spécifiques à l'utilisation de la L2. La réflexion inclut la présence du bilinguisme et de l'approche conceptuelle où la langue a une fonction heuristique (cf. chapitre I.3.1.) : la justification du passage de l'anglais en français par le guidage pédagogique (« raccrocher l'élève ») ou la gestion du temps⁵⁵ doit s'enrichir d'arguments relatifs à la focalisation sur l'enseignement et l'apprentissage de contenus disciplinaires.

C'est pourquoi les modules de co-construction contribuent aussi à étudier avec l'enseignant complice à quels moments dans la séquence l'approche conceptuelle bilingue est intégrée. Cela semble facilité par le fait que la progressivité des apprentissages dans l'enchaînement des séances de DNL préparées par l'enseignant est avérée (grâce aux éléments de contexte fournis lors de l'entretien d'auto-confrontation) et favorable à la construction du savoir disciplinaire par l'élève.

Ainsi l'ensemble « observation - entretien d'auto-confrontation - retour sur la séance » développe le travail collaboratif avec l'enseignant complice en ce qui concerne la coopération au sens de Desgagné et al. (2001) : un savoir partagé est établi à partir de la pratique observée, de la réflexion sur cette pratique et de la recherche (didactique du bilinguisme en contexte DNL). L'enseignant complice est véritablement engagé dans cette collaboration à laquelle il consacre du temps. L'analyse de la séance complétée avec celle de l'entretien d'auto-confrontation et du document sur le retour de la séance laisse présager que l'élaboration et la mise en œuvre d'une séquence co-construite avec l'enseignant complice puisse s'appuyer sur ses pratiques et contribuer à tester l'hypothèse de recherche. En effet, la question de recherche visée (QR - Comment intégrer la langue anglaise dans un cours standard de

⁵⁵ AC2 – 5 ; 2 ; N : là tu passes en français pourquoi ?

AC2 – 5 ; 3 ; E : pour être sûr / parce que là c'est quand même un peu la clé du TP / c'est que c'est fait à partir de l'amidon de maïs / donc je me suis dit si / enfin je voulais que ce soit clair pour tout le monde / pour raccrocher tout le monde // puis je lis le texte).

AC2-6 ; 9 ; E : quand ensuite je passe en français c'est parce que je me dis que je n'aurais pas le temps de finir / alors je termine le protocole en français

physique-chimie en terminale scientifique qui vise des savoirs sur les mécanismes physiques du réchauffement climatique ?) a conduit au chapitre II à formuler l'hypothèse suivante (HR) : si l'anglais est intégré à des activités documentaires et expérimentales proposées à l'élève où des supports d'information sont exploités pour en extraire des contenus pertinents d'un point de vue de l'investigation à mener, alors la production de l'élève pour expliquer un fait de physique sera construite à partir de stratégies de repérage, d'inférence et d'analogie où les deux langues jouent un rôle (reformulation) dans la mobilisation des concepts de physique-chimie visés. Or, il s'avère que l'exploitation de supports d'information en anglais fait partie de l'approche pédagogique et didactique de l'enseignant complice à travers des activités documentaires et expérimentales qui font mobiliser des notions spécifiques à la physique-chimie. De plus, le recours à la praxéologie de référence pour analyser le type de tâche « expliquer un fait de physique » demandé à plusieurs reprises aux élèves (séance DNL1), semble concluant pour accéder aux connaissances des élèves, antérieures ou issues de l'exploitation des supports, même si des difficultés liées aux stratégies de repérages d'indices, de déduction ou de reformulation ont été identifiées. Par conséquent, associer cette praxéologie à la dialectique média-milieu et la prendre en compte dans le processus d'élaboration de la séquence semble envisageable dans le cadre d'une recherche-action collaborative et « de type » recherche de faisabilité. De même, l'analyse globale de la séance DNL2 montre qu'une exploitation d'un support audio-visuel peut être incluse dans une logique praxéologique.

Synthèse du III.3. Prise de recul sur la collaboration et l'analyse des séances de DNL observées

Une prise de recul sur l'ensemble de cette étape de la collaboration conclut à l'intérêt de l'entretien d'auto-confrontation, qui complète l'analyse de séance et contribue à installer le travail réflexif en partenariat avec l'enseignant (Desgagné et al., 2001). Le constat est similaire pour ce qu'apporte l'outil intermédiaire, de médiation (Coppé et Tiberghien, 2013) qui permet de revenir sur la séance observée et propose des pistes de réflexion à l'enseignant complice. La gestion du temps se révèle être une contrainte majeure à prendre en compte pour envisager la séquence. De même, le rôle de « médiateur du savoir » que l'enseignant peut jouer en rendant l'enseignement de stratégies d'apprentissage explicite, constitue un élément important à aborder dans les modules de co-construction, pour façonner l'approche conceptuelle bilingue et envisager une possible appropriation des savoirs disciplinaires par les élèves, via l'exploitation de supports en anglais.

Synthèse du chapitre III. Collaboration avec l'enseignant complice

Le chapitre III précise le sens donné à la recherche-action collaborative définie dans le modèle épistémologique de référence (MER) et qui s'inscrit dans une démarche de faisabilité. La collaboration est initiée par une première étape de cosituation qui permet de rencontrer l'enseignant à qui le projet ciblé de co-construction et de mise en œuvre de la séquence sur l'effet de serre et le réchauffement climatique est présenté (III.1). Elle se poursuit à travers des étapes de coopération et de coproduction avec l'enseignant chercheur collaboratif qualifié de complice. Une première illustration de ce travail collaboratif à partir d'un ensemble méthodologique constitué d'observation de séances de physique-chimie en anglais (DNL), d'entretiens d'auto-confrontation et d'outils intermédiaires de médiation entre les partenaires (III.2) conduit à un premier « état des possibles » : l'approche intégrée conceptuelle bilingue peut en effet s'envisager, telle que décrite dans le MER, par l'exploitation de supports en anglais, spécifiques à la physique-chimie et diversifiés, à travers la praxéologie intégrée disciplinaire de référence. Il est cependant indispensable de recourir à une médiation entre enseignant complice et chercheure doctorante pour favoriser un guidage adapté de l'enseignant lors de la mise en œuvre, par les élèves, de la praxéologie attendue (III.3). C'est pourquoi des modules de co-construction sont planifiés avec l'enseignant complice pour élaborer la séquence en tenant compte non seulement des contraintes externes et internes liées à la recherche-action mais aussi des résultats obtenus lors de cette première phase collaborative autour des séances de DNL. Comment la négociation avec l'enseignant complice lors de ces modules contribue-t-elle à déployer la séquence ? Le chapitre IV traite de cette question.

Chapitre IV. Co-construction de la séquence : vers le prototype et sa mise à l'épreuve

Le chapitre IV illustre la démarche du travail collaboratif lors des modules de co-construction avant la réalisation de la séquence, pour élaborer le prototype de la séquence à partir de l'esquisse issue du modèle épistémologique de référence (IV.1). Ce prototype est présenté et mis à l'épreuve pour montrer dans quelle mesure il contribue à la recherche de faisabilité à partir de la question et de l'hypothèse de recherche. Ainsi, lors de l'année N, la mise en œuvre de la séquence autour du //réchauffement climatique// conduit à une première « détermination du possible » (Astolfi, 1993) en termes d'approche intégrée conceptuelle bilingue (IV.2).

IV.1. Modules de co-construction et modèle épistémologique de référence

IV.1.1. Préparation des modules de co-construction

La collaboration avec l'enseignant complice se poursuit avec des modules dont l'objectif principal est de co-construire un prototype de la séquence, c'est-à-dire une séquence, co-construite avant sa mise en œuvre auprès des élèves, qui, après réalisation, permet de constituer « un corpus sur la base d'innovations contrôlées », au sens du paradigme pragmatique décrit par Astolfi (1993) et associé à une recherche de faisabilité. Les modules de co-construction font partie du MER : deux suppositions sur le rôle de l'enseignant complice dans le processus de transposition didactique⁵⁶ et de médiation du savoir⁵⁷ ont été argumentées et formulées au chapitre II.4.2. Elles mettent en jeu ses connaissances professionnelles, en anglais « *pedagogical content knowledge* » (PCK), dont deux éléments essentiels sont rappelés par Drechsler et Van Driel (2008, p.615) et utilisés dans leur article, en référence au travail de Schulman (1986, 1987) :

« These elements are (1) teachers' knowledge about specific conceptions and learning difficulties with respect to particular content and (2) teachers' knowledge about representations and teaching strategies. »

⁵⁶ Si l'enseignant part de ses pratiques et de son expérience professionnelle en tant que professeur de physique-chimie et de discipline non linguistique (physique-chimie en anglais) et s'il se nourrit des considérations didactiques sur l'approche conceptuelle et bilingue des mécanismes du réchauffement climatique, alors il assurera une transposition didactique proche de celle définie dans le MER et contribuera à l'analyse des séances d'un point de vue de son activité enseignante et de celle des élèves.

⁵⁷ Si les notions et faits de physique (savoir enseigné) à aborder par une approche bilingue sont identifiés et mis en relation avec les supports exploités par les élèves lors des échanges coopératifs alors l'enseignant complice pourra clarifier ses intentions pédagogiques et didactiques, étayer son discours en classe et l'adapter à partir de ce que font et produisent les élèves *in situ*.

En reformulant, le premier élément concerne la connaissance de l'enseignant.e sur l'apprentissage de contenus particuliers en termes de conceptions spécifiques aux contenus et des difficultés d'apprentissage de ces contenus. Le deuxième relève de la manière de se représenter l'enseignement et de le mettre en œuvre. De plus, la pratique de l'enseignant.e influence ses connaissances professionnelles et celle-ci est d'autant plus grande que l'enseignant.e réfléchit à sa pratique (Van Driel et al., 2002 et Osborne, 1998, cités par Dreschsler et Van Driel, 2008, p.615). Les modules de co-construction doivent donc favoriser le développement de connaissances professionnelles, en particulier qualifiées de locales, construites en fonction de modalités théorique et empirique (Morge, 2003, p.104-105) : lors de la préparation des séances, nourrie par les modules de co-construction, l'enseignant complice peut imaginer ce qui va se passer en classe, du déroulement aux productions des élèves (modalité théorique) et lors de la séance, il peut élaborer de nouvelles connaissances en tenant compte de ce qu'il a anticipé, en ajustant ses actions, en faisant face à l'imprévu (modalité empirique). Plus l'enseignant développe des connaissances professionnelles locales, plus il peut :

« enrôler les élèves dans la tâche, définir le problème et en faire partager le sens, faire expliciter les réponses des élèves, statuer sur leurs productions pour conclure, institutionnaliser le savoir » (*ibid.*, p.102).

Un autre enjeu des modules de co-construction réside alors dans la médiation entre la culture des « savoirs d'action » et celle des « savoirs savants » (cf. III.1.1, Desgagné, 1998). Le premier type de savoirs se réfère aux connaissances professionnelles de l'enseignant complice, qui enseigne déjà la physique-chimie en contexte de DNL anglais et en classe de terminale scientifique en cours standard. Le deuxième type de savoirs regroupe tout ce qui concerne (et est précisé au chapitre II), le concept de //réchauffement climatique//, son enseignement et son apprentissage ainsi que la praxéologie intégrée disciplinaire scolaire du modèle épistémologique de référence sur lequel est bâtie l'esquisse de la séquence. Les savoirs savants comprennent également les éléments issus de la collaboration avec l'enseignant complice autour de l'observation et de l'analyse des séances de DNL et qui sont à inclure dans les modules de co-construction (cf. chapitre III). La médiation dont il est question s'opère par des « outils intermédiaires » issus des études menées aux chapitres I et II : ils sont communiqués à l'enseignant complice et font l'objet de négociations. Ils contribuent au développement des connaissances professionnelles de l'enseignant, à qui reviennent *in fine* les choix d'organisation des séances et des contenus des cours, et qui prend les décisions en classe. Les négociations sont également générées grâce à ce que l'enseignant complice partage et au fait qu'il rend compte d'une partie de ses savoirs d'action (documents liés à sa pratique : cahier de texte avec la progression des séances, énoncés d'activités, chapitres / traces de cours...).

Ainsi, la préparation des modules de co-construction repose sur un questionnement qui en guide les contenus et la réalisation. Comment la mise en œuvre de ces modules permet-elle une culture

partagée entre savoirs savants et d'action, qui concerne aussi bien les niveaux de co-détermination liés aux questions d'organisation hors classe et en classe (niveau -1) que ce que font les élèves en physique-chimie (niveau 5) ? Comment définit-elle la coopération entre les deux partenaires (définition des tâches collaboratives) ? Comment conduit-elle à l'élaboration du prototype de la séquence ? Quelles difficultés émergent de ces modules ? Chaque module est enregistré à l'aide d'un dictaphone pour en conserver une trace sous la forme d'un écrit condensé : un déroulement synthétique est produit avec un découpage selon les sujets abordés (cf. *infra*, annexes précisées). Certains extraits des échanges sont transcrits lorsqu'ils illustrent une réflexion relative à l'approche intégrée conceptuelle bilingue pour la séquence et à sa mise en place par l'enseignant complice. Le minutage de l'enregistrement et une numérotation des lignes du déroulement et des transcriptions servent de repères pour l'analyse : une grille d'analyse permet d'identifier, dans le déroulement synthétique d'un module, les savoirs d'action et les savoirs savants tels que définis dans les paragraphes précédents. Les niveaux de co-détermination présentés lors de la nature de la collaboration (cf. chapitre III.1.1) sont utilisés pour interroger la culture partagée entre les deux types de savoirs et la logique double souhaitée dans la recherche-action :

Différents aspects de la médiation entre les deux cultures des savoirs et niveaux de co-détermination attendus	Référencement au déroulement synthétique d'un module
Savoirs d'action	
Connaissances professionnelles sur l'apprentissage de contenus particuliers - Niveaux 0 à 5	
Connaissances professionnelles sur l'enseignement de ces contenus - Niveaux 0 à 5	
Savoirs savants	
Représentations de public d'apprenant.e.s sur l'effet de serre et le réchauffement climatique - Niveaux 2 à 4	
Trois volets de la séquence, propositions de programmation et progression - Niveaux 2 à 4	
AE, dialectique écologique média-milieu, activité scientifique des élèves, investigation, raisonnement par analogie (concepts intégrateurs au programme pour le fil rouge « réchauffement climatique » avec des critères du //rc//) - Niveaux 0 à 5	
Médias, exploitation des documents, familiarité des élèves à la L2 et aux contenus, capacité en réception en L2 - Niveaux 0 à 5	
Médias « authentiques » - Niveaux 0 et 1	
Comprendre un texte et expliquer un phénomène - Niveaux 0 et 1 -	
Guidage didactique et cognitif - Niveaux 0 et 1	
Aménagement du cours - Niveaux 0 et 1	
Moments bilingues - Niveau 0	

Tableau 11. Grille d'analyse d'un module de co-construction

Les modules de co-construction sont mis en œuvre dans le cadre d'une démarche de faisabilité : le modèle épistémologique de référence et la méthodologie envisagée constituent un fil conducteur pour gérer les négociations avec l'enseignant complice bien que les échanges soient imprévisibles. Ainsi, l'enchaînement des modules est pensé pour concevoir avec l'enseignant la transposition didactique du savoir à enseigner en savoir enseigné. Initialement trois modules sont prévus. Ils sont espacés d'une quinzaine de jours pour avancer le travail. Le premier module, d'une durée de deux heures, vise à se documenter auprès de l'enseignant complice sur la manière dont il traite, l'année N-1, les savoirs à enseigner, identifiés dans l'esquisse de la séquence. Il sert aussi à lui préciser les choix didactiques et de contextualisation avec le réchauffement climatique, liés à l'approche intégrée conceptuelle bilingue, en lui présentant une ébauche de la séquence. Le deuxième module d'une durée de quatre heures développe la réflexion sur cette approche avec l'élaboration de premières activités documentaires et expérimentales à partir de propositions de supports en anglais. Au cours du troisième module, l'élaboration des activités se poursuit et le prototype de la séquence se précise.

En réalité, finalement, pour des raisons de disponibilité des partenaires de la collaboration, ce sont quatre modules qui conduisent au prototype de la séquence avant sa mise en œuvre :

- 14 juin 2016 : module 1 de co-construction avec l'enseignant complice (2h environ) ; il permet d'identifier les savoirs à enseigner au programme et les enjeux didactiques (physique-chimie et anglais) ainsi que de proposer une première programmation (enchaînement, dans la durée, des séances) et une première progression (enchaînement des contenus des séances) des savoirs à enseigner au cours de la séquence.

Entre le module 1 et 2, une enseignante d'anglais⁵⁸ qui a en charge la classe de terminale scientifique concernée par la recherche-action l'année N est mise au courant du projet. Elle prend contact par envie personnelle afin de mieux en cerner les enjeux et d'entraîner les élèves à des tâches en production orale autour de l'argumentation et du débat ; une rencontre d'environ une heure a lieu le 21 juin 2016 sur la base de la description du projet présentée à l'enseignant complice (cf. chapitre III, annexe III.1.2).

- 13 juillet 2016 : module 2 de co-construction avec l'enseignant complice (2h environ) ; il contribue à poursuivre le travail du module 1, à préciser la structure didactique de la séquence, à fournir des exemples de contenus pour les premières séances, pour la première activité

⁵⁸ L'enseignante de LVE anglais exerce dans le lycée depuis deux ans, après avoir été affectée en collège quelques années (elle a moins de dix années d'expérience). C'est la première fois qu'elle a en charge une classe de terminale scientifique l'année N. Elle précise que les groupes en langue sont constitués de 25 élèves : cela implique que les élèves de TS impliqués dans la recherche sont répartis (plus ou moins également) en deux groupes, l'un qui lui est attribué et le deuxième, à un.e autre enseignant.e de LVE.

documentaire ainsi que pour la première activité expérimentale et à synthétiser les éléments de contexte liés à l'organisation à la rentrée.

- 1^{er} septembre 2016 : module 3 de co-construction (1h environ) avec l'enseignant complice et en présence de l'enseignante d'anglais pour affiner l'organisation de la séquence en fonction des données connues à la rentrée et pour finaliser les activités expérimentales AE1 et AE2, en version anglaise.
- 6 septembre 2016 : module 4 de co-construction (2h environ) pour donner forme au prototype de la séquence.

Ces modules sont présentés et analysés pour figurer le processus global de co-construction de la séquence. Ce qui relève spécifiquement des versions définitives des énoncés et du protocole de recherche, est étudié dans la deuxième partie du chapitre, au IV.2.

IV.1.2. Module 1 : savoir à enseigner, programmation et progression

L'enseignant complice est invité à prendre connaissance, avant le premier module, d'un ensemble de documents partagés grâce à un mur « padlet »⁵⁹ :



Figure 8. Mur padlet avec quatre post-it partagés

Le document avec des propositions pour la séquence sur le réchauffement climatique (annexe IV.1.2a) est construit à partir des savoirs à enseigner au programme de physique-chimie. Les exemples d'activités à mener en classe sont organisés dans un tableau et répartis sur six semaines, en fonction des obstacles et des difficultés liés à l'enseignement et l'apprentissage de l'effet de serre naturel et du

⁵⁹ Le mur « padlet » est un outil collaboratif de publication en ligne : les personnes qui ont accès à l'adresse URL d'un mur convenablement paramétré peuvent consulter et créer des post-it contenant texte, images, fichiers. <https://padlet.com/features>

réchauffement climatique, et des savoirs à enseigner : ce tableau est une ébauche de la séquence qui, volontairement, ne ressemble pas à l'esquisse issue du MER (II.3.3) ; il permet d'affirmer l'envie de partir des pratiques et de la réflexion de l'enseignant complice ainsi que de lui faire comprendre que rien n'est figé. Le document sert à guider les échanges lors du module, en particulier à partir de cette ébauche de la séquence. Il est issu non seulement du modèle épistémologique de référence établi au chapitre II mais aussi de l'expérience professionnelle de la chercheuse doctorante qui a enseigné la physique-chimie en terminale scientifique pendant deux ans. Cet outil intermédiaire se veut à la portée de l'enseignant, en apparence plus proche d'une culture de savoirs d'action que de celle de savoirs savants. Au moment de sa passation auprès de l'enseignant complice, l'idée ambitieuse d'un débat en langues L1 et L2 en fin de séquence (« finalité séquence » sur le document) s'explique par la volonté d'évaluer compétences et connaissances des élèves sur les contenus ciblés de la recherche (« savoir disponible » du MER). Le débat ne fait finalement pas partie du protocole de recherche (cf. *infra*, IV.2.1). C'est une illustration typique du processus collaboratif où toute idée initiale liée à l'étude menée (préparation, réalisation, analyse) est soumise à négociation avec l'enseignant. Il en est de même pour l'anticipation de moments d'évaluation des productions d'élèves⁶⁰ (« évaluation diagnostique » avant le processus d'enseignement-apprentissage, « formative » en cours d'apprentissage et « sommative » après enseignement-apprentissage) qui apparaît sur l'ébauche de la séquence. Sur le mur padlet, un article de recherche en didactique⁶¹ est proposé à l'enseignant complice pour qu'il puisse appréhender l'origine du fil rouge de cette recherche-action et se documenter sur les obstacles et difficultés liés à l'enseignement-apprentissage de l'effet de serre et du réchauffement climatique. Le synopsis (annexe IV.1.2b) pour les deux séances de DNL observées est transmis pour mettre en évidence la réflexion autour de l'enseignement bilingue et l'approche conceptuelle : il synthétise les contenus des documents « retour sur la séance observée » (cf. chapitre III, annexes III.2.1d et III.2.1c). Enfin, un exemple de fichiers partagés par l'enseignant complice est situé en annexe IV.1.2c : lors du module de co-construction celui-ci montre comment il travaille en classe entière, à partir des chapitres de cours, et en demi-classe, à partir des énoncés d'activité expérimentale.

Le contenu des discussions lors du premier module de co-construction est synthétisé dans l'annexe IV.1.2d. Après quelques minutes d'échanges sur les contraintes liées à l'organisation des

⁶⁰ Les fondements méthodologiques présentés dans le MER au chapitre II impliquent l'analyse de productions d'élèves pour tester l'hypothèse de recherche.

⁶¹ Colin, P., & Tran Tat, N. (2011). Difficile compréhension de l'effet de serre : comment concevoir un parcours d'enseignement-apprentissage au lycée ? *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (4), 109-138.

enseignements dans le lycée à la rentrée, l'année N (niveau -1 de co-détermination, école), les interactions portent sur la séquence envisagée. Elles sont analysées selon les catégories établies au IV.1.1 :

Différents aspects de la médiation entre les deux cultures des savoirs et niveaux de co-détermination concernés dans le module 1	Référencement au déroulement synthétique d'un module 1 (annexe IV.1.2d)
Savoirs d'action	
Connaissances professionnelles sur l'apprentissage de contenus particuliers - Niveaux 0 à 5 concernés	23 ; 25-38 ; 49-57
Connaissances professionnelles sur l'enseignement de ces contenus - Niveaux 0 à 5 concernés	13 ; 14 ; 15-20 ; 73 ; 90-93 ; 95 ; 104 ; 106 ; 107
Savoirs savants	
Représentations des publics d'apprenant.e.s sur l'effet de serre et le réchauffement climatique - Niveaux 2 à 4 concernés	12 ; 48
Trois volets de la séquence et esquisse, propositions de programmation et progression (ébauche) - Niveaux 2 à 4 concernés	39,47 (semaine 1) ; 58 (semaine 2) ; 61 (semaine 3) ; 69-80 (semaine 4) ; 78 (semaine 5 ; 87-93 (semaine 6)
AE, dialectique écologique média-milieu, activité scientifique des élèves, investigation, raisonnement par analogie (concepts intégrateurs au programme pour le fil rouge « réchauffement climatique » avec des critères du //rc//) - Niveaux 0 à 5 concernés	58-68 (AE détection et spectre ; absorbance et espèce colorée) ; 69-80 (AE transferts thermiques)
Médias, exploitation des documents, familiarité des élèves à la L2 et aux contenus, capacité en réception en L2 - Niveaux 0 et 1	81-85 ; 97
Médias « authentiques » - Niveaux 0 et 1	
Comprendre un texte et/ou expliquer un phénomène - Niveaux 0 et 1 concernés	89 (débat)
Guidage didactique et cognitif - Niveaux 0 à 2 concernés	100 ; 105
Aménagement du cours - Niveaux 0 et 1	100
Moments bilingues - Niveau 0	Alternance codique (3-6)

Tableau 12. Analyse du module 1 de co-construction (cf. annexe IV.1.2d)

Les connaissances professionnelles de l'enseignant qui portent sur l'apprentissage sont identifiées dans les échanges lorsque celui-ci présente des énoncés d'activité réalisée par les élèves et indique comment ils sont exploités ou lorsqu'il décrit leurs actions (même si le pronom « on » est utilisé ; 27). Ces informations contribuent à explorer les possibles, en particulier pour les activités expérimentales (matériel expérimental utilisé, enjeux des activités, compétences des élèves). Par exemple, à partir de l'énoncé d'activité expérimentale sur les transferts thermiques (25-38), l'enseignant décrit les protocoles qu'il a fait faire aux élèves l'année N-1 ; l'interprétation est absente de la discussion. L'expression « échanges thermiques » est utilisée par l'enseignant : c'est peut-être un raccourci de langage mais d'un point de vue didactique, « transferts thermiques » est plus approprié (principe de thermodynamique). Cet énoncé d'activité expérimentale suscite un grand intérêt pour envisager une démarche autour de l'évolution de la température de l'air chauffé à l'intérieur de maquettes-maison

en fonction du temps et pour prévoir une analogie avec le système Terre. Ce type de négociations est représentatif du rôle des modules de co-construction dont l'ancrage sur les pratiques de classes de l'enseignant complice est recherché. La charge revient à la chercheuse doctorante d'étudier en détails les propositions de l'enseignant, via l'énoncé et ses commentaires, pour élaborer une activité expérimentale en adéquation avec les objectifs de l'étude sur l'approche intégrée conceptuelle bilingue.

Les connaissances professionnelles catégorisées pour l'enseignement relèvent des exemples de cours mis en œuvre par l'enseignant et de pratiques déclarées. En effet, il présente des fichiers de cours à l'écran et sur clé USB (106) ainsi qu'une vidéo utilisée en classe pour illustrer l'effet de serre (107). Il décrit la manière de construire des énoncés d'activité expérimentale sur le même format que celui qui est proposé à l'épreuve expérimentale du baccalauréat avec contexte, problématique/question, documents à utiliser et travail à faire (15). Il intègre déjà la compétence « extraire des informations » dans les activités présentées aux élèves (14). Par contre, il indique proposer peu d'activité documentaire (17). Il montre une connaissance des savoirs à enseigner (49) pour le cycle terminal en physique-chimie (classe de première et de terminale) et s'appuie sur son expérience professionnelle de l'année N-1 pour commenter les documents qu'il présente. Son inquiétude relative à l'idée d'un débat en fin de séquence provient de celle liée à la temporalité et il propose de le placer en séances « décrochées », en accompagnement personnalisé (13 ; E : c'est genre le truc qu'on peut faire en AP ; 90). Ce savoir d'action est également présent lorsque l'enseignant se questionne sur la durée de la séquence co-construite (95). De même, celui-ci veut éviter de tout modifier par rapport à ce qu'il a fait l'année N-1 (73 ; E : d'accord / je réfléchis en même temps comment avec les chapitres que j'ai faits cette année ça pourrait euh / s'intégrer). Enfin, la réticence exprimée lors de la collaboration autour des séances de DNL2 concernant l'aménagement de séance est affirmée en fin de module (104) à partir du document « synopsis ».

La culture des savoirs d'action de l'enseignant complice qui se dégage du premier module de co-construction implique des contraintes fortes. L'une d'entre elle concerne la durée de la séquence : elle dépend de la sélection du savoir à enseigner et du savoir enseigné définis dans le MER et l'enseignant complice veut la réduire à celle de l'ensemble des séances similaires effectuées l'année N-1. Une autre contrainte réside dans le fait que les contenus des activités expérimentales sont conditionnés par le matériel à disposition et par les protocoles que l'enseignant complice a déjà testés l'année N-1. En effet, les échanges qui portent sur l'AE avec l'étude d'un détecteur montrent que l'enseignant n'est pas à l'aise et ne pose pas de questions pour en savoir davantage (39-45) : l'année précédente, il a traité le thème par une activité documentaire et non expérimental.

L'analyse du module par les savoirs savants indique que le savoir à enseigner du MER est soumis à discussions dans le module. Effectivement, celui-ci repose surtout sur l'ébauche de la séquence dont le découpage en six semaines présente des contenus issus de l'esquisse de la séquence et donc issus de la définition du concept de //réchauffement climatique//. La direction du concept et sa dimension⁶² sont présentes dans les échanges. Les critères de globalité, concentration en gaz à effet de serre et bilan radiatif sont abordés à travers la justification du choix du raisonnement par analogie présent dans les différentes activités expérimentales explorées (cf. *supra*). Le module permet aussi d'argumenter plus en détails les choix effectués qui ont conduit à l'ébauche de la séquence (69-80). En revanche, la réflexion sur l'approche bilingue conceptuelle est absente car l'exploitation de médias en L2 et l'alternance codique sont abordées aux niveaux de co-détermination de la pédagogie et de la discipline (0 et 1). De même, la stratégie d'étayage de l'enseignant pour aider les élèves à exploiter les supports en anglais est évoquée rapidement avec le document sur le synopsis des séances DNL1 et DNL2 (100).

La dimension double de la recherche-action caractérise cette phase de la collaboration à travers le premier module de co-construction qui permet de mieux cibler ce qui est faisable en termes de pédagogie, de contenus d'enseignement et d'apprentissage (niveaux de codétermination de 0 à 5 concernés), malgré la mise à l'écart des considérations sur l'approche intégrée bilingue et conceptuelle. Celles-ci sont reconduites au module suivant ; la durée limitée du premier module est sans doute un des freins au développement de la réflexion sur ce point. L'outil intermédiaire avec l'ébauche de séquence est efficace : il permet d'avancer la co-construction de la séquence. C'est aussi la culture partagée entre savoirs d'action de l'enseignant complice et ceux de la chercheure doctorante qui peut expliquer l'existence de négociations concluantes par rapport à l'intérêt porté au module de co-construction dans cette recherche. L'aspect coopératif de la collaboration (Desgagné et al. 2001) fait partie du module : les tâches sont réparties comme suit (tableau 13) pour poursuivre le travail collaboratif (103 ; 108).

⁶² Cf. chapitre II.2.2 : La direction du concept //réchauffement climatique// est « l'augmentation de température de surface de la Terre due aux activités humaines » ; la dimension du concept //réchauffement climatique// est constituée de trois critères interdépendants : « globalité » (système Terre et atmosphère), « concentration en dioxyde de carbone atmosphérique » et « bilan radiatif ».

Tâches pour l'enseignant complice (module 1)	Tâches pour la chercheuse doctorante (module 1)
Elaboration des cours en français (déroulement, contenus, supports) en tenant compte des phases où les supports en anglais sont utilisés.	Proposition affinée de l'ébauche de séquence (programmation, progression).
Traduction/adaptation pour les AE : de l'anglais au français.	Proposition de supports en anglais, de contextualisation et d'objectifs pour leur exploitation.
Commentaires, suggestions, validation (négociations) à partir des différentes propositions présentées.	Proposition de déroulement de séance avec intégration de supports en anglais.
	Présentation d'énoncés d'évaluation diagnostique (point de vue de la recherche) et des modalités de réalisation d'un débat en fin de séquence.
<i>L'année N : recueil des productions écrites des élèves (AD et AE).</i>	<i>L'année N : analyse (d'un point de vue de la recherche) des productions des élèves.</i>

Tableau 13. Définition des tâches collaboratives lors du module 1 de co-construction

Les modalités de la mise en œuvre de la recherche-action au niveau de co-détermination -1 de l'école sont évoquées à la fin des échanges : courrier aux familles, réactions des familles (98 ; 102), recueil de données (99 ; 101), répartition en groupes TP des élèves de section européenne (7-9), observation en classe (88-93). L'évaluation et la notation des productions des élèves en lien avec le regard des familles portées sur la recherche-action est présente dans les échanges (96 ; 97).

Suite à ce premier module collaboratif, le modèle épistémologique de référence mis à l'épreuve reste d'actualité. Entre le module 1 et le module 2 de co-construction, des documents sont produits pour permettre la médiation avec l'enseignant complice, en regard des tâches collaboratives qui sont définies. Conformément aux négociations qui ont eu lieu, ils visent à préciser la structure de la séquence et tiennent compte du volume horaire dédié à chaque séance l'année N-1, des contenus envisagés et de la préoccupation majeure de l'enseignant complice concernant la durée de la séquence.

IV.1.3. Module 2 : transposer les savoirs à enseigner

Un premier document (annexe IV.1.3a) reprend le découpage de la séance en séances d'une heure en classe entière et en TP de deux heures en groupes (programmation) avec références des notions, contenus, compétences exclusivement au programme (progression). Un autre outil de médiation (annexe IV.1.3b) récapitule par un tableau l'enchaînement des travaux pratiques qui est une contrainte forte de la programmation évoquée dans le premier module : une indication sur l'analogie entre activité des élèves et activités des scientifiques permet de clarifier l'enjeu de la contextualisation avec le réchauffement climatique. Des « repères pour les activités expérimentales » sont décrits à la suite du tableau. Une proposition pour que l'enseignant complice aborde et organise les savoirs à enseigner

durant la première semaine lui est également transmise (annexe IV.1.3c). Comme la séquence est contextualisée autour du réchauffement climatique, ce qui est une nouveauté pour l'enseignant complice qui a enseigné les contenus au programme l'année N-1 avec d'autres thématiques, les documents qui présentent des exemples de contenus des séances rendent explicites les questionnements possibles à poser aux élèves. Un diaporama d'images (annexe IV.1.3d) est alors communiqué à l'enseignant complice pour illustrer les propositions de contextualisation des premières séances. La dernière diapositive affiche les contenus à enseigner (notions et compétences) tels quels, au programme de physique-chimie de la classe de terminale scientifique : c'est le CQFA (« ce qu'il faut acquérir ») évoqué dans le module 1 (échanges de pratiques) et à destination des élèves. Un autre document (annexe IV.1.3e) avec une proposition de supports en anglais pour les premières séances contribue à aborder l'approche conceptuelle bilingue avec l'enseignant complice (réflexion sur les médias). Une ébauche d'énoncé pour la première activité expérimentale AE1 (*Remote sensing* ou Télédétection) est soumise aux négociations (annexe IV.1.3f). Elle est le fruit du travail collaboratif mené antérieurement et du modèle épistémologique de référence. Ainsi l'architecture de l'énoncé est conforme à ce que l'enseignant complice à l'habitude de faire et est proche du format d'activité expérimentale à l'épreuve du baccalauréat en terminale scientifique ; les différentes sections sont mises en évidence : objectifs, contexte avec la question de recherche à laquelle l'élève doit répondre, documents à exploiter, matériel disponible et travail à faire avec consignes, tâches, questions qui permettent à l'élève de mener une démarche scientifique et de construire sa réponse à la question de recherche. L'énoncé met en jeu une analogie entre l'activité de chercheur.e.s liée à l'étude du réchauffement climatique et celle des élèves en salle de travaux pratiques. Il contient des extraits d'articles de recherche en télédétection (cf. chapitre II.3.3) et est constitué de trois parties : la première partie concerne l'exploitation des supports, la deuxième est construite autour de la réalisation du protocole et la troisième conduit l'élève à répondre à la question de recherche (explication avec énoncé-cible). Dans le module 2, l'évaluation diagnostique des conceptions des élèves sur l'effet de serre et le réchauffement climatique, envisagée, à ce moment, dans le protocole de recherche, est présentée à l'enseignant : l'énoncé de cette évaluation (annexe IV.1.3g) fait partie des outils de médiation pour évoquer, de nouveau, les enjeux de la séquence d'un point de vue didactique et prévoir un temps de passation avant le début de la séquence. Pour résumer, l'ensemble des outils intermédiaires et fichiers présentés par l'enseignant qui nourrissent les échanges lors du module 2 est disponible en annexe :

- Programmation et progression pour la séquence - annexe IV.1.3a
- Programmation et progression pour les TP, repères pour les activités expérimentales– annexe IV.1.3b
- Progression pour la semaine 1 - annexe IV.1.3c

- Diaporama pour la séance 1 (propositions) - annexe IV.1.3d
- Supports en anglais sur le rayonnement (AD) - annexe IV.1.3e
- Ebauche d'activité expérimentale AE1 *Remote sensing* - annexe IV.1.3f
- Évaluation diagnostique (recherche) - annexe IV.1.3g

Une feuille de route personnelle permet de contrôler qu'au cours du module 2 de co-construction tous les documents sont explorés avec l'enseignant complice. Elle est intégrée à la fin de l'annexe IV.1.3h où le déroulement du module est présenté. Les premières minutes du module 2 traitent de questions au niveau de co-détermination -1, celui de l'école, avec la prise de connaissance de la constitution de la classe qui participe au projet de recherche et de l'emploi du temps de l'enseignant et des élèves. Les échanges concernent rapidement les niveaux de co-détermination supérieurs avec la programmation du savoir à enseigner. L'analyse des échanges s'opère de manière analogue à celle pour le premier module :

Différents aspects de la médiation entre les deux cultures des savoirs et niveaux de co-détermination concernés dans le module 2	Référencement au déroulement synthétique d'un module 2 (annexe IV.1.3h)
Savoirs d'action	
Connaissances professionnelles sur l'apprentissage de contenus particuliers - Niveaux 0 à 5 concernés	16 ; 41 et 44 ; 53 ; 54 ; 56
Connaissances professionnelles sur l'enseignement de ces contenus - Niveaux 0 à 5 concernés	14-15 ; 37-40 ; 42 ; 46-47 ; 48 ; 50
Savoirs savants	
Représentations des publics d'apprenant.e.s sur l'effet de serre et le réchauffement climatique - Niveaux 2 à 5 concernés	5-12 ; 18
Trois volets de la séquence et esquisse, propositions de programmation et progression (ébauche) - Niveaux 2 à 4 concernés	3 ; 13 ; 45 ; 49
AE, dialectique écologique média-milieu, activité scientifique des élèves, investigation, raisonnement par analogie (concepts intégrateurs au programme pour le fil rouge « réchauffement climatique » avec des critères du //rc//) - Niveaux 0 à 5 concernés	46-47 (AE1) ; 55 (AE2 ou AD) ; 63 (AE3, AE4)
Médias, exploitation des documents, familiarité des élèves à la L2 et aux contenus, capacité en réception en L2 - Niveaux 0 et 5	20-21
Médias « authentiques » - Niveaux 0 et 4	20-21
Comprendre un texte et/ou expliquer un phénomène - Niveaux 0 et 1 concernés	22 ; 65
Guidage didactique et cognitif - Niveaux 0 à 2 concernés	23-35
Aménagement du cours - Niveaux 0 à 2 concernés	4 ; 20 ; 56
Moments bilingues - Niveau 0 et 1 concernés	13 ;

Tableau 14. Analyse du module 2 de co-construction (cf. annexe IV.1.3h)

Le module 2 conduit à des ajustements de la programmation et de la progression du savoir à enseigner, sous la proposition de l'enseignant complice qui s'appuie sur l'ensemble de ses connaissances

professionnelles pour justifier ses prises de position : il explicite (niveau de co-détermination 5 mobilisé) en quoi les contenus enseignés relatifs à l'activité expérimentale sur l'identification d'une espèce chimique et son dosage par mesure d'absorbance sont assez accessibles (56) pour les élèves, à la différence de ceux pour l'activité sur les transferts thermiques en termes de bilan d'énergie (53-54). L'enseignant fait part de son expertise pour la formulation de consignes auprès des élèves ou le choix d'exercices et de documents (16, 41, 44). Lorsqu'il se réfère aux chapitres qu'il a construits, il mène une réflexion sur l'enchaînement et la nature des contenus à enseigner à partir des propositions et de remarques sur la formulation d'un savoir (rayonnement) qui lui sont communiquées (14-15 ; 37-40) : il précise qu'il est d'accord pour modifier son cours (40 - « je ne suis pas figé sur ce cours-là »). Ses savoirs d'action se manifestent aussi par sa reconnaissance d'absence d'institutionnalisation de ce qui a été enseigné (50). Lors du module, l'enseignant met systématiquement en relation ses documents professionnels (fichiers de cours et d'activités, cahier de texte, supports utilisés en cours) avec les outils de médiation explorés tour à tour.

Ces outils semblent favoriser les échanges sur la contextualisation autour de l'effet de serre et du réchauffement par rapport au premier module de co-construction : la médiation de la culture des savoirs savants inclut l'approche intégrée conceptuelle bilingue à des niveaux de co-détermination plus élevés. En effet, par l'étude de l'énoncé d'évaluation diagnostique pour accéder aux conceptions initiales des élèves sur les mécanismes physiques de l'effet de serre naturel et du réchauffement climatique, des considérations didactiques permettent d'étayer les savoirs à enseigner (5-12 ; 18). C'est aussi le cas pour la transposition didactique dans le cadre des activités expérimentales où est explicité l'enjeu conceptuel pour l'investigation avec la télédétection (46-47 - AE1), celle avec les spectres IR des gaz à effet de serre (55 - AE2 ou AD) et celle avec l'étude de l'atmosphère (63 - AE3). La mise en place d'une approche bilingue est illustrée à partir des supports proposés pour la première activité documentaire (20) sur le rayonnement électromagnétique et l'émission de rayonnement par un objet. Ceux-ci sont authentiques⁶³. La réflexion menée sur la connaissance du mot « *wavelength* » (doc.1) conduit l'enseignant à formuler une stratégie à partir du trait morphologique du mot pour en déduire sa signification. Pour « *bulb* », la coordination des registres sémiotiques peut faire partie de la stratégie en compréhension de texte (21). Lors de ces échanges, l'enseignant formule son souhait d'avoir quelques pistes pour travailler la méthodologie d'analyse de supports en anglais avec les élèves : quelques minutes de discussion permettent de développer ce sujet (22 ; 23-35).

⁶³ cf. chapitre II.3.2, « c'est-à-dire produits dans un but communicatif et non pour l'enseignement de la langue » (Conseil de l'Europe, 2001, p.112)

A l'issue du module 2, la médiation conduit à un consensus pour une nouvelle ébauche de séquence : l'enseignant complice valide durée, programmation et progression après les ajustements effectués (3 ; 13 ; 44 ; 45 ; 49). Il fait preuve d'adaptabilité même si les propositions sont élaborées pour partir de ses pratiques ordinaires, de ses savoirs d'action et de son inquiétude quant à la durée de la séquence co-construite (59-61 : N : je te fais tout changer ; E : nan mais ça va / après si ça ne me ralentit pas trop ma progression / c'est surtout ça qui me fait peur ; N : nan nan / t'inquiète pas / j'ai vraiment essayé de prendre en compte ce que tu as fait cette année). Les adaptations portent tant au niveau du cours en français (56 ; 77) qu'au niveau de son aménagement lorsque la L2 est utilisée (4 ; 13 ; 20 ; 21 ; E : ouais / et on leur laisse de la place s'ils veulent rajouter des mots). Les négociations comportent aussi des éléments de méthodologie de recherche telle que l'évaluation diagnostique (5-12), l'analyse des productions des élèves ou la mise en place d'un débat-consensus (65) pour que les rôles au sein de la collaboration puissent bien être distingués.

D'ailleurs, la coopération lors du module 2 de co-construction définit les tâches collaboratives qui sont les mêmes que celles pour le module 1 et les nouvelles attributions. S'assurer de la disponibilité du matériel et de la réalisation des protocoles (conditions expérimentales) ainsi que mettre en forme ce qui sera présenté aux élèves (AD, AE), en français et en anglais, est à la charge de l'enseignant complice. Après le module 2, les énoncés d'activités documentaires et expérimentales sont travaillés pour être repris lors du module 3 avec l'enseignant complice et l'enseignante d'anglais.

IV.1.4. Module 3 : activités expérimentales AE1 et AE2

Le troisième module avec l'enseignant complice et l'enseignante d'anglais (Ea), qui a lieu quelques jours avant la rentrée des élèves (année N), consiste à négocier les propositions des énoncés en anglais des activités expérimentales AE1 (*Remote sensing* ou Télédétection) et AE2 (*Atmospheric gases* ou Gaz atmosphériques), disponibles respectivement en annexe IV.1.4a et IV.1.4b. L'ébauche de l'énoncé de l'AE1 présentée au module 2 (annexe IV.1.3f) est complétée pour proposer une version bien plus aboutie. La structure de l'énoncé de l'AE2 et les contenus sont élaborés avec les mêmes intentions que pour l'AE1. Le déroulement du module 3 de co-construction est détaillé dans l'annexe IV.1.4c de manière à se figurer plus facilement comment les propositions d'énoncés ont contribué à la médiation entre culture des savoirs d'action et culture des savoirs savants.

L'analyse est menée de manière analogue à celle des deux premiers modules (cf. *infra*, tableau 15). Les échanges référencés de 7 à 81 portent sur l'AE1 et ceux de 82 à la fin sur l'AE2. Comme pour les modules 1 et 2, les premiers échanges (environ 20 minutes pour le module 3) portent au niveau de co-détermination de l'école (-1).

Différents aspects de la médiation entre les deux cultures des savoirs et niveaux de co-détermination concernés dans le module 3	Référencement au déroulement synthétique d'un module 3 (annexe IV. 1.4c)
Savoirs d'action	
Connaissances professionnelles sur l'apprentissage de contenus particuliers - Niveaux 0 à 5 concernés	17 ; 40-41 ; 54 ; 56 ; 68 ; 99 ; 124 ; 164
Connaissances professionnelles sur l'enseignement de ces contenus - Niveaux 0 à 5	37 ; 60 ; 81
Savoirs savants	
Représentations des publics d'apprenant.e.s sur l'effet de serre et le réchauffement climatique - Niveau 3 concerné	86
Trois volets de la séquence et esquisse, propositions de programmation et progression (ébauche) -	
AE, dialectique écologique média-milieu, activité scientifique des élèves, investigation, raisonnement par analogie (concepts intégrateurs au programme pour le fil rouge « réchauffement climatique » avec des critères du //rc//) - Niveaux 0 à 5 concernés	28-29 ; 44-46 ; 117-125
Médias, exploitation des documents, familiarité des élèves à la L2 et aux contenus, capacité en réception en L2 - Niveaux 0 à 5	8 ; 32 ; 86-102
Médias « authentiques » - Niveaux 0 et 3	84
Comprendre un texte et/ou expliquer un phénomène - Niveaux 0 à 5	18 ; 32 ; 50 ; 96
Guidage didactique et cognitif - Niveaux 0 à 5	20-21 ; 79 ; 105 ; 109-116 ; 170-171
Aménagement du cours - Niveaux 0 à 5	39 ; 69-77 ; 133-135 ; 137-156
Moments bilingues - Niveaux 0 à 3	17-18 ; 169

Tableau 15. Analyse du module 3 de co-construction (cf. annexe IV.1.4c)

Comme les négociations sont centrées sur l'enseignement-apprentissage de contenus spécifiques aux AE1 et AE2, les savoirs d'actions et les savoirs savants décelables au cours du module sont plus denses et plus ciblés que pour les modules précédents. L'enseignant complice et l'enseignante d'anglais sont sollicités au sujet de la formulation des consignes et de la faisabilité des tâches demandées aux élèves, d'un point de vue de la physique-chimie mais aussi de la compréhension en L2. Par exemple, l'enseignant complice indique que le document 5 qui explique ce qu'est l'absorbance d'une solution aqueuse colorée est à la portée des élèves (17), en anticipant la difficulté de la fonction logarithme (déjà évoquée dans le module 2). Il suggère de simplifier le document sur le fonctionnement du spectrophotomètre qui devrait déjà être connu par les élèves (99). Selon lui, les protocoles expérimentaux présents sont aussi réalisables (54 ; 56) ; ils étaient déjà proposés dans ce que faisait faire l'enseignant l'année N-1 (132 ; E : t'as repris le TP que j'avais fait ?). Les consignes sont éventuellement ajustées (guidage de l'élève avec référence au numéro de document à exploiter pour réaliser la tâche, mise en forme de la chaîne d'information du capteur, « *remote sensing chain* » à la question 3, partie 1 (40-41)) et validées par les enseignants (68 ; 164). L'enseignant reconnaît le raisonnement par analogie que les élèves doivent mettre en place (124). Ainsi, les connaissances

professionnelles des enseignants sur l'apprentissage sont mobilisées jusqu'au niveau de co-détermination du secteur d'étude (niveau 5) et contribuent à l'évolution des énoncés d'activité. Celles-ci sont étroitement liées à leurs connaissances sur l'enseignement : l'enseignant complice rappelle que la chaîne d'information est semblable à la chaîne d'énergie enseignée en classe de première (37), de même pour l'utilisation du voltmètre (60). L'enseignante d'anglais apporte un éclairage sur le niveau de maîtrise de la compétence linguistique (81).

La réflexion sur l'approche bilingue conceptuelle est présente dans l'exploration des deux énoncés. Ce qui relève de la praxéologie intégrée disciplinaire de référence apparaît dans les échanges sur la mise en relation entre un document et une question pour accéder au discours de l'élève (28-29), sur le raisonnement par analogie qui s'inscrit dans une démarche scientifique par investigation (44-46 ; 117-125), sur la familiarité de l'élève à la L2 et aux contenus des médias qui implique d'exercer une vigilance lors des choix d'extraits authentiques d'article de recherche (8 ; 84 ; 86-102) ainsi que sur la conversion de registres sémiotiques (32). Le type de tâche visé est abordé sous l'angle de la compréhension de supports et de la production d'un énoncé-cible, soit pour les questions intermédiaires numérotées (18 ; 32 ; 96) soit pour la question de recherche posée dans le contexte en début d'énoncé. Dans ce dernier cas, c'est la différence entre démarche et protocole qui soutient la réflexion (50). Comme mentionné lors de la collaboration autour des séances de DNL, anticiper l'étayage de l'enseignant complice (guidage pédagogique, didactique, cognitif et aménagement de cours) est favorable à la mise en place de la praxéologie de référence par les élèves. Que ce soit un guidage fondé sur l'approche lexicale d'appropriation des médias (20-21 ; 79 ; 105 ; 39) ou sur l'approche sémantique (109-116), enseignant complice et enseignante d'anglais adhèrent à la proposition. L'expertise de l'enseignante sur l'approche par tâche pour l'apprentissage d'une langue vivante étrangère (69-77) conduit à des modifications de la consigne pour la réponse à la question de recherche (tâche finale en production écrite ou orale ; pour l'AE1, question 5 et l'AE2, question 8). La réflexion sur le guidage inclut celle sur l'équilibre entre langue et contenus : l'emploi de la phraséologie spécifique à la démarche expérimentale visée est négocié (133-135 ; 137-156). De même, cette réflexion permet d'interroger l'utilisation de la L1 ou de la L2 par les élèves et l'enseignant, pour la signification de « log » dans le document 5 de l'AE1 (17-18) ou du sens donné à la tâche finale (169). Elle est indissociable de celle sur la gestion du temps en TP (23-26) où la densité des contenus prime, selon l'enseignant complice, sur le guidage pédagogique, cognitif, didactique qui pourrait être mis en place en cours de DNL. En effet, mener une approche intégrée conceptuelle bilingue en TP nécessite de dégager du temps pour que l'élève s'approprie les contenus spécifiques à travers la L2 : des solutions pour « avoir du temps » sont discutées (152 ; 154) ; elles tiennent compte des contraintes liées au protocole de recherche.

Au cours du module 3, du temps n'est pas consacré à la réflexion liée à l'approche intégrée sur la compréhension de texte, telle qu'envisagée au chapitre II.3.3 (Duval, 1995) avec les deux opérations de segmentation du texte et de recontextualisation. La coordination du registre graphique et du registre textuel ou la conversion de l'un à l'autre est évoquée à un niveau qui reste éloigné de considérations didactiques sur l'appropriation de concepts. Par contre, l'investigation par analogie, qui fait partie de la praxéologie intégrée disciplinaire de référence, est explicitée à plusieurs reprises : les domaines source et cible (cf. chapitre II.3.3, Dupin et Joshua, 1994 ; Marlot et Morge, 2016) sont identifiés dans les activités expérimentales négociées. C'est aussi le cas pour l'explication d'un fait de physique, abordée à travers les exemples des tâches intermédiaires en production qui sont demandées aux élèves dans les questions des énoncés et à travers ceux des tâches finales. Ces dernières relèvent de l'approche par tâche définie en didactique des langues (cf. chapitre II.3.3, Skehan, 1998 ; Ellis, 2003) : les pistes d'amélioration communiquées par l'enseignante illustrent à quel point une approche intégrée s'imprègne d'une « culture intégrée » de savoirs d'actions pour les deux disciplines, langue vivante étrangère et physique-chimie.

Suite au module 3, l'enseignant complice propose une version en français de l'AE1 en traduisant l'ensemble de l'énoncé (la version finale est présentée ultérieurement, au IV.2). Le module 4 de co-construction qui a lieu quelques jours plus tard, alors que l'enseignant a déjà enseigné auprès des élèves de terminale scientifique (chapitre sur la chimie organique), vise à préciser l'intégration des activités documentaires dans les premières séances.

IV.1.5. Module 4 : activités documentaires AD, aménagement des chapitres

Les négociations lors de ce module de co-construction reposent sur une proposition de scénario des séances 1 et 2 (annexe IV.1.5a) et d'une activité documentaire comportant quatre documents sur la nature et les sources de rayonnement ainsi que sur l'absorption et la transmission de rayonnement par l'atmosphère (annexe IV.1.5b). Les documents 1 (*Electromagnetic spectrum*) et 4 (*Absorption bands and atmospheric windows*) font partie des documents présentés dans le module 2 (annexe IV.1.3e). Le déroulement du module est présenté dans l'annexe IV.1.5c et permet d'identifier les savoirs d'action et les savoirs savants à l'aide de la grille d'analyse :

Différents aspects de la médiation entre les deux cultures des savoirs et niveaux de co-détermination concernés dans le module 4	Référencement au déroulement synthétique d'un module 4 (annexe IV. 1.5c)
Savoirs d'action	
Connaissances professionnelles sur l'apprentissage de contenus particuliers -	
Connaissances professionnelles sur l'enseignement de ces contenus - Niveaux 0 à 5	28-36 ; 81-91 ; 102 ; 103-120 ; 125-132
Savoirs savants	
Représentations des publics d'apprenant.e.s sur l'effet de serre et le réchauffement climatique -	
Trois volets de la séquence et esquisse, propositions de programmation et progression (ébauche) - Niveaux 0 à 5	4 ; 5 ; 7 ; 12 ; 31-36 ; 92-103 ; 99
AE, dialectique écologique média-milieu, activité scientifique des élèves, investigation, raisonnement par analogie (concepts intégrateurs au programme pour le fil rouge « réchauffement climatique » avec des critères du //rc//) - Niveaux 0 à 5 concernés	60-61 ; 72-79 et 81-89 ; 127
Médias, exploitation des documents, familiarité des élèves à la L2 et aux contenus, capacité en réception en L2 - Niveaux 0 à 5	19-27 ; 37-45
Médias « authentiques » - Niveaux 0 et 2	38
Comprendre un texte et/ou expliquer un phénomène - Niveaux 0 à 5	42
Guidage didactique et cognitif - Niveaux 0 à 5	15
Aménagement du cours - Niveaux 0 à 5	46-71 ; 121
Moments bilingues - Niveaux 0 à 4	26 ; 81-91

Tableau 16. Analyse du module 4 de co-construction (cf. annexe IV.1.5c)

Lors du module 4, l'enseignant complice prend l'initiative de présenter les chapitres de cours de l'année N-1 pour les modifier en fonction de la progression des savoirs à enseigner (92-103) et de l'anticipation des savoirs enseignés à travers l'exploitation de supports en anglais (recours aussi à la culture des savoirs savants) : par exemple la partie IV de son chapitre 1 sur les ondes et les particules, présenté lors du premier module de co-construction (annexe IV.1.2c), est soumise « à révisions ». Par conséquent, les connaissances professionnelles identifiées en tant que savoirs d'action portent plutôt sur l'enseignement : construction d'un chapitre autour d'une problématique (28-36) qui permet de rappeler aux élèves que la séquence est contextualisée autour du réchauffement climatique, recours à des expériences de cours qui peuvent être présentées aux élèves pour expliciter une notion telle que le rayonnement (81-91) ou les transferts thermiques (102). L'enseignant indique qu'il ne maîtrise pas le sujet sur les transferts thermiques (103-120 ; 112 ; E : ouais / de toute façon mon cours n'était pas terrible / je ne suis pas trop à l'aise là-dessus / il était un peu bancal /) et pose des questions sur la manière d'organiser le chapitre (125-132 ; 126 ; E : la notion d'irréversibilité / on la met comment ? / et les bilans d'énergie ?). Quelques pistes de réflexion lui sont formulées à partir de considérations didactiques présentes dans le MER (127). La préoccupation de la gestion du temps (que donner aux

élèves dans le temps imparti ? de quelle manière ?) est de nouveau au cœur des échanges pour co-construire le déroulement de la séance 1 (46-71). L'enseignant part du cours réalisé l'année N-1 sur les ondes, les particules et le rayonnement dans l'univers pour prendre en notes les modifications à apporter suite aux négociations : inclure deux activités documentaires à partir d'exploitation de supports en anglais nécessite des aménagements. Les propositions mettent en relation les contenus d'une séance de cours avec ceux nécessaires pour la séance de TP correspondante.

Cette exploration des chapitres est menée conjointement avec l'ébauche de la séquence structurée en fonction des TP et de leurs contenus (4 ; 5 ; 7 ; 12 ; 14 ; 99). Les expériences évoquées pour illustrer le cours sont envisagées, avec beaucoup d'incertitude, pour jouer le rôle de médias si l'enseignant utilise l'anglais et les fait exploiter avec une approche conceptuelle par les élèves (72-79 ; 81-89). L'utilisation de médias authentiques est abordée avec l'énoncé d'activité documentaire proposé : une réflexion est menée sur la longueur des textes (38 ; 37-45), sur la compréhension du fait de physique visé (19-27 ; 42) en lien éventuellement avec une activité expérimentale (par exemple pour les bandes d'absorption atmosphériques en AD, et qui font sens pour l'AE1, 60-61 ; 81-91). Le guidage cognitif et didactique de l'enseignant pour l'exploitation des médias est mentionné en référence aux AE1 et AE2 étudiées au module 3 (15). L'utilisation d'une vidéo comme média (121) est suggérée lors des échanges sur l'aménagement de cours pour prendre en compte la L1 et la L2 (46-71). La place du bilinguisme est pensée dans l'organisation d'une séance de cours en tenant compte du concept visé : à quel moment présenter l'activité documentaire (26) ou une expérience en anglais (81-91 ; en particulier, 83-87, enjeu pour l'étude des mécanismes physiques du réchauffement climatique avec des expériences sur le rôle d'un capteur et la nature du rayonnement) ?

L'idée de prévoir une activité documentaire en cours ordinaire, hors séquence, avant que celle-ci ne débute est suggérée à l'enseignant pour initier les élèves à ce type de démarche (4). De même l'idée d'une évaluation sommative en fin de séquence qui puisse servir pour la recherche (comment les élèves expliquent-ils un fait de physique à partir d'un document en anglais ?) ou pour les pratiques évaluatives au lycée est de nouveau présente dans les échanges (10). Le module 4 permet de rappeler à l'enseignant complice qu'il va falloir consacrer du temps entre les séances mises en œuvre pour des « bilans réguliers » (9). La répartition des tâches est précisée (14) : l'enseignant met en forme les AD et AE des premières semaines, sachant que l'AD1 et l'AD2 sont à finaliser par la chercheuse doctorante, faute de temps lors du module 4.

Ce module est en effet majoritairement consacré aux ajustements des cours réalisés l'année N-1 par l'enseignant complice, ce qui laisse de côté la finalisation des activités documentaires et une réflexion

plus poussée sur l'exploitation de supports en anglais pour celles-ci. Cela s'explique sans doute par la représentation de l'enseignant complice sur ce que doit être un cours dans la séquence co-construite :

122 ; E : ouais c'est ce qui est idéal / et on va pas trop être en retard / nan ce qui est bien / c'est que ça fait un cours / un peu IUFM / enfin ESPE / tu vois un truc parfait

123 ; N : (N rit) oui enfin / l'idéal je crois que c'est l'idéal à moi / si on avait tout le temps / la possibilité de tout bien préparer

E : ah oui c'est sûr ça prend un temps fou / juste pour une classe / là / je refais mes cours de seconde mais bon c'est long

C'est aussi la posture adoptée dans la collaboration⁶⁴, depuis sa mise en place et au cours des quatre modules de co-construction, qui est questionnée : les interventions de la chercheure doctorante peuvent sembler proches d'une enseignante qui mettrait elle-même en œuvre la séquence. Une clarification et une verbalisation des références au cadre théorique de la TAD et des concepts du modèle épistémologique de référence utilisés dans le processus d'élaboration des outils intermédiaires contribuerait à lever l'ambiguïté entre les deux postures.

IV.1.6. Réflexion issue des quatre modules

La réalisation des modules de co-construction provient d'une série de questions issues de la nature de la collaboration souhaitée dans le cadre de la recherche-action collaborative et de la démarche de faisabilité définies au chapitre III. La réponse à la première question (cf. IV.1.1. Comment la mise en œuvre de ces modules permet-elle une culture partagée entre savoirs savants et d'action, qui concerne aussi bien les niveaux de co-détermination liés aux questions d'organisation hors classe et en classe (niveau -1) que ce que font les élèves en physique-chimie (niveau 5) ?) est à chercher dans l'ensemble des outils intermédiaires proposés à l'enseignant et des documents qu'il a partagés. La médiation par ces outils a fait ses preuves. Elle initie les échanges à travers lesquels est formulé, après négociations, ce qui relève « des hypothèses », appréhendées au chapitre III.1.1 comme « des *a priori* raisonnablement pensés et réalistes sur ce qui devrait se dérouler *in situ*, en pratique ». Ces hypothèses mobilisent les niveaux de co-détermination de -1 à 5, de la prise en compte du fonctionnement du lycée à ce qui a trait aux attributs du concept de //réchauffement climatique// et à la praxéologie de référence. Les traces de l'efficacité des outils intermédiaires apparaissent grâce à la grille d'analyse utilisée, à la description des échanges et à certains extraits transcrits : lors des quatre modules, l'enseignant participe à la réflexion nécessaire à la transposition didactique du savoir à enseigner au savoir enseigné telle qu'elle est décrite dans le modèle épistémologique de référence.

⁶⁴ L'enseignant complice sait que la chercheure doctorante est professeure de physique-chimie à l'ESPE (Ecole supérieure du professorat et de l'éducation).

Ses connaissances professionnelles profitent à l'identification des conditions et des contraintes qui contribuent à mieux appréhender l'écologie spécifique du //réchauffement climatique// pour l'année N (cf. chapitre II.1.1, Chevallard, 1994 ; Mercier, 2008). Par exemple, l'enseignant répète (modules 1, 2 et 3) que les protocoles envisagés dans les AE1 et AE2 (spectre d'absorption, mesure d'absorbance, dosage par étalonnage) sont accessibles aux élèves car ils constituent un savoir ancien (classe de première) que les élèves semblent s'être approprié. Or, en référence à Dupin et Joshua (1994, p.10), la construction d'un raisonnement analogique conduit à un savoir nouveau lorsqu'il repose sur la connaissance du domaine de référence, sur le savoir ancien :

« Ce savoir nouveau n'est pas seulement empilé sur l'ancien dans un autre registre de mémoire : il y a reconstruction continue, le savoir nouveau étant organisé à partir du savoir ancien, ce dernier pouvant être lui-même modifié par la "compréhension" du nouveau. Dans cette vision, il est clair que l'analogie, en permettant la mise en place d'un degré élevé d'organisation des savoirs, devrait jouer un rôle très important. » (Dupin et Joshua, 1994, p.10)

L'investigation par analogie fait donc rapidement consensus pour faire partie des AE. D'ailleurs, le fait que l'enseignant complice y fait spontanément référence lors du module 3, montre que la médiation entre culture des savoirs savants et culture des savoirs d'action visée dans les modules de co-construction enrichit ses connaissances professionnelles locales (modalité théorique ; cf. IV.1.1, Morge, 2003).

La deuxième question (Comment la mise en œuvre de ces modules définit-elle la coopération entre les deux partenaires (définition des tâches collaboratives) ?) est aussi traitée tout au long du processus de co-construction avec ces modules : enseignant complice et chercheure doctorante s'entendent sur l'attribution du travail pour déployer la séquence. Ainsi, les différents contenus abordés dans chaque module, de la programmation et de la progression du savoir à enseigner à l'élaboration d'activités documentaires et expérimentales où le savoir enseigné est anticipé, font évoluer l'ébauche de la séquence du premier module vers le prototype de la séquence, à l'issue du dernier module. Ce prototype est détaillé et exploité dans ce qui suit, au IV.2.1.

La description et l'analyse des modules de co-construction illustrent le processus d'élaboration du prototype (cf. IV.1.1. Comment la mise en œuvre des modules conduit-elle à l'élaboration du prototype de la séquence ?). Cependant la mise en œuvre des modules à elle seule ne conduit pas à l'élaboration du prototype de la séquence à réaliser : il faut prendre en compte le « travail inter-module » qui permet d'ajuster les outils de médiation et d'en élaborer d'autres. D'ailleurs, une source de difficulté qui émerge de ces modules (quatrième question posée au IV.1.1) est la densité de certains documents utilisés comme outils intermédiaires ou leur nombre trop important : l'enseignant complice n'a pas forcément eu le temps de se les approprier d'un module à l'autre. C'est le cas des supports en anglais

proposés au module 2 et dont certains ont été de nouveau soumis aux négociations au module 4, ou de l'ébauche de l'AE1 qui a évolué sans intervention de l'enseignant complice du module 2 au module 3. Le temps consacré à chaque module est déjà conséquent pour l'enseignant, ce qui explique que le travail inter-module est plutôt pris en charge par la chercheuse doctorante. De plus, l'organisation et la durée effective des modules diffère de celles initialement prévues : les indisponibilités des différents partenaires en sont la cause.

Ainsi, alors que les modules devaient permettre d'explorer l'ensemble des activités qui mettent en jeu l'approche intégrée conceptuelle bilingue au niveau de codétermination 5, les versions finales des activités documentaires et de la dernière activité expérimentale ne sont pas soumises à négociations avant le début de la séquence : d'autres modules de co-construction pendant la séquence sont nécessaires. Pour les deux enseignants, tout étudier en amont est remis en question (module 3 ; 172 ; « Les deux enseignants suggèrent d'attendre que les AE1 et AE2 soient testées en classe pour ajuster les deux autres activités expérimentales restantes. »). L'approche intégrée est peu conceptualisée dans les échanges pendant les modules de co-construction, sans doute par manque de temps et parce que sont privilégiés les contenus d'enseignement des séances plutôt que les stratégies d'élèves attendues. Elle est tout de même présente dans la réflexion : les aménagements de la programmation et de la progression des savoirs à enseigner par rapport à l'année N-1 ainsi que les aménagements des chapitres de cours et des énoncés d'activités expérimentales prouvent que cette approche ne revient pas à traduire le cours de l'année N-1 du français à l'anglais.

A ce titre, la collaboration ponctuelle avec l'enseignante d'anglais lors du module 3 est précieuse pour affiner l'étude des conditions et contraintes, à différents niveaux de co-détermination, lors de la construction des énoncés, par rapport à ce qu'implique l'intégration de la langue cible et des contenus disciplinaires. Cependant, lors de ce module, une forme de réticence⁶⁵ est décelable dans les échanges, à cause du temps supplémentaire que les élèves doivent dédier à la tâche finale dans les AE. La densité des tâches en langue et en physique- chimie prévue dans les activités expérimentales est appréhendée comme une source de difficultés à anticiper pour la séquence. Même si l'étayage de l'enseignant complice apparaît comme la solution pour aider les élèves à réaliser les tâches demandées, il est probable que les propositions présentées via les outils de médiations « brouillent » les frontières entre enseignement de type EMILE/CLIL et celui avec une approche intégrée conceptuelle bilingue. La collaboration autour des séances de DNL est sans doute une des raisons de cette confusion induite par

⁶⁵ Méhisto (2008) parle de la réticence d'intégration de contenus issus de la discipline de la langue cible ou de la discipline de spécialité lors du travail entre professeur.e de chaque discipline dans un contexte d'enseignement CLIL.

la chercheuse doctorante. Encore une fois, la clarification des références au cadre théorique permet de mieux circonscrire ce qui est à privilégier pour ne pas tomber dans les travers du cours idéal où tout peut être envisagé (module 4, 122-124). De plus, la distinction entre évaluation pour la recherche (« analyse des productions d'élèves ») et évaluation relative aux pratiques de classes (« évaluations diagnostique, formative, sommative ») soulagerait l'organisation des séances (modules 1 et 2).

Synthèse du IV.1. Modules de co-construction et modèle épistémologique de référence

Les modules de co-construction sont mis en place afin de permettre la médiation entre culture des « savoirs d'action » et culture des « savoirs savants » (Desgagné, 1998) et d'appréhender l'écologie spécifique du //réchauffement climatique// pour la séquence envisagée. Le module 1 présente à l'enseignant complice l'ébauche de la séquence issue de l'esquisse définie par le modèle épistémologique de référence et l'enseignant renseigne la chercheuse doctorante sur ce qui est réalisable en comparant les contenus de physique-chimie à enseigner proposés à ceux de l'année N-1. Le module 2 qui s'appuie sur davantage d'outils de médiation permet d'aborder l'approche intégrée conceptuelle bilingue à travers des supports en anglais pour les activités documentaires et l'ébauche de l'AE1. C'est au module 3, où est également présente l'enseignante d'anglais, que la praxéologie de référence est la plus étudiée : dialectique média-milieu et investigation par analogie sont explorées à partir des propositions d'énoncés de l'AE1 et de l'AE2. Le module 4 est centré sur les aménagements des chapitres de cours de l'enseignant complice l'année N-1 pour prendre en compte les moments bilingues où L2 et contenus disciplinaires sont intégrés. La gestion du temps revient fréquemment dans les échanges lors des quatre modules. Grâce aux outils de médiation produits et à l'ensemble des modules, la culture partagée des savoirs d'action et des savoirs savants s'enrichit : la diversité des échanges et le travail inter-module conduisent au prototype de la séquence.

Ce prototype est établi en fonction des conditions et contraintes identifiées grâce à la collaboration avec l'enseignant complice (et ponctuellement avec l'enseignante d'anglais) aux niveaux de co-détermination de l'école (fonctionnement au sein du lycée) jusqu'au secteur d'étude (tâches des élèves).

IV.2. Prototype de la séquence et mise à l'épreuve

IV.2.1. Prototype et protocole de recherche

Le prototype de la séquence d'une durée de quatre semaines environ est présenté dans l'annexe IV.2.1. Il détaille la programmation et progression du savoir à enseigner en fonction de ce qui a fait consensus dans les modules de co-construction. Des séances d'ajustement (« tampon » ; module 4,

101) sont intégrées dans le prototype. Les considérations didactiques du point de vue de l'enseignement-apprentissage du //réchauffement climatique// y sont rappelées en trois volets (cf. chapitre II.3.1). L'approche conceptuelle bilingue est planifiée avec les activités documentaires et expérimentales.

Le prototype fait partie du protocole de recherche pour mettre à l'épreuve l'hypothèse formulée à partir de la question de recherche (cf. chapitre II.4.1) :

QR - Comment intégrer la langue anglaise dans un cours de physique-chimie qui vise des savoirs sur les mécanismes physiques du réchauffement climatique ?

HR - Si l'anglais est intégré à des activités documentaires (AD) et expérimentales (AE) proposées à l'élève où des supports d'informations sont exploités pour en extraire des contenus pertinents d'un point de vue de l'investigation à mener, alors la production de l'élève pour expliquer un fait de physique sera construite à partir de stratégies de repérage, d'inférence et d'analogie où les deux langues jouent un rôle (reformulation) dans la mobilisation des concepts de physique-chimie visés.

Comme l'hypothèse de recherche est présentée sous la forme « si A alors B », le prototype de la séquence issu de la collaboration avec l'enseignant complice est censé permettre la réalisation de A. L'effet attendu « B » relève de la praxéologie intégrée disciplinaire de référence dans le cadre du modèle épistémologique de référence :

Type de tâche	Expliquer un fait de physique par un texte à l'écrit ou à l'oral (le fait de physique dépend de l'activité documentaire ou expérimentale concernée) en français.
Technique	Reconnaître des indices et faire des déductions (extraire et exploiter des informations). Faire des analogies (activité scientifique de chercheur.e.s / activité scientifique d'élèves).
Technologie	Discours en français et/ou en anglais, constitué des termes français et/ou anglais nécessaires pour exprimer les concepts intégrateurs et/ou la dimension du //rc// présents dans les médias.
Théorie	Discours qui relève des connaissances antérieures à mobiliser, relatives à la physique-chimie et/ou à la L2.

Tableau 17. Rappel de la praxéologie intégrée disciplinaire de référence issue du modèle épistémologique de référence (II.3.1)

Mettre à l'épreuve l'hypothèse de recherche signifie, dans le cadre d'une recherche de faisabilité, confronter un ensemble « d'anticipations pragmatiques » à la réalité (prédictibilité praxéologique) (Astolfi, 1993, p.8-9). Le protocole de recherche vise donc à élaborer un « ensemble de possibles et d'impossibles » sous certaines conditions et contraintes (Chevallard, 1994). Il se déroule en deux grandes étapes.

Dans un premier temps, le protocole consiste à concevoir (et produire) les énoncés d'activités documentaires et expérimentales du prototype de séquence et d'analyser en quoi la dialectique média - milieu contribue à la mise en place de l'enquête par l'élève. Cette étape nécessite une sélection des médias, fondée sur le modèle épistémologique de référence qui permet de dégager trois critères de sélection : le premier, « contenu disciplinaire », en lien avec l'approche conceptuelle, le

second, « langue L2 », qui repose sur l'approche bilingue et le dernier, « intérêt », pour envisager l'intégration des deux approches qui visent l'appropriation des mécanismes physiques de l'effet de serre naturel et du réchauffement climatique. La première étape du protocole de recherche définit aussi la praxéologie intégrée disciplinaire de référence pour chaque énoncé (fait de physique singulier). Les questions posées à l'élève favorisent l'exploitation des médias en regard aux savoirs visés, et parmi elles, l'une met en jeu la praxéologie de référence. Dans un deuxième temps, après la mise en œuvre des séances, les énoncés-cible dans les productions des élèves recueillies sont analysés pour identifier les praxéologies intégrées disciplinaires scolaires en fonction de la praxéologie de référence. Entre les deux étapes, la collaboration avec l'enseignant complice permet d'envisager les modalités de passation des AD et AE auprès des élèves. Des observations *in situ* des séances réalisées par l'enseignant complice et enregistrées à l'aide d'un appareil photo-caméra posé sur une table au fond de la classe sont menées : une trame du déroulement de la séance est produite sur la base d'une prise de notes pendant l'observation. Au film d'une séance est attribuée la fonction de mémoire pour compléter si besoin la prise de notes. La trame peut contribuer à l'analyse, si nécessaire, pour repérer à quels moments et de quelle manière l'approche intégrée conceptuelle bilingue se manifeste, voire pour identifier les moments de l'organisation didactique au sens de la TAD (cf. chapitre II.1.1) lorsque les activités documentaires et expérimentales sont proposées. Des échanges de co-construction, informels car planifiés selon les besoins, ont lieu entre les séances pour déployer la séquence : c'est le cas pour les énoncés des AD et AE dont les versions finales sont présentées puis validées par l'enseignant avant leur utilisation en classe. La figure 9 ci-après synthétise le protocole de recherche.

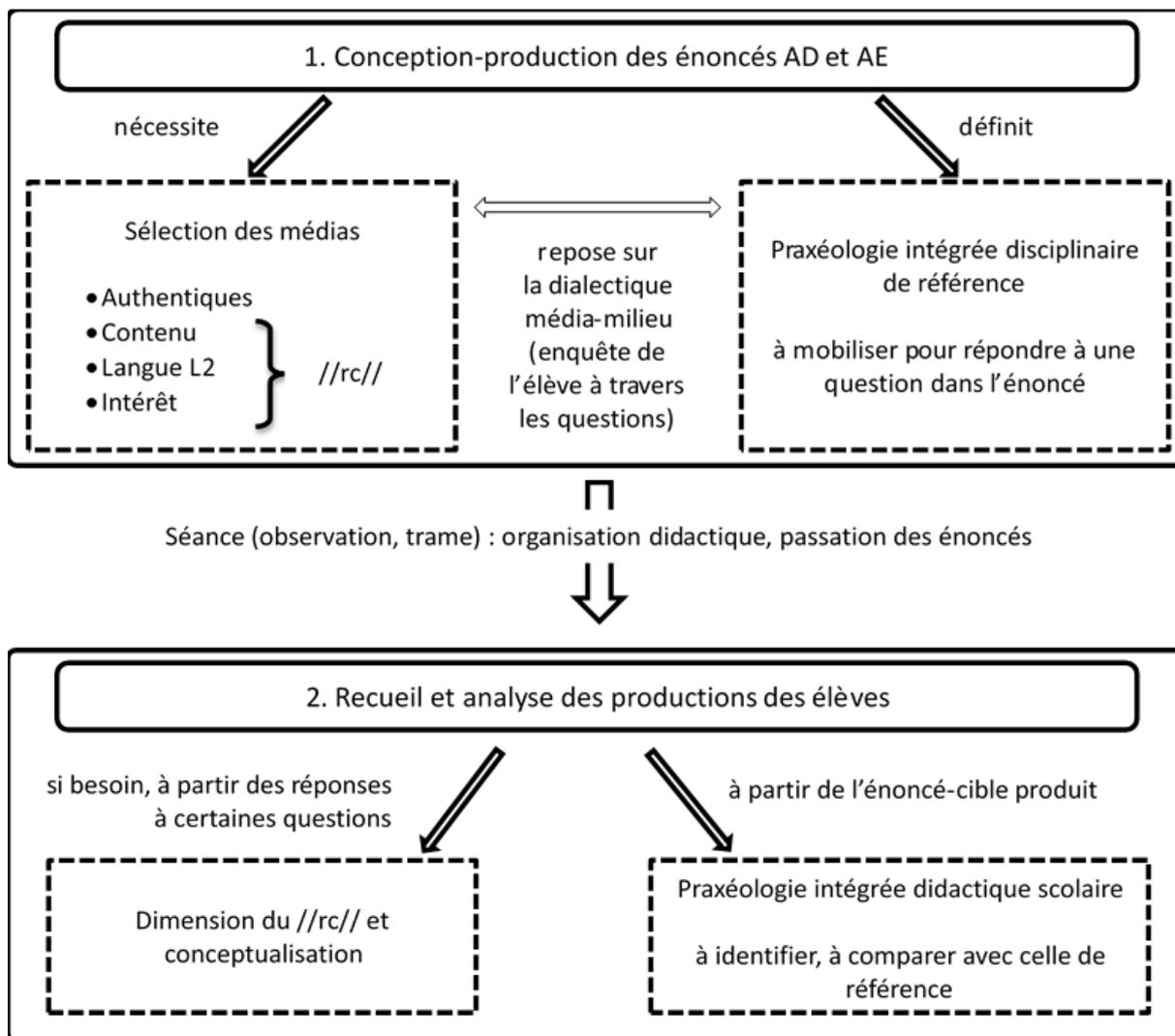


Figure 9. Protocole de recherche en deux étapes

La classe de terminale scientifique concernée est constituée de trente-cinq élèves (dix-neuf filles et seize garçons) d'environ 17 ans. Pour cette classe, l'anglais est la LV1, l'espagnol ou l'allemand est la LV2. L'enseignement de spécialité choisi par l'élève pour l'épreuve écrite du baccalauréat correspond à celui des mathématiques, des sciences et vie de la Terre, de la physique-chimie ou de l'informatique et sciences du numérique. Dix-huit élèves sont inscrits en section européenne (DNL histoire-géographie en anglais) : ils forment le groupe 2 pour les TP. Dans le groupe 1 de TP, les dix-sept élèves ne suivent pas d'enseignement de section européenne. Par leur constitution, les deux groupes ne sont pas équivalents *a priori* du point de vue de la recherche (meilleur niveau en anglais et en physique, en moyenne, pour le groupe en section européenne). Ainsi lors des séances de travaux pratiques, la répartition de la version française ou anglaise d'un énoncé d'activité expérimentale a lieu comme suit, pour éviter « l'effet de groupe » : le groupe 1 de TP réalise l'AE1 en français, l'AE2 en anglais, l'AE3a (première partie de l'AE3) en français, l'AE3b en anglais. C'est l'inverse pour le groupe 2 de TP. La version en français, issue de la traduction de l'énoncé en anglais, en collaboration avec l'enseignant

complice, constitue une référence pour étudier ce que conditionne et ce que permet l'approche intégrée conceptuelle bilingue.

Les résultats obtenus suite à la mise en œuvre du protocole de recherche lors de l'année N révèlent de nombreuses difficultés à caractériser correctement l'approche intégrée conceptuelle bilingue lors de l'exploitation des supports en anglais par les élèves : à travers cette recherche-action à visée pragmatique et praxéologique, « les conditions minimales indispensables pour que ceux-ci [les phénomènes et les actions] se produisent et se déroulent avec succès » (Astolfi, 1993, p.10) ont souvent manqué : les paragraphes qui suivent (IV.2) en présentent l'analyse. En effet, quelques aspects méthodologiques et résultats saillants y sont synthétisés, à partir d'exemples issus des activités documentaires AD1, AD2 et de l'activité expérimentale AE1 : une deuxième expérimentation est conduite l'année suivante (N+1) pour itérer la démarche de recherche, avec un protocole modifié qui prend en compte les résultats (état du possible) de la première expérimentation ; le chapitre V illustre plus en détail le deuxième protocole de recherche et les résultats obtenus. Ainsi, ce qui est présenté ci-après éclaire les modifications opérées lors de l'année N+1 d'un point de vue de la nature de la recherche et de ses objectifs.

IV.2.2. Résultats autour de l'activité documentaire AD1

Lors des séances 1 et 2 construites sur le premier volet de la séquence avec le critère de globalité de la dimension du concept de //réchauffement climatique//⁶⁶, l'enseignant complice déroule le premier chapitre sur le rayonnement, l'atmosphère terrestre et la télédétection. La structure de son chapitre de cours présenté dans l'annexe IV.2.2a est établie sur les éléments issus des propositions du scénario de séance communiqués lors du module 4 de co-construction : les réponses aux cinq questions de l'énoncé de l'AD1 (annexe IV.2.2b) font partie de la logique du cours. La trame des séances est disponible dans l'annexe IV.2.2c. Les trente-cinq élèves de la classe assistent aux séances.

IV.2.2.1. Sélection des médias et conception-production de l'AD1

La question de l'investigation « Quelles informations tirer de l'étude des rayonnements de l'Univers ? » vise la conceptualisation de l'interaction entre la matière et le rayonnement à travers la notion de rayonnement (question 1), de spectre (question 2), de sources émettrices de rayonnement (question 3). Le lien avec le réchauffement climatique s'opère par la notion de fenêtres atmosphériques (question 4) et par une application en télédétection (question 5). Les phénomènes

⁶⁶ Cf. chapitre II.2.2, critère de globalité : la planète Terre est identifiée comme un système, « le système Terre », dont la température augmente ; elle possède une atmosphère considérée comme un mélange de gaz et qui interagit avec le rayonnement électromagnétique émis par le Soleil et émis par la Terre.

d'émission, de transmission, d'absorption et de réflexion de rayonnement sont abordés dans l'ensemble de l'activité. Les deux documents en français (2 et 3) fournissent de nombreux exemples, hors d'une contextualisation sur le réchauffement climatique, qui illustrent la nature du rayonnement en tant qu'ondes ou particules et ses caractéristiques (fréquence, longueur d'onde dans le vide ...). Ainsi deux médias (présentés comme document 1 et 4) sont privilégiés dans leur exploitation où une coordination entre le registre graphique et le texte ainsi qu'une mobilisation des connaissances antérieures contribuent à une meilleure compréhension du média. La dialectique média-milieu repose sur la mise en relation par l'élève des médias entre eux, des médias avec les questions et des médias avec le contexte et la question d'investigation propre à l'activité construite. Ces deux médias sont authentiques, issus d'une ressource en accès libre (site de la NASA). Leur sélection est menée ainsi :

Document 1. <i>Electromagnetic spectrum</i>	
Contenu disciplinaire	Familier aux élèves car les savoirs sont étudiés dans les niveaux de classe inférieurs et pour certains lors des séances de TS qui précèdent la séquence : spectre électromagnétique, fréquence, vitesse de propagation de la lumière dans le vide, onde, longueur d'onde, domaines spectraux sur la figure du spectre électromagnétique. Complémentarité des registres, graphique et en langue naturelle (texte court ⁶⁷ – 82 mots, descriptif), qui apportent des informations.
Langue L2	Accessibilité : présence de termes spécifiques dont le trait morphologique est semblable en L1 et L2 (mots transparents : <i>electromagnetic spectrum, photon, mass, propagate...</i>). Opacité : <i>wavelength, amount of</i> , phraséologie (<i>the greater the energy..., the greater the frequency ...</i>)
Intérêt	Equilibre possible entre contenus et langue si l'élève s'appuie sur ses connaissances de physique-chimie et sur son répertoire linguistique (trait sémantique et morphologique des termes spécifiques) pour mettre en place stratégies de repérage et d'inférence. Enrichissement du répertoire linguistique de spécialité par rencontre de termes qui sont récurrents dans la séquence. Enjeux didactiques pour le //rc// : définir ce qu'est un rayonnement (mode de transfert d'énergie / ondes / particules ; caractéristiques) ; distinguer les différents types de rayonnements selon le domaine spectral : UV, visible, IR, micro-ondes ...

Tableau 18. Critères de sélection (approche intégrée), document 1, AD1, année N

⁶⁷ Pour apprécier si le texte en L2 est court ou long (en nombre de mots) et inférer que l'élève va y consacrer du temps à le lire et à l'exploiter, un résultat d'une enquête sur la fluence en langue française de scolarisation L1 sert de référence, à défaut d'avoir trouvé un résultat sur la fluence en anglais en lycée : Juton et Lequette, dans *Evaluation de la fluence en lecture, du CP au lycée* indiquent que 184 mots en moyenne sont lus par minute par un.e élève en classe de terminale au lycée général;

http://www.cognisciences.com/IMG/pdf/evaluation_de_la_fluence_en_lecture2017-2.pdf

Document 4. <i>Absorption Bands and Atmospheric Windows</i>	
Contenu disciplinaire	Concept nouveau (fenêtre atmosphérique) mais qui met en jeu des notions issues des trois documents qui le précèdent dans l'énoncé et dont la plupart sont connues des élèves. Description et explication de concept pour l'ensemble du document (texte long de 309 mots et figure du spectre en transmission de l'atmosphère, de l'UV aux micro-ondes).
Langue L2	Accessibilité : termes spécifiques dont le trait morphologique est semblable en L1 et L2. Opacité: <i>pass through, to allow, backscattered radiation</i> , nominalisation (<i>remote sensing instruments, absorption phenomena</i>), collocations (<i>line-of-sight</i>), phraséologie (syntaxe élaborée avec emploi fréquent de connecteurs logiques: <i>while, in contrast to, since, because, by contrast...</i>)
Intérêt	Construction de la notion de fenêtres atmosphériques (§2) ; idée principale liée au réchauffement climatique : l'atmosphère est opaque au rayonnement infra-rouge. Equilibre possible entre contenus et langue si l'élève recourt à une stratégie de repérage et d'inférence et/ou si l'idée principale de chaque paragraphe est dégagée (transcodage) et/ou si les registres sont coordonnés et/ou si des connaissances antérieures (physique-chimie et L2) sont mobilisées. Enjeux didactiques : distinguer émission et absorption de rayonnement EM, caractériser l'interaction rayonnement-matière dans le cas de l'atmosphère appréhendée comme un mélange de gaz. Contextualisation avec la télédétection (en relation avec le chapitre 1 et l'AE1)

Tableau 19. Critères de sélection, document 4, AD1, année N

L'intérêt de l'AD1 réside dans la praxéologie intégrée disciplinaire de référence pour l'explication des fenêtres atmosphériques (question 4 : *How to explain what the atmospheric windows are ?*). La technique consiste à repérer l'expression équivalente en anglais dans le texte puis la phrase dans laquelle elle se trouve et à s'appuyer en particulier sur l'ensemble du troisième paragraphe pour lui donner du sens, par inférence⁶⁸. La technologie correspond au discours reformulé (ou traduit) des segments du texte sélectionnés, de la L2 à la L1 qui justifie le choix de la sélection par la mise en place de la technique ; ce discours fait partie de l'énoncé-cible. La théorie met en jeu les connaissances de l'élève sur le spectre électromagnétique, la longueur d'onde et l'absorption de rayonnement (notion au programme de physique-chimie de la classe de première scientifique et rappelée dans le média). La capacité de l'élève à traiter le processus de nominalisation en anglais est considérée comme contributive à la théorie. Ainsi l'énoncé-cible de référence, production attendue, issue de la mise en œuvre de la praxéologie de référence se compose *a minima* de deux unités sémantiques: celle de domaine de longueurs d'onde du spectre électromagnétique (« *areas of the electromagnetic spectrum* » ou « *wavelength bands* ») et celui de transmission de rayonnement par l'atmosphère (« *the*

⁶⁸ Troisième paragraphe, document 4, AD1 (§3): "*In contrast to the absorption bands, there are areas of the electromagnetic spectrum where the atmosphere is transparent (little or no absorption of radiation) to specific wavelengths. These wavelength bands are known as atmospheric "windows" since they allow the radiation to easily pass through the atmosphere to Earth's surface.*"

radiation to easily pass through the atmosphere ») ou de transparence au rayonnement (« *the atmosphere is transparent (little or no absorption of radiation)* »). La relation causale entre ces unités confère à cette expansion discursive le caractère explicatif : les marqueurs du discours présents dans le média sont « *where* » et « *since* ». La coordination des registres présents dans le document 4 peut permettre à l'élève d'étoffer l'énoncé-cible avec un autre argument, celui de l'exemple de gaz (paragraphe 2, « *In the figure...* »). La réponse à la question 4 écrite dans le cours de l'enseignant complice⁶⁹ (annexe IV.2.2a) relève du type de tâche de la praxéologie de référence et met en jeu d'autres connaissances, extérieures à ce que fournit le média (rayonnement arrivant, Soleil) ou présentes dans le média dans un autre paragraphe que le deuxième (« *atmospheric gases* » ; gaz qui composent l'atmosphère ; cas de l'ozone).

IV.2.2.2. Organisation didactique lors des séances 1 et 2, AD1

L'enseignant complice introduit l'activité documentaire en faisant visionner un extrait de vidéo en anglais qui présente le spectre électromagnétique, les domaines spectraux et des objets domestiques émetteurs de rayonnement électromagnétique (Episode 1 de la trame de la séance, annexe IV.2.2c). Le « moment de la première rencontre » avec le type de tâche visé a lieu à l'épisode 2 lorsque les élèves lisent l'énoncé et répondent à la première question (dialectique média-milieu). Le « moment de l'exploration du type de tâches et de l'élaboration d'une technique » est présent dans les épisodes 3, 4 et 5 où les élèves questionnent l'enseignant sur les mots qui leurs sont inconnus (*analogous, wavelength, area*). Celui-ci les aide en les faisant réfléchir la forme des mots en L1 et en L2 (association lexicale avec éventuelle combinaison de mots dans le cas de *wave* et *length*). La correction collective de la question 1 met en évidence le « moment de la constitution de l'environnement technologico-théorique » lorsque des élèves proposent leur réponse et du « moment de l'institutionnalisation » lorsque l'enseignant dicte la réponse dans le cours. Poser la question sous la forme « qu'est-ce que » ne conduit pas tous les élèves à développer leur réponse : au terme *radiation* de la question 1 sont associés d'autres termes (rayonnement, chaleur, lumière, onde). La conceptualisation de la notion de rayonnement s'opère lors de l'institutionnalisation du savoir dans le chapitre. Lors des épisodes suivants, plusieurs moments du travail de la technique sont repérables : les élèves rencontrent de

⁶⁹ Extrait du chapitre I du cours de l'enseignant complice, §III : « Une fenêtre atmosphérique est un domaine du spectre électromagnétique pour lequel le rayonnement arrivant (du Soleil majoritairement) sur l'atmosphère n'est pas absorbé par les gaz qui la composent. La fenêtre atmosphérique dépend donc de la longueur d'onde du rayonnement incident et de la nature des molécules absorbantes : voir le cas de l'ozone (dans l'UV Ozone et trou couche d'ozone=> O₃ est protecteur d'UV car il ne laisse pas passer le rayonnement incident jusqu'à la surface terrestre mais dans l'IR, Ozone laisse passer ce rayonnement « thermique) => rôle dans l'effet de serre. L'atmosphère est transparente pour deux fenêtres : le domaine visible et le domaine radio. »

nouveau le type de tâche à travers la question 2 puis 4. Lors de l'épisode 5 de la séance, les interactions orales entre l'enseignant et les élèves caractérisent le « moment de l'évaluation » qui consiste à prendre du recul sur le travail accompli par les élèves :

E : déjà, sur les documents qu'est-ce qui vous a posé le plus de problème ? souci en anglais ?

El : les textes en anglais

E : est-ce que le spectre électromagnétique en anglais ça vous pose problème ou pas ?

Plusieurs répondent que non, d'autres oui. L'enseignant indique alors : « Qu'est-ce qui vous pose souci là-dedans, c'est les mêmes mots. Une fois que vous avez compris que *wave* c'était onde... Les unités sont les mêmes qu'en français. »

Absence de commentaires d'élève.

E : donc qu'est-ce que vous avez fait pour comprendre les documents en anglais ?

El : ben, on a lu

E : comment vous vous êtes débrouillés ? Vous avez lu ? Ça suffit ?

El : on a pris des notes

E : ça a été ? Est-ce que l'anglais était le vrai frein ? Vous ne m'avez pas demandé de vocabulaire ? C'est que c'était clair ?

L'explicitation des éléments du bloc praxis est absente dans les échanges. L'enseignant verbalise à plusieurs reprises la stratégie d'appui où la similitude des traits morphologiques du mot en L2 et en L1 est mise en jeu (modèle d'association lexicale).

IV.2.2.3 Productions des élèves, AD1

Seuls cinq énoncés travaillés par les élèves sont recueillis sur les trente-cinq (aucune production n'est relevée) car plusieurs élèves indiquent avoir écrit directement dans le cours, ou sur un brouillon, ou d'avoir effacé leur réponse. Sur un énoncé parmi les cinq, dans l'espace dédié au lexique, la phrase « *the greater the energy of the photon, the greater the frequency of light and vice versa* » (document 1) est recopiée. Ces énoncés travaillés révèlent une diversité de techniques « visibles » pour exploiter les médias (l'élève surligne ou entoure des mots, des expressions, des passages entiers, méthodiquement avec un code couleur ou de manière uniforme dans tous les documents). Pour le document 4 et la question 4 sur les fenêtres atmosphériques, des traces du repérage pour deux élèves correspondent à l'extrait surligné « *they allow the radiation to easily pass through the atmosphere to Earth's surface.* » dans le troisième paragraphe et dans un cas, « *atmospheric windows* » est aussi surligné. Ce repérage est peut-être réalisé lors de la phase collective de correction. Lors de la séance (épisode 9), les échanges donnent une idée de réponses d'élèves :

E : alors qu'est-ce que les fenêtres atmosphériques ?

El : c'est des bandes d'absorption

E : c'est ça ce sont des bandes qui vont laisser passer les longueurs d'onde. Là, on en identifie plusieurs, quelles sont les deux fenêtres du spectre qui sont transparentes sur Terre pour l'atmosphère ?

El (autre) : la fin des micro-ondes et le visible.

Comme les réponses à l'oral sont incomplètes, l'enseignant précise la première en ajoutant la notion de longueur d'onde et de transparence de l'atmosphère à certains rayonnements lorsqu'il demande un complément d'information sur le domaine spectral concerné. Il est donc impossible d'accéder aux praxéologies intégrées disciplinaires scolaires pour cette activité.

La mise en œuvre des deux premières séances et de l'activité documentaire AD1 font émerger quelques points favorables au recours à la praxéologie de référence par les élèves et quelques sources de difficultés : le document 4 est pertinent pour faire travailler les élèves sur quelques obstacles à la compréhension du //réchauffement climatique// (cf. chapitre II, premier volet de la séquence⁷⁰ et chapitre IV, prototype de la séquence pour la semaine 1). En effet, les efforts cognitifs pour donner du sens au média en anglais en fonction de l'enquête du milieu les conduisent à mobiliser la notion d'absorption et de transmission de rayonnement par un corps, dans le cas de l'atmosphère terrestre, à distinguer les rayonnements qualifiés d'UV-visible ou d'infrarouge en fonction de leur longueur d'onde, à construire la notion de fenêtre atmosphérique (corrélée à celle de transparence de l'atmosphère au rayonnement UV-visible et d'opacité à l'infrarouge) et à identifier le cas particulier de l'ozone⁷¹. La présence de représentations sémiotiques différentes pour ce média est à conserver car elle a servi d'appui à l'enseignant et aux élèves pour aborder les notions évoquées précédemment.

L'approche conceptuelle bilingue est donc possible à travers le processus dialectique média-milieu avec des aménagements pour que d'un point de vue de la recherche, cette approche soit identifiable. Une première difficulté semble provenir de l'utilisation des réponses pour construire les contenus du chapitre : si les productions des élèves constituent le corpus de données à traiter, distinguer ce qui relève d'une pratique de classe et d'une pratique de recherche semble indispensable. Cette distinction doit être évidente pour les élèves (et l'enseignant) : l'organisation didactique disciplinaire peut se penser comme une phase de cours à elle seule et un support dédié à l'analyse de la recherche serait un moyen d'indiquer aux élèves que leur production contribue au projet de recherche (en particulier, ce qui relève de l'évaluation par compétences n'a pas sa place dans le dispositif de recherche). Ainsi, l'accès à la praxéologie scolaire serait plus aisé. Une autre difficulté s'explique par la conception de

⁷⁰ Cf. chapitre II : « Ce premier volet de la séquence met en jeu la dimension du //réchauffement climatique// par le rôle de l'atmosphère et son interaction avec le rayonnement (globalité) ; il vise à dépasser les obstacles épistémologiques identifiés lors de la construction du MER pour l'explication du réchauffement de la planète (adhérence chaleur-rayonnement, atmosphère chauffante, trou de la couche d'ozone...). L'étude du spectre électromagnétique permet de distinguer les différents types de rayonnement (IR, solaire), de mettre en évidence l'interaction entre l'atmosphère et le rayonnement à l'échelle macroscopique et d'en fournir une explication par sa composition en gaz. »

⁷¹ Cf. annexe chapitre II.2.2.1a, forçage externe et forçage radiatif, gaz à effet de serre : cas de l'ozone troposphérique et stratosphérique.

l'énoncé de l'AD1. Présenter exclusivement des médias en anglais, préciser la formulation des questions pour favoriser la mise en place de la praxéologie intégrée de référence sont des pistes à envisager. Contextualiser la question investigatrice avec l'activité des scientifiques semble aussi un levier à faire conceptualiser le //réchauffement climatique// aux élèves : cela est déjà prévu dans les activités expérimentales, ce qui automatiserait une forme d'engagement des élèves dans le projet, pour mettre en œuvre l'approche intégrée.

IV.2.3. Résultats autour de l'activité expérimentale AE1

La séance 3 est une séance de travaux pratiques, d'une durée de deux heures, auprès de chaque groupe de TP et construite sur le critère de globalité du //réchauffement climatique//. Le premier groupe d'élèves travaille à partir de l'énoncé d'activité expérimentale AE1, en français (annexe IV.2.3a). L'énoncé est en anglais pour le deuxième groupe (élèves en section européenne) (annexe IV.2.3b). Les versions finales des énoncés et le déroulement de la séance sont issus d'une collaboration avec l'enseignant complice à distance, par courriel et par téléphone après les modules de co-construction. La trame de la séance est présentée dans l'annexe IV.2.3c. Les élèves travaillent en binômes en salle de TP : le matériel est disposé sur chaque paillasse des binômes et sur la paillasse-bureau.

IV.2.3.1. Sélection des médias et conception-production de l'AE1

L'énoncé de l'AE1 dont les contenus et la mise en forme sont négociées lors des modules 2 et 3 de co-construction est construit sur l'analogie entre l'utilisation d'un détecteur de rayonnement en classe (photodiode) pour déterminer la transmittance d'une espèce chimique colorée en solution à une longueur d'onde donnée et le principe de la télédétection par satellite pour obtenir un spectre de transmission des gaz atmosphériques. Le domaine cible est celui de la télédétection, que l'élève appréhende par l'exploitation des médias en anglais. Le domaine source est celui que l'élève est censé connaître et qui met en jeu le phénomène d'absorption et de transmission de rayonnement par une solution aqueuse colorée. Ainsi, le choix des médias est effectué pour que certains portent sur l'activité de chercheur.e.s en télédétection (document 1, 2 et 3) et d'autres sur des éléments du protocole que l'élève doit mettre en œuvre (document 4 et 5). Le contexte de l'activité AE3 décrit le principe puis le rôle de la télédétection dans l'étude de l'atmosphère par quelques lignes issues du site de la NASA à destination du public profane et trois extraits d'un article de recherche expliquent le principe d'occultation stellaire avec le spectromètre GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars, Kyrölä et al. (2004)) du satellite Envisat (documents 1, 2 et 3). Le document 4, extrait d'un cours d'optoélectronique en anglais, précise le fonctionnement d'une photodiode aux niveaux microscopiques et macroscopiques pour que l'élève fasse le lien avec l'interaction rayonnement-

matière et la détection d'un rayonnement. Le document 5 sert de rappel sur la notion d'absorbance dans le cas de l'étude d'une solution aqueuse colorée. La section sur le matériel comprend un texte à visée didactique (Nota Bene) pour faciliter la compréhension du protocole. La diversité des registres fait partie également des critères de choix des médias. En effet, les figures du document 2 illustrent le principe de télédétection du document 1. Pour le document 3, la coordination des registres graphique et en langue naturelle peut constituer une aide à la compréhension du média, de même pour le document 5. Le Nota Bene est aussi construit en langue naturelle et en langage formel mathématique dans ce but.

Les quatre questions de la partie 1 de l'AE1 (*Remote sensing provide measurements*) guide la démarche dialectique entre média et milieu car la réponse à une question est conditionnée à la lecture-compréhension des médias et dans chaque question est indiqué un document sur lequel elle porte (module 3). La partie 2 (*Experimenting remote sensing in the lab*) est initiée par la question 5 où un tableau permet à l'élève de raisonner par analogie. La colonne de gauche, déjà complétée, concerne le domaine cible, celle de droite, vide, le domaine source et la dernière met en jeu la réflexion sur la validité de l'analogie, ses limites. Ainsi pour remplir le tableau, les éléments du montage à réaliser dans le protocole et les grandeurs à mesurer doivent être identifiés par l'élève (document 4, section matériel) et associés aux données du domaine source. L'élève peut ainsi anticiper la démarche, le protocole et son analyse, demandées aux questions 6, 7 et 8. Les réponses aux questions sont proposées dans l'ébauche de l'AE1 (annexe IV.1.4a, module 3 de co-construction). Toutes les tâches à réaliser favorisent la mise en place d'une investigation par analogie sur laquelle repose l'AE1 : dans la partie 3 (*Role played by the satellites*), l'élève doit expliquer comment les satellites peuvent surveiller (au sens de sonder) l'atmosphère par occultation stellaire.

La conception-production de l'énoncé menée en fonction de l'intitulé d'une question et de ce qui est attendu de l'élève est présentée dans l'annexe IV.2.3d ; elle prend une forme particulière car elle est communiquée à l'enseignant complice quelques jours avant la séance 3, comme convenu lors de la collaboration (modules 3 et 4). Elle met en évidence quelques éléments de l'approche intégrée et de la praxéologie de référence, détaillés ci-après, pour les deux premiers documents :

	Document 1. GOMOS on Envisat: an overview et document 2. Measurements provided by GOMOS
Contenu	<p>Nouveauté - Le contenu est technique car le principe de mesure d'occultation stellaire est décrit en détails (doc.1). Il est synthétisé à l'aide des deux figures présentées dans le doc.2 : ce sont deux manières d'illustrer ce principe et de mettre en relation le spectre obtenu (figure en haut) avec la mesure de l'intensité du rayonnement (celle en bas).</p> <p>La coordination des registres graphique, en langage formel (relation mathématique de la transmittance en fonction de la longueur d'onde) et en langue naturelle (doc.1) permet la mise en relation des contenus.</p> <p>Familiarité - Les notions du doc.1 sont abordées dans les séances précédentes de la séquence : rayonnement (nature, source, propriétés), longueur d'onde, spectre, domaine spectral, absorption et transmission de rayonnement.</p>
Langue L2	<p>Accessibilité - Densité de termes spécifiques dont le trait morphologique est semblable en L1 et L2, doc.1 et doc.2 (<i>stellar, occultation, measurement, principle, on board, spectrometer, photometer ...</i>) dont de nombreux ont été précédemment étudiés dans l'AD1. De même pour des termes tels que <i>through, to allow ...</i></p> <p>Difficulté : le procédé de nominalisation est récurrent (nom du principe de mesure, <i>high resolution temperature profiles, absorption features, calibration-free horizontal transmission spectra ...</i>)</p>
Intérêt	<p>Equilibre possible entre contenus et langue (cf. AD1, doc.1) si l'élève s'appuie sur ses connaissances de physique-chimie, sur son répertoire linguistique et les stratégies de repérage et d'inférence.</p> <p>L'élève est confronté.e à la lecture d'une texte scientifique technique (doc.1), assez long (223 mots), accompagné (doc.2) par des schémas, spécifique de l'activité de scientifiques en télédétection et de la littéracie scientifique. Le caractère expérimental du texte contribue à la mise en œuvre d'une investigation par analogie en classe.</p>

Tableau 20. Critères de sélection (approche intégrée), documents 1 et 2 de l'AE1

Ces deux documents sont primordiaux pour répondre à la question 9 de la dernière partie car ils fournissent des connaissances et une phraséologie spécifique (en L1 ou en L2) que les élèves doivent mobiliser dans leur production. La praxéologie intégrée disciplinaire de référence est envisagée pour la réponse à la question 9. Le fait de physique à expliquer correspond au sondage de l'atmosphère avec des mesures par occultation stellaire. La technique recourt à l'analogie de l'AE1, au repérage de certains mots ou groupes de mots exprimant les idées principales issues des documents 1 et 2 et aux inférences mises en œuvre par un processus dialectique média-milieu : elle est constituée des extraits cités ou de la terminologie indiquée dans l'annexe IV.2.3d (« réponse attendue de l'élève », questions 1 à 4). Le discours technologique est issu d'une reformulation, à partir des éléments de la technique : il doit être organisé et expliciter les étapes du principe de mesure. La théorie met en jeu les savoirs identifiés dans les critères de sélection des documents 1 et 2 et que les élèves peuvent s'approprier par la réalisation des différentes tâches de l'AE1 : l'énoncé-cible de référence contient donc les éléments indiqués dans l'annexe IV.2.3d pour la question 9 et présentés dans le paragraphe ci-après (cf. IV.2.3.2). La praxéologie de référence ne peut inclure, dans le bloc technico-technologique, le processus de reformulation (transcodage) qu'à condition que les élèves dont l'AE1 a été proposée

en anglais répondent en français : cela n'a pas été le cas. Néanmoins une analyse des énoncés-cible des élèves est effectuée.

IV.2.3.2 Productions des élèves, AE1

La qualité des productions des élèves à la question 9 est corrélée au déroulement de la séance : la trame de séance (annexe IV.2.3c) révèle qu'avec les deux groupes, l'enseignant laisse du temps aux élèves pour prendre connaissance de l'énoncé d'activité et initier l'exploitation des supports en L1 ou en L2. Une alternance entre un travail individuel (ou en binôme) et une correction des réponses aux questions (avec étayage) caractérise la séance. L'organisation didactique est semblable à celle qui est mise en évidence lors de l'AD1. Avec le groupe 2 (version en anglais), l'enseignant s'adresse aux élèves en français à moins qu'il ne se réfère à l'AE1 : dans ce cas les réponses corrigées sont construites en français puis synthétisées et dictées en anglais. Les élèves rédigent en anglais. Les neuf binômes ont eu le temps de s'enregistrer avec un microphone relié à un ordinateur pour donner leur réponse à la question 9. Les transcriptions sont présentées dans l'annexe IV.2.3e (production de 1 à 9). Pour le premier groupe, par manque de temps en fin de séance, seules cinq productions en binôme en français sont relevées (annexe IV.2.3e, production 10 à 13). Une grille d'analyse qui repose sur les unités sémantiques attendues dans l'énoncé-cible permet de traiter, à un premier niveau, les productions des élèves en binômes ; une croix signifie que l'argument attendu est présent dans l'énoncé-cible produit :

Unités sémantiques de l'énoncé-cible de référence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Référence au principe de mesure par occultation stellaire.								x		x	x		x
Organisation des unités : étapes de la mesure	x					x	x			x			
Détection du rayonnement émis par une source de lumière (étoile) par le satellite au-dessus de l'atmosphère (absence d'absorption) : obtention d'un spectre de référence.	x								x	x			x
Déplacement du satellite qui descend : détection du rayonnement transmis par l'atmosphère et obtention d'un spectre avec occultation (absorption : interaction entre l'atmosphère et le rayonnement émis par l'étoile).	x	x							x	x			x
Utilisation des deux spectres pour obtenir le spectre calibré en transmission, caractéristique des gaz dans l'atmosphère sondée.	x								x	x			x
Transmission de rayonnement par l'atmosphère	x	x					x						
Absorption de rayonnement (par les gaz atmosphériques ou l'atmosphère)	x	x								x			

Tableau 21. Identification, dans les énoncés-cible des élèves en binôme, des unités sémantiques attendues pour la question 9 de l'AE1 (1-9 : production en anglais, 10-13 : production en français)

Expliquer comment les satellites surveillent l'atmosphère par occultation stellaire est à la portée de peu d'élèves en fin de séance : les contenus de physique à mobiliser sont présents dans 4 productions sur 13 ; la terminologie spécifique en français ou en anglais manque, les concepts intégrateurs au programme sont difficilement exprimés à travers la L1 ou la L2. Deux productions portent sur le document 3 (5 : « *many reflection* », « *CCD detector* » ; 11 : « capteurs CCD ») : la dialectique média-milieu mal menée conduit les élèves à un hors sujet. La technique de repérage avec emploi des mots et expressions repérées dans ces productions 5 et 11 est visible, ainsi que dans la production 6 (« *satellite* », « *above the atmosphere* », « *stellar occultation gazes* », « *extract it for the stellar signal* » ...) : les mots et expressions viennent de la consigne ou des médias et leur juxtaposition semble être une stratégie d'élèves pour combler la difficulté à conceptualiser le principe de mesure étudié. L'occultation stellaire est une technique de mesure par détection et les grandeurs mesurées ou détectées sont identifiées avec quelques confusions ou passées sous silence (4 : « *measure the stellar radiation* » ; 7 : « *he measures the wavelenghts emitted* » ; 8 : « *we couldn't have euh / the measurements outside of the atmosphere* » ; 9 : « *measure the sun radiation* » ; 10 : « une mesure de référence » ; 12 : « observer les longueurs d'onde » ; 13 : « effectue une nouvelle mesure et analyse les rayons »). Les énoncés-cible recueillis mettent davantage en jeu la description d'un fait de physique (un principe de mesure) que son explication par le recours à des unités sémantiques sur l'interaction rayonnement-matière. En effet, dans les énoncés-cible, les élèves ont tendance à décrire le principe de mesure en termes d'objets (détecteurs, capteurs, satellite, Soleil ...) et d'actions (descend, détecte, obtient un spectre, compare ...). L'explication peut être analogue à une histoire (cf. chapitre II.3.3, Ogborn et al., 1996) à travers l'emploi de marqueurs temporels (13 : « puis », « ensuite » ; 7 : « *and then* »). Ce qui relève de l'expansion discursive (cf. II.3.3, Duval, 1995) à l'aide d'entités moins familière (cf. II.3.3., Ogborn et al., 1996) comme les phénomènes de transmission ou d'absorption est minoritaire. Les deux dernières lignes de la grille révèlent que le critère de globalité du //rc// pour le premier volet de la séquence dans le cadre de l'AE1 (cf. chapitre II, « Mettre en évidence l'interaction entre l'atmosphère et le rayonnement à l'échelle macroscopique ») est peu présent dans les énoncés-cible. Une production est hors-sujet et les liens avec les médias sont ténus : le satellite est associé à un objet technique, entre le Soleil et la Terre et sert à communiquer (3 : « [...] *can monitor it because they are at distance to the sun radiation / so they communicate between the earth* »).

Il semble que les difficultés évoquées soient indépendantes de la langue utilisée puisqu'elles sont repérées pour des productions en L1 et L2. Ce qui relève de l'approche bilingue n'est pas évaluable puisque qu'il n'y a pas de transcodage. En revanche, l'approche conceptuelle fondée sur la dialectique média-milieu peut être mise en évidence dans la dernière tâche de l'AE1 demandée aux élèves car des extraits des médias figurent dans les productions, ce qui implique la présence de notions de physique

dans les écrits produits, sans impliquer pour autant une cohérence de l'énoncé-cible ni une pertinence de l'explication fournie. Consacrer davantage de temps à cette tâche aurait sans doute permis aux élèves de produire des énoncés-cible plus complets et détaillés, mobilisant davantage les concepts étudiés à travers les questions de l'AE1. De plus, l'appropriation de l'énoncé et la réalisation de l'ensemble des tâches nécessitent un temps de réflexion qui, par rapport au temps imparti pour cette séance, n'est pas suffisant. Même si toutes les questions avant la production finale sont corrigées et même si l'enseignant étaye son discours pour aider les élèves⁷², les énoncés-cible en L1 et L2 (sans transcodage) n'expriment pas en majorité les concepts attendus et n'emploient pas les termes spécifiques, identiques à ceux utilisés au cours de la correction des questions. Avec du recul, le document 3 met les élèves en difficulté : d'une part lors de la correction de la question 3 (épisodes 3 et 11), l'enseignant se rend compte que les élèves peinent à donner une signification aux flèches et traits de la figure (propagation du rayonnement et présence de miroirs dans l'instrument) et d'autre part, quelques élèves l'utilisent exclusivement pour produire l'énoncé-cible. Le niveau de détails de ce document sur la nature des détecteurs utilisés dans GOMOS apparaît comme un obstacle à l'objectif visé. Dans un souci de réserver du temps à la réflexion de l'élève, le document 4 sur le fonctionnement de la photodiode peut être supprimé de l'énoncé : aucun élément ne contribue directement à la mise en œuvre de la praxéologie de référence. Le Nota Bene de la section matériel qui aide à la compréhension du montage (en permettant à l'élève de mettre en relation la tension qu'il mesure aux bornes de la photodiode et l'intensité lumineuse du rayonnement qu'elle détecte) pourrait jouer le rôle du document 4.

Concernant les mots inconnus dans les médias en anglais, les termes qui posent le plus problème sont soit inscrits dans le *vocab space* soit présents dans les interactions en classe (les élèves questionnent l'enseignant, épisode 10) : « *occultation* », « *above* », « *devices* », « *feature* », « *launched* », « *monitor* », « *layout* ». Donner leur signification entraverait peut-être la praxéologie attendue où déduire le sens d'un mot par le contexte ou l'utilisation de ses connaissances fait partie de celle-ci. Enfin, l'approche par tâche en L2 semble contraindre les élèves à s'éloigner du contexte et à prendre en compte la situation de communication. Même si l'enseignant complice anime la séance pour rendre la situation pragmatique et provoque l'engagement des élèves dans la tâche (épisode 14),

⁷² Trame de séance, épisode 10 : Après quelques minutes, l'enseignant précise : « donc les mots clés ça va être : radiation, atmosphere, detectors, above the atmosphere, to compare the spectrum ». Il ajoute : « Attention en anglais, spectrum c'est du singulier, ça vient du latin, et au pluriel ça va être spectra ».

ce temps de « perspective actionnelle » (CECRL) se substitue au temps de réflexion requis pour produire un écrit et induit une production en L2 plutôt qu'une reformulation en L1.

Entre la semaine 1 et la semaine 2, la prise en compte des difficultés rencontrées pour l'activité documentaire conduit à concevoir l'AD2 différemment.

IV.2.4. Résultats autour de l'activité documentaire AD2

Lors des séances 4 et 5, l'enseignant complice termine le chapitre 3 (10 min) et mène la phase de correction des exercices donnés en devoirs (10-15min) qui portent sur la nature, la détection et l'émission de rayonnement électromagnétique. Il commence le chapitre 4 (annexe IV.2.4a) : il aborde (1h15) avec les élèves le spectre d'absorbance d'une espèce chimique dans l'UV-visible, la loi de Beer-Lambert et montre, à partir du spectre de la lumière blanche obtenu avec un prisme, les bandes d'absorption caractéristiques d'une solution de permanganate de potassium diluée (« expérience de cours classique »). Les vingt dernières minutes sont consacrées à l'activité documentaire AD2 (annexe IV.2.4b) : les élèves effectuent les tâches demandées dans l'énoncé sur une feuille à part qui est relevée avec l'énoncé.

La deuxième activité documentaire de la séquence est composée d'un document en anglais (document 1. *Radiation*, module 2) suivi de six questions en anglais et d'un document en français (document 2. Rayonnement solaire et rayonnement tellurique) accompagné d'une question en français. Les médias sont authentiques, extraits de sites dont l'adresse URL est indiquée sur l'énoncé (site de la NASA pour un public profane et site de l'ENS dédié à la planète Terre). L'ensemble de l'activité permet de réinvestir ou d'approfondir les concepts relatifs au deuxième volet de la séquence (critère de propriétés radiatives du //réchauffement climatique//) à travers la L2. Le média en anglais est choisi pour plusieurs raisons, liées à son contenu en langue et son intérêt pour la séquence :

Document 1. Radiation	
Contenu disciplinaire	<p>Familiarité - Le rayonnement électromagnétique (EM) propage de l'énergie (le rayonnement infrarouge propage de l'énergie thermique, appelée communément « chaleur »), l'interaction rayonnement-matière s'interprète au niveau macroscopique en termes de phénomènes d'absorption, d'émission, de réflexion de rayonnement par un corps ; un corps chaud émet un rayonnement EM continu, dont les propriétés dépendent de la température du corps (loi de Wien exploitée en classe de première scientifique). Il existe une relation entre la fréquence du rayonnement et l'énergie qu'il propage (cf. AD1).</p> <p>Nouveauté - L'interaction rayonnement-matière s'interprète au niveau microscopique par considérations de vibrations d'électrons, d'atomes, de molécules.</p> <p>La coordination des registres graphique et en langue naturelle permet la mise en relation des contenus mais l'exploitation du graphe demande un effort cognitif important car trois grandeurs sont mises en jeu et sont nommées de manière générique : aucune précision sur la nature de l'énergie, la lecture de la légende (2500 K ...) nécessite de l'associer à la valeur de la température du corps ... Le graphe représente l'énergie du rayonnement émis par un corps, en fonction de la longueur d'onde du rayonnement et pour trois valeurs de température du corps. Une image avec trois lampes qui éclairent différemment illustre le texte en italique avec trois exemples de relation entre la température du filament d'une lampe et le domaine spectral dans lequel le rayonnement est émis. L'image et le graphe traitent du même exemple.</p>
Langue L2	<p>Accessibilité - Termes spécifiques précédemment étudiés dans l'AD1 et l'AE1 (<i>radiation, visible light, wavelengths</i>) et/ou dont le trait morphologique est semblable entre L1 et L2, phraséologie « familière » : <i>an object reflects, absorbs, and emits energy, These waves originate from billions of vibrating electrons, atoms, and molecules.</i></p> <p>Difficultés - phraséologie spécifique à l'anglais scientifique, déjà rencontrée lors de l'AD1: <i>The higher ..., the faster ...and the shorter ... , Conversely, the lower ..., the slower ... and the longer ...</i> ; approche imagée du concept (<i>This concept can be shown [...] in a series of longer waves.</i>) qui n'est pas nécessaire à la compréhension du phénomène d'émission de rayonnement visé.</p>
Intérêt	<p>Equilibre possible entre contenus et langue si l'élève s'appuie sur ses connaissances de physique-chimie, sur les mots de son répertoire linguistique (trait sémantique), sur le trait morphologique des termes spécifiques : stratégie de repérage et d'inférence.</p> <p>Le contenu du texte (long – 265 mots) en L2 est centré sur les propriétés du rayonnement émis (fréquence, intensité) par un corps en fonction de sa température (modèle du corps noir et loi de Wien sont implicites). L'élève est alors « outillé », sans devoir comprendre l'intégralité du texte, pour expliquer la différence des spectres pour le Soleil et la Terre du document 2 (un enjeu didactique de la séquence : la surface de la Terre émet un rayonnement infrarouge).</p>

Tableau 22. Critères de sélection (approche intégrée), document 1 de l'AD2

L'approche intégrée conceptuelle bilingue est ainsi favorisée par l'exploitation du média en anglais en fonction des questions. Les deux premières questions (1.1 et 1.2) portent sur la schématisation des phénomènes d'absorption, d'émission et de réflexion d'un rayonnement pour la Terre et son atmosphère. La question 2.1 (*Why does a white light bulb heat more than it lights ?*) attire l'attention de l'élève sur le fait qu'une lampe à filament qui éclaire par une lumière blanche émet *grosso modo* un rayonnement dans le visible et dans l'infrarouge ; l'élève doit fournir une telle explication à l'aide

du média⁷³, ce qui correspond à la praxéologie de référence visée. Elle repose sur le repérage et la reformulation d'extraits du texte (technique) pour produire un écrit (technologie et théorie) sur l'émission de rayonnement et les caractéristiques d'un rayonnement (le rayonnement émis par la lampe est de la lumière dans le domaine spectral du visible, de la chaleur dans le domaine spectral de l'infrarouge et est un mode de transfert d'énergie). Les questions 2.2 et 2.3 entraînent l'élève à passer de l'anglais au français pour exprimer un fait de physique à partir des concepts présents dans le média. A travers la question 3, l'élève identifie l'origine microscopique des phénomènes décrits à l'échelle macroscopique en classant dans le tableau proposé des mots et expressions repérés dans le média. Le document 2 porte sur l'influence de la température d'un corps sur la nature du rayonnement émis et permet d'expliquer que le Soleil émet dans le visible et que la surface terrestre émet dans l'infrarouge en référence au modèle du corps noir et à la loi de Wien.

Trente-deux productions sont relevées. A part d'éventuelles influences d'élèves entre eux.elles (échanges de réponses ou de copies), peu d'interaction ont eu lieu : les réponses semblent pouvoir caractériser la conceptualisation des notions traitées lors de l'exploitation des médias par l'élève. Les réponses individuelles à chaque question sont transcrites puis traitées. Dans ce qui suit, sont mis en évidence des résultats qui illustrent l'approche conceptuelle bilingue.

Pour la question 1.1, la majorité des élèves (27/32) parviennent à distinguer correctement émission, absorption et réflexion (« *an object reflects, absorbs, and emits [...] electromagnetic radiation* ») sur leur schéma même si la diversité des représentations rend parfois l'interprétation difficile. Le mot français « reflet » apparaît parfois au lieu de « réflexion » : c'est sans doute l'influence de « *reflects* » dans le média qui conduit à cette erreur. Trois productions représentent les lampes de l'image du document 1. Sur les 11 réponses à la question 1.2, l'association d'un type de rayonnement (UV, IR ...) au phénomène d'interaction rayonnement-matière pour l'atmosphère ou pour la Terre (enjeu pour comprendre les mécanismes de l'effet de serre naturel) révèle que, pour les élèves, la relation entre ce phénomène et le type de rayonnement est bi-univoque, ce qui est contraire à ce qui est indiqué dans le média (une lampe peut rayonner dans l'infrarouge et dans le visible)⁷⁴. Traiter le cas de l'atmosphère

⁷³ Par exemple, en repérant : "An incandescent bulb [2223°C (2500 Kelvin)] gives off orange-yellow light, although only ten percent of its emitted energy is visible light—the rest is heat"(Une lampe à filament incandescente [...] émet une lumière jaune orangée, bien que seulement 10 % de l'énergie qu'elle émet soit de la lumière visible - le reste est de la chaleur")

⁷⁴ Quatre élèves associent UV à absorption, IR à émission et visible (ou lumière blanche) à réflexion. Quatre autres produisent des associations différentes avec IR, UV, visible, UV/visible, visible/ondes radio ou visible/micro-ondes. Deux réponses traitent des ondes électromagnétiques et mécaniques. Une réponse est en anglais, elle ne mentionne pas l'IR (« absorption /UV by the atmosphere, reflexion/some UV waves, emission /white - visible light when we are in space »).

et de la Terre est difficile car l'exploitation du média ne permet pas de trouver la réponse mais la connaissance sur les fenêtres atmosphériques issues de l'AD1 et du chapitre 1 aurait pu être réinvestie. Sur 32 réponses à la questions 2.1, 21 sont formulées en français et les autres en anglais. Les explications fournies reposent sur des raisonnements en quantité de lumière, en quantité de rayonnement ou de longueur d'ondes, en primauté de la lumière blanche (« plus importante ») sur l'infrarouge ou vice-versa. Ce sont peut-être les expressions « *amount of* », « *most* » ou l'emploi du superlatif dans le média et de « *more* » dans la question qui engendrent ces raisonnements. Des relations d'antériorité (« chauffe avant d'éclairer ») et/ou de nécessité (« La lumière blanche chauffe plus qu'elle ne brille car pour produire une onde lumineuse elle doit plus chauffer ») sont présentes dans les réponses. En anglais, les élèves reprennent la formulation de la question et la font suivre de « *because* » avec un extrait du texte tel que « *the amount of electromagnetic radiation an object emits depends primarily on its temperature* ». Une réponse s'appuie sur le média avec reformulation de l'anglais au français : « L'ampoule blanche chauffe plus que les autres car sa température est plus grande (2500 K) et que seulement 10 % de l'énergie est visible ». Le terme « *heat* » qui renvoie à de l'énergie thermique qui peut être transférée par un rayonnement de type « infrarouge » n'est pas traité au cours de la reformulation : le contenu du média où différentes grandeurs sont mises en relation est probablement trop dense et porte à confusion. Néanmoins, la formulation de la question conduit à interroger ce que signifie « chauffe plus » : à une température donnée, la lampe émet un rayonnement dont l'énergie est quantifiée à 100% ; 10% de cette énergie est transférée par un rayonnement dont la longueur d'onde fait partie du domaine spectral du visible. L'enjeu de la praxéologie consiste à faire expliciter les contenus de physique issus du média. Les concepts de physique radiative tels que le modèle du corps noir, la loi d'émission de Planck, l'équilibre radiatif (cf. annexe chapitre II.2.2.1b, § « Bilan radiatif et effet de serre naturel : le rayonnement du corps noir ») ne sont pas connus des élèves (savoirs savants) et ne sont pas attendus dans les explications : c'est la dialectique-média milieu qui permet la mise en œuvre du type de tâche. Avec la question 2.2, les élèves reformulent approximativement la phrase après l'avoir identifiée⁷⁵ : traiter la nominalisation en anglais exige un effort de l'élève pour proposer une phrase correcte en français car la langue française étoffe les syntagmes en anglais. Que signifie « un pic de longueur d'onde qui est court » ? Le terme « *radiation* » en anglais est une fois sur deux traduit par « radiation » en français au lieu de « rayonnement ». Ce type de question interroge le répertoire linguistique de l'élève en L1 : la

⁷⁵ Reformulation attendue possible pour « *The higher the temperature of an object, the faster its electrons vibrate and the shorter its peak wavelength of emitted radiation* » : plus la température de l'objet est élevée, plus les électrons vibrent rapidement et plus la longueur d'onde du rayonnement émis correspondant au maximum d'intensité est petite. »

phraséologie spécifique en français « longueur d'onde correspondant au maximum d'intensité ... » (en raccourci langagier « lambda max ») est absente des réponses d'élèves. De même, les réponses au 2.3 indiquent que pour beaucoup, la notion de zéro de température fait obstacle à la conceptualisation de l'émission de rayonnement par un corps : la relation d'équivalence entre les échelles de température (0 K correspond à -273 °C) est source de difficulté. Enfin, la question 3 n'est pas traitée : l'aspect microscopique n'est abordé en cours (avec le chapitre 4) qu'après cette activité (avec les spectres IR). Pour la question relative au document 2, les huit réponses révèlent qu'au moins un paramètre d'influence sur le spectre d'émission d'un corps noir est identifié (la température de surface du corps qui émet ou la longueur d'onde du rayonnement émis).

Grâce à la modalité de passation de l'AD2 en fin de séance et sans intervention de l'enseignant (distinction corpus de données et copies d'élèves), la réflexion sur l'approche intégrée conceptuelle bilingue s'enrichit avec les réponses des élèves (la plupart en français) aux différentes questions. En effet, les analyses condensées des médias, du milieu et des productions des élèves présentées permettent d'identifier des conceptions erronées et des sources de difficultés dans le domaine de la physique du rayonnement (enjeu du deuxième volet de la séquence pour le concept de //réchauffement climatique//), probablement induites par le manque d'équilibre entre opacité de la langue et densité du contenu que les stratégies d'élèves pour passer de la L2 à la L1 n'ont pas permis d'atteindre mais qui donnent forme à des praxéologies intégrées disciplinaires scolaires différentes de la praxéologie de référence. A plusieurs reprises ont été mentionnées des erreurs ou maladresses dans la conception de l'énoncé. En particulier, proposer pour l'année N+1 un média où le registre graphique aide à la compréhension du phénomène d'émission de rayonnement par un objet est nécessaire : un graphique de meilleure qualité (plus précis et explicite d'un point de vue scientifique) doit se substituer à celui qui est choisi afin d'explicitier le modèle du corps loi et de rendre intelligible ce que représentent les différentes courbes (loi de Wien, dépendance de la température du corps, de la longueur d'onde et de l'intensité du rayonnement émis).

Après la séance avec l'AD2, l'enseignant complice poursuit le chapitre 4 avec les élèves (étude de spectres UV-visible et IR en séance 6) : il aborde les transitions électroniques au niveau de l'atome ou de la molécule pour interpréter à l'échelle microscopique l'interaction entre la matière et le rayonnement électromagnétique. La séance 7 correspond au deuxième TP de la séquence avec l'activité expérimentale AE2. La troisième semaine (séance 8, 9, 10 et 11) porte sur le chapitre 5 où les transferts thermiques sont étudiés (cf. protocole de la séquence, annexe IV.2.1). La contextualisation pour le système Terre-Atmosphère conduit à l'AE3 puis au dernier chapitre de la séquence sur les bilans thermiques (semaine 4). L'ensemble des résultats explicités dans le cas de l'AD1, de l'AD2 et de l'AE1 permet de déterminer un état du possible, suffisamment représentatif pour que les résultats

spécifiques des AE2 et AE3 puissent être globalisés avec les précédents et qu'une deuxième expérimentation (année N+1) soit conçue.

IV.2.5. Conclusion sur l'état des possibles (année N)

Le protocole de recherche mis en œuvre l'année N est pensé pour évaluer dans quelle mesure les élèves peuvent mobiliser des connaissances antérieures et en construire de nouvelles en exploitant des supports en anglais. Il repose sur la conception d'énoncés d'activité documentaire et d'activité expérimentale et dépend des modalités de passation de ces énoncés aux élèves. Un écueil (mentionné dès l'analyse du cas de l'AD1) concerne la distinction entre pratique de classe et pratique de recherche, autrement dit entre copies d'élèves et corpus de données ou entre élèves et sujets d'une enquête. L'enseignant complice doit avancer dans la progression et le temps que les élèves consacrent à produire un énoncé-cible est en quelque sorte ajouté à leur temps de formation. Pour les activités documentaires et expérimentales, dégager une phase de travail individuel (cas de l'ajustement pour l'AD2) favorable à l'appropriation des savoirs par les élèves semble envisageable en réduisant la durée d'exploration de l'activité par la diminution du nombre de documents en anglais, par une sélection plus ciblée des extraits à présenter et par un choix plus restreint de tâches et donc de questions. Lors des AE, proposer une tâche finale associée à une situation de communication particulière est inhabituel en travaux pratiques de physique-chimie, déjà en français, et l'est d'autant plus en anglais. Prévoir que la réponse à la question investigatrice sur l'activité des scientifiques corresponde à l'énoncé-cible attendu par la mise en œuvre de la praxéologie de référence éviterait à l'enseignant de présenter un autre contexte aux élèves et éviterait aux élèves des efforts cognitifs à s'approprier la nouvelle situation (qui met aussi en jeu, pour un groupe de TP, la compréhension orale en L2).

Le recueil des productions des élèves permet de questionner la place de la praxéologie intégrée disciplinaire de référence dans les énoncés conçus et ce qu'elle apporte au niveau méthodologique, comme le formule Chevallard (1998, p.6) :

« Une organisation praxéologique, même ponctuelle, n'est pas en général entièrement conforme aux canons évoqués ci-dessus. Le type de tâches autour duquel elle s'est construite, peut ainsi être mal identifié, tandis que la technique associée se révélera presque impraticable. La technologie pourra parfois se réduire à une pure pétition de principe, et la théorie être parfaitement sibylline. La notion de praxéologie apparaît ainsi comme une notion générique dont il convient d'approfondir l'étude – notamment par l'enquête empirique et l'analyse des données d'observation recueillies. »

Ainsi, planifier l'organisation didactique où l'élève réalise le type de tâche visé est indispensable pour recueillir des données exploitables d'un point de vue de la recherche et pour favoriser l'approche intégrée conceptuelle bilingue : des fiches spécifiques d'exploitation des supports en anglais sont

envisagées ; elles font partie d'une méthodologie améliorée l'année N+1. Inclure dans le milieu de l'enquête des consignes qui suggèrent voire exigent que l'élève ait recours à la technique de référence (repérage, transcodage) permet d'obtenir une trace du processus dialectique média-milieu mis en œuvre. Pour les activités expérimentales, elles peuvent être traitées en amont de la séance de travaux pratiques afin de faire le lien avec les tâches et questions de l'énoncé. Pour les activités documentaires, elles prennent une forme moins marquée et se fondent dans l'énoncé. Les questions posées à l'élève font partie du milieu : la manière dont elles sont formulées influencent la réalisation de l'enquête par l'élève. Les exprimer en français (et attendre une réponse en français) pour lever toute ambiguïté de traitement de la question est adopté pour l'année N+1.

La conception et la mise en œuvre des activités documentaires et expérimentales, inspirée des pratiques ordinaires au lycée général, en référence à l'épreuve à caractère expérimental au baccalauréat en TS, peut aussi s'analyser par la modélisation d'une séquence d'investigation proposée par Morge et Boilevin (2007, p.40) : l'objectif de l'activité est défini (« Le but est l'élément moteur et organisateur de l'investigation ») ainsi que la série de tâches à réaliser par l'élève ; l'enseignant les présente à l'élève qui produit un écrit en mobilisant des connaissances, puis l'écrit est soumis à validation lors d'une mise en commun (« Elèves et enseignant contrôlent la validité des productions (critères de cohérence, de pertinence, principe de non-contradiction) ») ; la structuration des connaissances de type synthèse (sur les contenus étudiés) ou institutionnalisation (généralisation) peut contribuer à enrichir les connaissances des élèves et à poursuivre l'activité avec la tâche suivante. Ce format d'activité est adapté à la mise en place de l'approche intégrée conceptuelle bilingue grâce à la présence des documents et des questions posées à l'élève qui rendent possible le processus de dialectique média-milieu associée au type de tâche praxéologique. Certains résultats sur l'identification du possible traitent de la qualification des tâches (Morge et Boilevin, 2007, p.55) :

« Finalement, pour distinguer une tâche de haut niveau de qualification d'une tâche de bas niveau de qualification, trois indicateurs sont possibles :

- la complexité de la tâche (le nombre d'actions dont les élèves ont l'initiative pour réaliser la tâche).
- la portée des productions des élèves effectuées en réponse à la tâche ou des connaissances élaborées pour effectuer la production (les productions de connaissances nouvelles seront-elles utilisées par la suite).
- la difficulté de la tâche (le rapport entre le nombre de production effectuée et le nombre de productions retenues). »

En effet, l'analyse illustrée pour l'AD1, l'AE1 et l'AD2 indique que les énoncés d'activité intègrent des tâches de niveaux de complexité divers : des médias et des questions sont supprimés et ajustés entre l'année N et N+1 pour mieux estimer la faisabilité au niveau de la tâche. Le recours à l'analogie dans les AE aide l'élève à prendre des initiatives dans la conception de la démarche expérimentale et

augmente la portée de la tâche : il est transféré à l'année N+1. La tâche finale pour les AE peut assurément être qualifiée de haut niveau en référence aux trois critères, ce qui explique aussi pourquoi l'accès au sens des textes produits en guise d'énoncés-cible est peu aisé voire impossible, en français et en anglais.

La dimension linguistique de la tâche finale et de celles qui mettent aussi en jeu le type de tâche de la praxéologie de référence est source de difficulté pour les élèves et pour l'analyse de leurs productions. En effet, les exemples présentés dans les paragraphes précédents, issus des réponses écrites pour l'AE1 et l'AD2, montrent que les énoncés-cible sont souvent constitués d'emprunts aux médias dont l'emploi ne conduit pas toujours à une explication du fait de physique considéré où les notions visées sont mobilisées. Même si, comme le rappelle Gentilhomme (1982, p.103),

« [...] tout texte scientifique, même le plus sophistiqué, dissimule de multiples sous-entendus, des présupposés, des non-dits estimés allant de soi pour la communauté culturelle. D'ailleurs, un texte scientifique où tout serait rendu explicite deviendrait vite illisible, à supposer qu'un tel texte puisse être rédigé. »,

dans la recherche menée, l'explicitation attendue de l'élève est délimitée par l'identification des savoirs à enseigner et enseignés conformément au modèle épistémologique de référence et à la définition du concept de //réchauffement climatique//. C'est pourquoi marquer la distinction entre le bloc praxis et logos de la praxéologie de référence en présentant le premier à travers des consignes et questions qui pointent la technique (repérage et reformulation avec transcodage) puis le second avec la technologique et la théorie est envisagé l'année N à l'aide des fiches d'exploitation des médias. Le processus dialectique média-milieu s'en trouve renforcé pour rendre possible la transposition didactique du savoir enseigné en savoir disponible.

De même, comme la transposition du savoir à enseigner au savoir enseigné est observée l'année N à travers les AD et AE et lors des différentes séances, les contenus de physique-chimie relatifs aux concepts intégrateurs autour du rayonnement électromagnétique, de la spectroscopie UV-visible et des transferts thermiques sont renouvelés l'année N+1 avec une progression identique : le prototype est globalement reconduit ainsi que le protocole de recherche. En effet, l'analyse didactique des réponses des élèves pour l'AD2 et les trois AE de l'année N présente un intérêt : elle mène à l'obtention de résultats sur le rapport personnel entre l'élève et l'objet de savoir, dans différents domaines d'étude (niveau de co-détermination 2) de la physique-chimie, au sein de la classe de terminale scientifique où l'approche intégrée conceptuelle bilingue est employée. Ainsi, la conceptualisation des mécanismes physiques de l'effet de serre et du réchauffement climatique visée peut être mise à l'épreuve avec une telle séquence. Le concept didactique de « niveau de formulation » défini par De Vecchi et Giordan (2002, p. 201), comme « un certain niveau d'abstraction qui se manifeste par un énoncé global que l'on demande à l'apprenant de produire (et non de réciter) » permet de situer l'état

des possibles en termes de conceptualisation en tenant compte du savoir disponible de l'élève sur le //réchauffement climatique//, c'est-à-dire de ses habilités en physique-chimie, en anglais et en français et donc de sa littéracie scientifique bilingue. En ce sens, la sélection des médias joue un rôle important : interroger leur authenticité et envisager une didactisation des médias contribue à rechercher un équilibre entre technicité des médias spécialisés (article de recherche pour les AE) ou vulgarisation des médias à destination d'un public profane (contenus scientifiques en ligne). Dans tous les cas, les critères de sélection utilisés dans les analyses présentées indiquent que le contenu des médias est considéré comme fiable pour être exploité par les élèves à un niveau de formulation pour la classe de physique-chimie en TS. Les ajustements entre les deux expérimentations prennent en considération cette réflexion sur l'authenticité-didactisation des médias.

Enfin, la réalisation de la séquence auprès des élèves dans le cadre de cette recherche-action collaborative, nourrie des pratiques ordinaires de l'enseignant complice en cours de DNL et de sa culture des savoirs d'action partagée lors des modules de co-construction avec la culture des savoirs savants, concourt à donner du poids aux suppositions établies pour l'action enseignante (rappelées au IV.1.1). En effet, l'aménagement des chapitres de cours et la mise en œuvre des séances intégrant les AD et AE par l'enseignant assurent une transposition didactique du savoir à enseigner au savoir enseigné, conformément au prototype de la séquence : les trois volets de la séquence mis en application permettent aux élèves d'étudier en français et parfois, en anglais, les différents attributs du //réchauffement climatique// tout au long de la séquence. L'enseignant reprend des éléments négociés lors des modules de co-construction lorsqu'il fait cours : il clarifie ses intentions pour engager l'élève dans l'exploitation des supports en anglais et l'inciter à mettre en œuvre la dialectique média-milieu. Les guidages pédagogiques, didactiques et cognitifs (Altet et al., 2013) sont observés à plusieurs reprises, en particulier lors des corrections des questions pour les AD et AE. Préciser aux élèves ce qui est attendu du type de tâche praxéologique en termes de structure de l'énoncé-cible et de niveau de formulation est sans doute une piste à explorer pour l'année N+1 afin d'obtenir des productions de meilleure qualité (cohérence, pertinence, présentant une expansion discursive). Le repérage de l'organisation didactique liée à la praxéologie de référence lors des séances informe sur la capacité de l'enseignant à développer ses connaissances professionnelles locales (modalité empirique et théorique, Morge, 2003) : lors des échanges collaboratifs inter-séances, l'enseignant partage ses analyses des moments bilingues de la séquence, ajuste les contenus et les déroulements des séances en tenant compte de la place des AD et AE et aide à finaliser les énoncés d'AD2 et AE3 en fonction du prototype de la séquence (« séances tampon »).

Lors de l'entretien d'auto-confrontation (deux mois après la fin de l'expérimentation, d'une durée de deux heures, enregistré à l'aide d'un dictaphone et transcrit avec des repères par le minutage),

l'enseignant complice s'exprime sur la séquence à partir d'extraits choisis des films des séances d'intérêt (avec AD, AE). Ces extraits sont visionnés dans l'ordre chronologique des séances réalisées :

- La collaboration lui a permis de préciser ses contenus de cours, à les contextualiser, à les approfondir (16'00 ; 22'45) ;
- Pour lui, trop de temps est consacré à la tâche de production en fin d'AE (24'13) : il préfère réduire l'exploitation des supports en anglais et réduire le temps de mise en commun dédié à la correction des réponses pour favoriser la « manipulation » et la rédaction de la réponse à la question d'investigation (domaine de compétence « communiquer ») ;
- Pour les AE, l'enseignant distingue ce qui sert pour la recherche-action menée (analogie, article scientifique) et ce qui relève du TP « standard » en TS : « je me suis senti contraint par rapport à ce que j'ai l'habitude de faire / c'était pour la recherche » (58'01) ; de même pour l'AD2 : « c'était une séance recherche / on aurait dû le faire en AP // après ils ont travaillé / ça aurait été d'autres élèves / peut-être qu'ils auraient attendu qu'on corrige » (59'06) ;
- Il affirme que les élèves en section européenne (histoire-géographie en anglais) étaient plus à l'aise que les autres avec la technicité des documents en anglais présents dans les AD et surtout dans les AE (13'13) ;
- L'enseignant indique à plusieurs reprises son affinité avec l'utilisation des vidéos en anglais (cf. séance 1 par exemple, « je réutiliserai cette vidéo en classe entière sans problème » (40'13)) en guise d'introduction à une AD ou à une AE (1'07'35 ; 2'01'02 : « des vidéos en introduction / je trouve ça pas mal parce que c'est en lien avec le TP ou l'activité / et ça prépare les élèves au sujet ») ; il fait référence à la séance DNL2 observée avec l'exploitation d'une vidéo introductive sur les polymères (1'35'12) ainsi qu' à sa pratique générale (35'01) car il utilise des vidéos en anglais dans différentes classes même hors de la section européenne ;
- Pour lui, l'anglais intégré n'a pas été une difficulté (35'24).

La collaboration avec l'enseignant complice, de la co-construction de la séquence issue d'observations et d'analyses de séances de DNL à l'entretien d'auto-confrontation « bilan », semble permettre le développement de ses connaissances professionnelles conjointement au déploiement de la séquence : l'idée de « cours intégré » qui ne ressemble ni à un cours de DNL physique-chimie en anglais ni à un cours de français traduit en langue cible ni à une alternance de l'un avec l'autre (et ni à un cours de L2) résume ce que la double dimension du travail collaboratif (Desgagné et al., 2001) peut apporter en termes de co-production (« retombées de l'action sur chaque partenaire»). Les gestes professionnels et la réflexion mis en évidence lors de la collaboration autour des séances de DNL sous-tendent certainement l'assurance et l'aisance de l'enseignant complice lors des moments bilingues et d'organisations didactiques. L'aspect collaboratif de cette recherche-action a joué un rôle majeur dans la construction du possible de la séquence réalisée car il a installé un « espace de rapprochement,

entendu comme une exploration impliquée en contexte réel » et « un espace de questionnement, entendu comme une conversation réflexive avec l'action concrète » (cf. chapitre III, *ibid.*, p.56). Les réticences (Mehisto, 2008, cf. IV.1.6, module 3 de co-construction) formulées par l'enseignant sur la quantité des supports en anglais et la perspective actionnelle pour produire l'énoncé-cible lors des AE s'avèrent être des obstacles à la gestion du temps en cours intégré : la recherche d'équilibre entre la langue L2 et les contenus (telle que pour un cours « EMILE ») est délaissée au profit d'une centration sur les contenus de physique-chimie enseignés à travers la L1 et la L2.

Suite à la première mise en œuvre du protocole de recherche et en regard au bilan du possible, l'hypothèse de recherche formulée au sens de prédictibilité praxéologique⁷⁶, s'avère pertinente pour envisager une deuxième expérimentation, où les « conditions et les contraintes » (Chevallard, 1994) d'une écologie spécifique du //réchauffement climatique//, précédemment identifiées, actualisent les « anticipations pragmatiques » et les *a priori* raisonnablement pensés (Astolfi, 1993).

Synthèse du IV.2. Prototype de la séquence et mise à l'épreuve

Le prototype de la séquence établi à partir du modèle épistémologique de référence et de la collaboration avec l'enseignant complice sert de guide à la réalisation de la séquence et à la mise à l'épreuve de l'hypothèse de recherche dans le cadre d'une démarche de faisabilité. Le protocole de recherche caractérisé par la conception-production des énoncés des activités documentaires et expérimentales puis par le recueil et l'analyse des productions des élèves est décrit (IV.2.1). Pour établir un état des possibles sur la conceptualisation du //rc// par une approche intégrée conceptuelle bilingue, quelques résultats représentatifs (année N) sont présentés pour envisager un ajustement du protocole et le réitérer l'année suivante (N+1). Concernant l'AD1 (IV.2.2), le processus de sélection des médias, de conception de l'énoncé et son utilisant en classe permet d'explorer l'organisation didactique de la praxéologie intégrée disciplinaire de référence autour du concept intégrateur de fenêtres atmosphériques. Les exemples tirés de l'AE1 (IV.2.3) illustrent une manière de traiter les énoncés-cible des élèves pour expliquer le principe de mesure d'occultation stellaire après avoir eu recours à l'analogie entre l'utilisation d'un détecteur d'ondes en classe pour mesurer l'absorbance d'une espèce chimique colorée en solution et le principe de la télédétection par satellite pour obtenir un spectre en transmission des gaz atmosphériques. Enfin, l'exploitation du protocole de recherche est précisée pour l'AD2 (IV.2.4) où l'appropriation des savoirs sur l'émission de rayonnement

⁷⁶ « Mais surtout selon nous, dans l'aspect prédictif que présentent les résultats, il ne s'agit évidemment pas d'une prédictibilité poppérienne assujettie à la réfutation possible, mais bien d'une prédictibilité praxéologique. » (Astolfi, 1993, p.9)

électromagnétique par un corps à une température donnée est étudiée. Une prise de recul sur les écueils identifiés et les éléments pertinents repérés, suite à la mise à l'épreuve du prototype via le protocole de recherche, conduit à synthétiser l'état des possibles (IV.2.5). Les pistes de réflexion et d'amélioration porte sur la méthodologie adoptée, la conceptualisation du //rc//, la praxéologie intégrée disciplinaire de référence et la collaboration avec l'enseignant complice pour ajuster le protocole et le mettre en œuvre l'année N+1.

Synthèse du chapitre IV. Co-construction de la séquence : vers le prototype et sa mise à l'épreuve

Le chapitre IV a permis d'illustrer la dimension double de cette recherche-action collaborative à travers les quatre modules de co-construction de la séquence où la culture des « savoirs d'action » et des « savoirs savants » est partagée grâce à une médiation issue des documents de l'enseignant complice utilisés dans sa pratique l'année N-1 et d'outils intermédiaires fondés sur le modèle épistémologique de référence (IV.1). L'analyse des modules, menée pour identifier les connaissances professionnelles locales de l'enseignant et les éléments du MER mis en jeu, confirme l'existence d'une culture partagée, indispensable dans le cadre de cette recherche de faisabilité. Les différentes négociations avec l'enseignant complice (et ponctuellement avec l'enseignante d'anglais, module 3 de co-construction) aboutissent à l'élaboration d'un prototype de la séquence qui est mis à l'épreuve dans le cadre du protocole de recherche (IV.2). La séquence co-construite est alors réalisée par l'enseignant, à partir du prototype, pour déterminer le possible en référence à l'hypothèse de recherche (« prédictibilité praxéologique »). Un ensemble de résultats établis à partir des séances autour de l'AD1, de l'AE1 et de l'AD2 permet de revenir sur les « anticipations pragmatiques » effectuées et d'envisager un ajustement du prototype et du protocole de recherche pour renouveler l'expérimentation l'année suivante. Le chapitre V présente la deuxième expérimentation.

Chapitre V : Approche intégrée conceptuelle bilingue des mécanismes de l'effet de serre et du réchauffement climatique

Le chapitre V présente le deuxième protocole de recherche et les actualisations du prototype qui sont décidées avec l'enseignant complice (V.1). L'étude est alors ciblée sur les différentes productions des élèves au cours de la séquence, dans le cadre d'une démarche de faisabilité autour de l'approche intégrée conceptuelle bilingue du //réchauffement climatique//. Elle est organisée selon les volets de la séquence, autour du critère de globalité (V.2), de celui de la concentration en dioxyde de carbone atmosphérique (V.3) et de celui de bilan radiatif (V.4). Une prise de recul sur les résultats et la recherche menée permet de déterminer l'état du possible (V.5).

V.1. Accéder aux savoirs disponibles (appropriation des savoirs disciplinaires)

V.1.1. Protocole de recherche ajusté et prototype actualisé

Les fondements de la recherche-action collaborative menée sont les mêmes que ceux de la première expérimentation. Les modules de co-construction laissent place à un espace de négociations quelques semaines avant la mise en œuvre de la séquence pour préciser les modifications au niveau de la programmation, de la progression des savoirs à enseigner et des contenus des séances (chapitre de cours, énoncés avec supports en anglais). Les savoirs d'action et les savoirs savants issus, lors de l'année N, de la collaboration et de l'identification des contraintes, des conditions et du possible pour une approche intégrée, enrichissent les prises de décision pour élaborer le prototype actualisé de la séquence (annexe V.1.1). Celui-ci est toujours articulé autour des trois volets définis dans le MER et autour d'activités documentaires (AD) et expérimentales (AE) fortement inspirées de celles déjà présentées aux élèves. Une vidéo en anglais introduit le premier chapitre de la séquence et s'inscrit dans la démarche de faisabilité ; l'idée (négociée) provient de l'emploi « habituel » de ce type de support par l'enseignant complice (cf. chapitre IV.2.5).

La question de recherche sur la manière d'intégrer l'anglais, langue cible, dans un cours standard de physique-chimie qui vise les mécanismes de l'effet de serre et du réchauffement climatique ainsi que l'hypothèse de recherche formulée en référence à la dialectique média-milieu et à la praxéologie intégrée disciplinaire pour expliquer un fait de physique guident l'ensemble de l'étude.⁷⁷ Cette

⁷⁷ QR - Comment intégrer la langue anglaise dans un cours de physique-chimie qui vise des savoirs sur les mécanismes physiques du réchauffement climatique ?

HR - Si l'anglais est intégré à des activités documentaires (AD) et expérimentales (AE) proposées à l'élève où des supports d'informations sont exploités pour en extraire des contenus pertinents d'un point de vue de

dernière se focalise sur le savoir disponible chez l'élève après exploitation de supports en anglais même si des éléments de la pratique enseignante sont parfois pris en compte pour éclairer l'analyse. Le protocole de recherche ajusté consiste à concevoir et produire non seulement des énoncés d'AD et d'AE mais aussi des fiches de préparation pour les AE et une fiche d'exploitation pour la vidéo, comme mentionné au chapitre précédent (IV.2.5). Le corpus de données est constitué à partir de différentes productions des élèves dont le traitement et l'analyse sont précisés, dans les paragraphes qui suivent, en fonction de leur nature (réponses à des questions d'une AD, d'une AE, d'une fiche d'exploitation d'une vidéo ou travail de préparation avec la fiche pour les AE). Le protocole de recherche, qui met à l'épreuve, au sens de prédictibilité praxéologique, l'hypothèse de recherche formulée, est synthétisé par la figure ci-dessous :

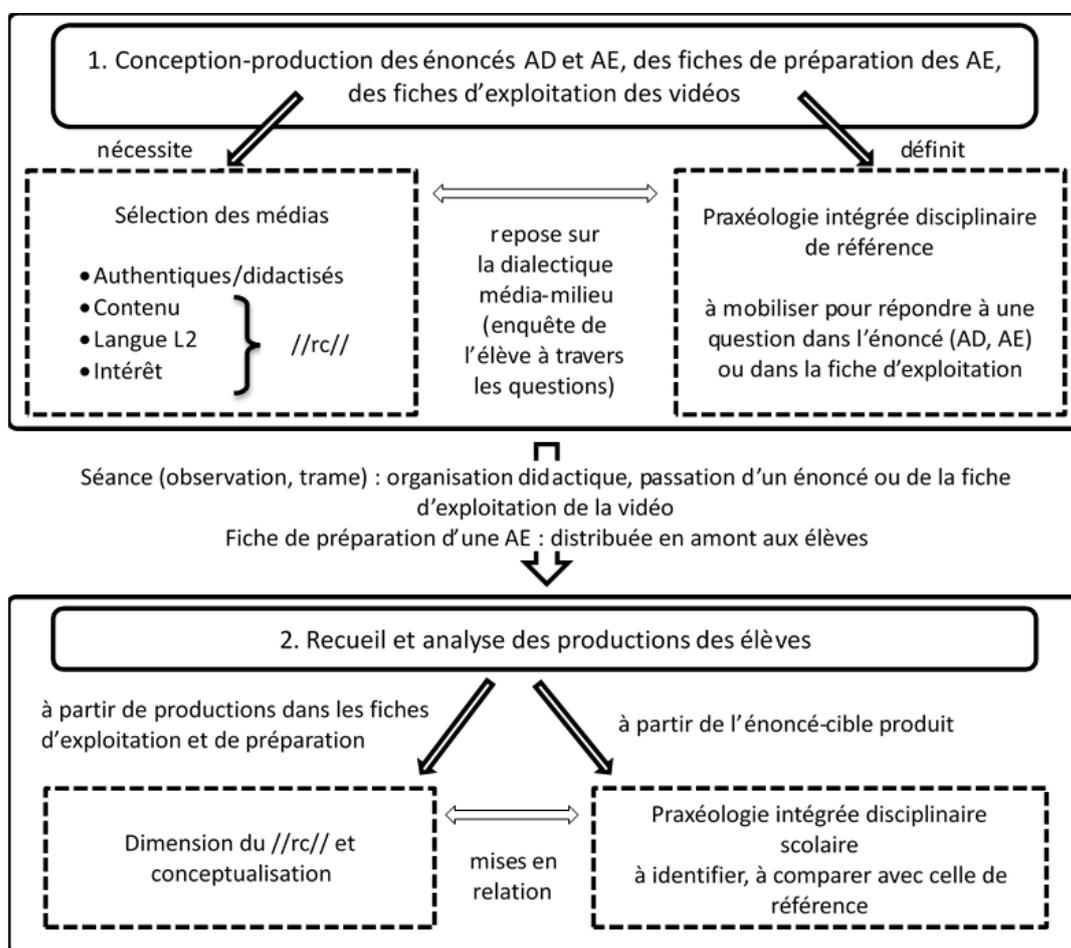


Figure 10. Protocole de recherche ajusté

l'investigation à mener, alors la production de l'élève pour expliquer un fait de physique sera construite à partir de stratégies de repérage, d'inférence et d'analogie où les deux langues jouent un rôle dans la mobilisation des concepts de physique-chimie visés.

V.1.2. Conception d'une fiche d'exploitation d'une vidéo en anglais

Le visionnage d'une vidéo en anglais est inclus dans la séquence pour que son exploitation par l'élève lui permette de mobiliser les notions de physique-chimie visées et développer les « habiletés praxéologiques » définies dans le modèle épistémologique de référence. L'automatisation de la technique (repérage, inférence, transcodage et reformulation) est nourrie par la technologie (discours reformulé) :

« La technologie d'une technique est le savoir orienté vers la production d'une pratique efficace, qui a pour fonctions de justifier et légitimer la technique, mais aussi d'en outiller et d'en faciliter la mise en œuvre. » (Castela, 2008, p. 143).

La fiche d'exploitation d'une vidéo est conçue pour favoriser une sélection des informations présentes dans le support et une prise de notes « orientée ». Elle est composée (annexe V.1.2) d'un titre qui correspond à la question en anglais à laquelle l'élève doit répondre (*How to classify electromagnetic radiation sources ?*) suivi du titre de la vidéo (*An introduction to the electromagnetic spectrum*) et du lien d'accès en ligne à la vidéo. La première consigne conduit l'élève à remplir un encadré avec des mots ou expressions clés (*keywords*), c'est-à-dire qui font sens par rapport à la question posée, selon deux colonnes : pour la première colonne, « English/ Français », l'élève repère un mot ou expression en anglais et en propose un équivalent en français et dans la deuxième colonne (English / ???) est placé ce qui est repéré et dont le sens en L2 est « inconnu ». L'élève peut alors essayer de trouver un équivalent en L1 (/ ???) par inférence à partir du contexte et/ou de connaissances antérieures. Cet outil est proposé à l'élève non seulement pour l'aider à focaliser son attention sur les contenus liés à la question investigatrice mais aussi pour l'aider à construire son vocabulaire au cours de la séquence :

« ... le vocabulaire est un sous-ensemble du lexique. Le lexique est l'ensemble des vocables qu'un locuteur utilise ou pourrait utiliser en discours. Le vocabulaire est l'actualisation de ce lexique, un échantillon. » (Médioni, 2002, p.11)

Ce vocabulaire est constitué de termes et d'une phraséologie spécifiques au thème d'étude (niveau de co-détermination 4) et met en jeu les deux langues : le travail de « développement d'un répertoire plurilingue et de stratégies de transfert » caractérise l'approche intégrée (cf. chapitre I.2.3, Steffen, 2015, p.194 et p.200⁷⁸).

Le repérage est corrélé à une prise d'informations en anglais ou en français : un espace dédié (« informations relevées ») permet à l'élève de développer sa capacité à extraire, sélectionner une idée du média et à la reformuler d'une langue à l'autre. Dans leur article sur l'usage spécifique de films

⁷⁸ « Ce travail lexical relève d'un travail sur les ressources de l'allemand et du français et de la mise en évidence que ces deux langues ne sémantisent pas les mêmes traits des objets de savoir traités et ainsi de leurs différences en tant qu'outil de médiation du savoir. » (Steffen, 2015, p.200)

consacrés à l'apprentissage de contenus spécialisés en chimie où des commentaires de chimie accompagnent les images, Pekdag et Le Maréchal (2006) étudient la production d'écrits d'élèves de première scientifique à partir du film. Ils distinguent (p.59) quelques stratégies (« modes de fonctionnement ») mises en œuvre par les élèves « utilisant des sources d'information » ; pratiquer le « copier-coller » de mots présents dans le film visionné est moins efficace pour l'apprentissage que la prise de notes et lorsque l'élève traite les images, il.elle peut les interpréter correctement ou à mauvais escient :

« Peraya (1994) considère que chaque élément de l'image peut jouer un rôle déterminant dans la formation des trajets associatifs qui constituent son sens global, et c'est sans doute là l'origine de la polysémie de l'image. Cette dernière apparaît comme un signe « vide » que le lecteur peut remplir à sa guise parce qu'elle est une simple projection subjective, elle supporte et même favorise l'ambiguïté. Autrement dit, la polysémie naît de la richesse des parcours associatifs que génère le lecteur. » (Pekdag et Le Maréchal, 2006, p.59)

L'objectif est d'éviter que l'élève exploite la vidéo par une liste de mots ou d'expressions en « copier-coller » et de favoriser l'appropriation du contenu du support par l'accès au sens global d'un passage de la vidéo, à la fois par l'image et par le texte à l'oral. En effet, Gaonach (1990) met en évidence que l'élève qui lit et cherche à comprendre un document écrit ou oral en langue étrangère va plutôt avoir tendance à se focaliser sur tout ce qui lui est inconnu ou à porter spontanément son attention au niveau du lexique, de la syntaxe de la langue alors qu'il.elle pourrait s'appuyer sur ce qui lui est connu et chercher le sens général du message. Dans le cas où les informations à traiter sont variées et nouvelles pour l'élève, la surcharge cognitive engendrée peut être contrebalancée par l'utilisation de connaissances antérieures et le niveau d'expertise de l'élève dans le traitement de l'information. La fiche d'exploitation est conçue pour initier puis automatiser ce type de stratégie et le rôle de l'enseignant consiste à orienter l'élève vers un repérage d'éléments d'informations adaptés à l'objectif visé (guidage cognitif). Le choix d'un support authentique s'explique par l'intention d'habituer l'élève à gérer l'inconnu :

« [...] il est essentiel en réception d'apprendre aux apprenants à gérer l'inconnu, à ne pas tenter de comprendre chaque mot. Pour les entraîner, il est nécessaire de partir d'une langue aussi authentique que possible, qui présente par la force des choses du vocabulaire et des structures inconnus ». (Perrot et Julié, 2017, p.242)

La fiche est ensuite construite autour des deux consignes génériques (reformuler la question en français et répondre à la question) qui permettent d'accéder à la praxéologie intégrée disciplinaire mise en œuvre par l'élève. Une consigne supplémentaire en lien avec le thème d'étude est formulée à l'élève en question 4 (compléter le spectre électromagnétique en français puis en anglais).

Le recueil des fiches d'exploitation complétées par les élèves contribue, comme indiqué dans le protocole, à évaluer comment le critère du concept de //réchauffement climatique// est appréhendé par l'élève par l'exploitation du support audiovisuel en anglais et dans quelle mesure l'approche intégrée conceptuelle bilingue est à la portée de l'élève par la mise en place du processus dialectique média-milieu et de la praxéologie intégrée disciplinaire de référence. Celle-ci est ajustée en regard des résultats issus de la première expérimentation et de la réflexion qui vient d'être développée : le bloc *praxis* est précisé pour obtenir un énoncé-cible à l'écrit en français et accentuer l'enjeu de compréhension « orientée » d'un support en anglais des sciences à travers le repérage, les inférences, le transcodage et la reformulation. De même, la connaissance du mot en L1 et l'expression en L1 d'un concept de physique-chimie (terminologie et phraséologie spécifique de la discipline physique-chimie en français) est ajoutée dans la théorie de la praxéologie de référence :

Type de tâche	Expliquer un fait de physique par un texte à l'écrit en français. Vidéo : Comment classer les sources de rayonnement électromagnétique ?
Technique	Reconnaître des indices (repérage), faire des inférences, reformuler de l'anglais au français (extraire et exploiter des informations).
Technologie	Discours en français, constitué des termes français nécessaires pour exprimer les concepts intégrateurs et/ou la dimension du //rc// présents dans les médias.
Théorie	Discours qui relève des connaissances antérieures à mobiliser, relatives à la physique-chimie et/ou à la L2 et/ou à la L1.

Tableau 23. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence pour l'exploitation du support audiovisuel en anglais de la séquence

V.1.3. Conception d'une fiche de préparation d'activité expérimentale AE

Afin d'analyser, à l'aide de la praxéologie de référence, l'énoncé-cible proposé par l'élève en réponse à la question investigatrice d'un énoncé d'activité expérimentale, une fiche de préparation est conçue et transmise à l'élève avant la séance de travaux pratiques, « en devoir à la maison », avec les premières pages de l'énoncé d'AE. L'élève lit, prend connaissance du contexte de l'activité et des documents et remplit la fiche de préparation (annexe V.1.3). Une partie est consacrée à la technique de repérage contributive au développement du vocabulaire sur le même principe que celui de la fiche d'exploitation de la vidéo. Sur la fiche, c'est le terme « lexique » qui apparaît dans la première consigne car c'est celui que l'enseignant complice emploie préférentiellement. Une autre partie vise à mettre en relation, grâce à un tableau à compléter, la technique de repérage (colonne « Mots clés, expressions clés en anglais qui permettent de comprendre les idées principales du document ») avec celle de reformulation (colonne « Idées principales ») pour chaque support exploité (lignes du tableau).

La praxéologie de référence pour les activités expérimentales (fiche de préparation, reformulation de la question investigatrice en français et réponse apportée en français à travers les deux dernières questions de l'énoncé d'AE prend la forme suivante :

Type de tâche	Expliquer un fait de physique par un texte à l'écrit en français. AE1 : Expliquer comment les détecteurs optiques sont utilisés pour surveiller l'atmosphère terrestre depuis l'espace. AE2 : Expliquer comment les scientifiques identifient le dioxyde de carbone dans l'atmosphère terrestre et comment ils mesurent sa concentration atmosphérique pour en connaître son évolution. AE3 : Expliquer comment les scientifiques du GIEC utilisent le bilan d'énergie pour expliquer le réchauffement climatique et l'augmentation de la température de la planète.
Technique	Reconnaître des indices (repérage), faire des inférences, reformuler de l'anglais au français (extraire et exploiter des informations). Faire des analogies (activité scientifique de chercheur.e.s / activité scientifique d'élèves).
Technologie	Discours en français, constitué des termes français nécessaires pour exprimer les concepts intégrateurs et/ou la dimension du //rc// présents dans les médias.
Théorie	Discours qui relève des connaissances antérieures à mobiliser, relatives à la physique-chimie et/ou à la L2 et/ou à la L1.

Tableau 24. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence pour les activités expérimentales de la séquence

Les énoncés d'activités sont construits d'une manière analogue à ceux pour l'année N et prennent en compte les ajustements envisagés au chapitre IV.2.5. Les consignes pour les tâches que les élèves réalisent sont formulées en français et l'explication du fait de physique correspond à la réponse à apporter à la question investigatrice qui problématise l'ensemble de l'activité expérimentale. Un espace pour le vocabulaire apparaît sur l'énoncé pour inciter l'élève à enrichir son répertoire linguistique en langues L1 et L2 de spécialité et à automatiser cette approche lexicale au cours de la séquence. Le traitement et l'analyse des données issues des productions des élèves sur la fiche de préparation et sur l'énoncé d'AE sont présentés pour chaque activité expérimentale dans les paragraphes qui suivent V.2, V.3 et V.4.

V.1.4. Contexte de réalisation du protocole

La séquence est réalisée par l'enseignant complice, dans le même lycée que l'année N, auprès de trente-six élèves (dix-neuf filles et dix-sept garçons) d'environ 17 ans. L'anglais est la LV1 pour tous les élèves, l'espagnol est la LV2 pour vingt-quatre, l'allemand pour dix et l'italien pour deux élèves. L'enseignement de spécialité choisi par l'élève pour l'épreuve écrite du baccalauréat correspond à celui des mathématiques (17 élèves), des sciences et vie de la Terre (11 élèves), de la physique-chimie (1 élève) ou de l'informatique et sciences du numérique (7 élèves). Seize élèves sont inscrits en section européenne (6 en DNL physique-chimie en anglais, 9 en DNL histoire-géographie en anglais et 1 en DNL sciences économiques et sociales en espagnol). Le premier groupe de TP est constitué de dix-huit élèves qui ne suivent pas d'enseignement de section européenne. Les seize élèves qui suivent un enseignement de DNL font partie du deuxième groupe auquel deux autres élèves sont ajoutés. De même que pour l'année N, par leur constitution, les deux groupes ne sont pas équivalents *a priori* du

point de vue de la recherche. Suite à la première expérimentation, la décision est prise de proposer une même version des activités expérimentales à l'ensemble des élèves.

Les séances sont filmées dans les mêmes conditions et pour les mêmes raisons que lors de l'année N. Les ajustements entre les séances ont aussi lieu avec l'enseignant complice par des échanges informels. Celui-ci s'appuie sur les chapitres de cours construits lors de la première réalisation de la séquence. Les analyses relatives à la sélection des médias, à la conception-production des énoncés, à leur passation auprès des élèves au cours des séances et aux productions des élèves sont proposées selon le déroulement effectif de la séquence.

V.2. Volet 1 de la séquence : critère de globalité du //réchauffement climatique//

Avant la mise en œuvre de la séquence coconstruite, l'enseignant complice a abordé avec les élèves les notions au programme de physique-chimie concernant les ondes mécaniques⁷⁹, les interférences et la résonance magnétique nucléaire. Il a commencé à les faire travailler sur la cinétique chimique ainsi que sur la relativité restreinte dans le cadre d'une sortie pédagogique au CERN⁸⁰ à Genève.

V.2.1. Distinguer les types de rayonnement (vidéo en anglais)

V.2.1.1. Justification de la sélection du média et visionnage en classe

Le premier support en anglais est présenté aux élèves au début de la séance 1. Il s'agit de la vidéo (*An introduction to the electromagnetic (EM) spectrum*)⁸¹ dont la transcription de l'audio est présentée dans l'annexe V.2.1.1 avec une description brève des images synchronisées. Le choix de la proposer aux élèves vient du fait qu'un extrait de cette vidéo a été utilisé lors de l'année N par l'enseignant complice (séance 1, épisode 1, annexe IV.2.2c) et que les contenus de physique véhiculés sont pertinents pour permettre à l'élève de mobiliser ou construire les connaissances de physique-chimie sur le spectre électromagnétique, les domaines de longueur d'ondes (domaine spectraux) et le type de rayonnement (infrarouge, visible...) à partir d'un contexte proche du quotidien (poste de radio, télévision, téléphone, télécommande...) vers un environnement plus lointain (feuille des arbres, planètes, galaxies...). En effet, le concept de rayonnement électromagnétique (*electromagnetic radiation*) appréhendé comme une onde électromagnétique (*wave*) caractérisée par sa fréquence

⁷⁹ (MENJVA, 2011) : « Les ondes dans la matière. Houle, ondes sismiques, ondes sonores. Magnitude d'un séisme sur l'échelle de Richter. Niveau d'intensité sonore. Extraire et exploiter des informations sur les manifestations des ondes mécaniques dans la matière. Connaître et exploiter la relation liant le niveau d'intensité sonore à l'intensité sonore. »

⁸⁰ Le CERN est considéré comme le « Laboratoire européen pour la physique des particules ».

<https://home.cern/fr/about>

⁸¹ https://science.nasa.gov/ems/01_intro

(*frequency*) (ou par sa longueur d'onde (*wavelength*) dans le vide ou par l'énergie qu'elle propage (*energy*) est illustré par des représentations sémiotiques variées (images de vagues, courbes sinusoïdales, spectre et domaine spectral, graphique de l'évolution de l'énergie transférée par le rayonnement en fonction de sa longueur d'onde, spectre de transmission de molécule...). De plus, la récurrence de termes spécifiques comme *waves* ou *wave* (34 occurrences), *spectrum* (12 occurrences) ou *wavelength* (8 occurrences) laisse penser que l'élève peut repérer ces mots porteurs de sens et les employer dans l'énoncé-cible pour répondre à la question. En synthétisant, la sélection du média repose sur les critères suivants, proche de ceux présentés pour le document 1 de l'AD1 lors de l'année N :

Vidéo 1. An introduction to the electromagnetic (EM) spectrum	
Contenu disciplinaire	Familier aux élèves (0'-3'35) car les savoirs sont étudiés dans les niveaux de classe inférieurs et pour certains lors des séances de TS qui précèdent la séquence : spectre électromagnétique, fréquence, vitesse de propagation de la lumière dans le vide, onde, longueur d'onde, domaines spectraux sur la figure du spectre électromagnétique et types de rayonnement. Complémentarité des registres, graphique et en langue naturelle qui apportent des informations. Contenus vulgarisés.
Langue L2	Accessibilité : présence de termes spécifiques à l'écran (<i>wave, frequency...</i>) coordonnés avec les images ou les schémas et l'audio. Opacité : à partir de 3'35, contexte et terminologie spécifique à l'activité scientifique en télédétection. Discours vulgarisé.
Intérêt	Equilibre possible entre contenus et langue si l'élève a recours à la praxéologie de référence. Enrichissement du répertoire linguistique de spécialité par rencontre de termes qui sont récurrents dans la séquence. Enjeux didactiques pour le //rc// : définir ce qu'est un rayonnement (mode de transfert d'énergie / ondes / particules ; caractéristiques) ; distinguer les différents types de rayonnements selon le domaine spectral : UV, visible, IR, micro-ondes...

Tableau 25. Critères de sélection (approche intégrée), vidéo 1

Le type de tâche consiste à expliquer en français, comment classer les sources de rayonnement électromagnétique. La technique de référence implique de reconnaître des indices (repérage) tels que « *waves* », « *spectrum* », « *wavelength* », « *specific region of the EM spectrum* » et les termes anglais qui désignent les types de rayonnement ainsi que de faire des inférences à partir de deux extraits, celui de 0'28-0'54 (*Electromagnetic radiation. These waves spread across a spectrum from very short gamma rays, / to X-rays, / ultraviolet rays, / visible light waves, / even longer infrared waves, / micro-waves, / to radio waves /*) et celui de 2'00-2'16 (*Long EM waves, such as radio waves, have the lowest frequency and carry less energy. / Adding energy increases the frequency of the wave and makes the wavelength shorter. / Gamma rays are the shortest, highest energy waves in the spectrum...*) ». La technique attendue consiste aussi à reformuler la question 2 de l'anglais au français (*How to classify electromagnetic radiation sources ?*) et les informations principales pour répondre à la question 3. La technologie de référence est constituée des unités sémantiques attendues dans l'énoncé-cible qui peut-être : « Les sources de rayonnement électromagnétique sont classées en fonction du type de

rayonnement qu'elles émettent (micro-ondes, infrarouge, lumière visible, rayons X, ...), en fonction de la longueur d'onde (ou de la fréquence) du rayonnement émis et à l'aide des domaines spectraux du spectre électromagnétique. ».

Ainsi, l'élève doit connaître les termes spécialisés en français pour exprimer les quatre unités sémantiques attendues d'émission de rayonnement, de type de rayonnement, de grandeur caractéristique du rayonnement et de domaine du spectre. L'énoncé-cible produit doit être cohérent d'un point de vue des unités sémantiques mobilisées et pertinent d'un point de vue de l'explication. Par exemple, l'élève doit pouvoir distinguer la grandeur (longueur d'onde ou fréquence) de son unité de mesure (nanomètre). Plusieurs grandeurs pour caractériser le rayonnement électromagnétique sont proposées dans le média (énergie, fréquence, longueur d'onde...) : d'un point de vue de la physique, elles sont reliées les unes aux autres. Le choix de la longueur d'onde est privilégié par rapport aux exemples fournis en lien avec les sources de rayonnement du quotidien.

L'authenticité du média à destination d'un public profane et en particulier le fait que ce soit un média vulgarisé peut influencer l'appropriation des contenus de physique visés. En effet, comme le rappelle Reboul-Touré (2004), les caractéristiques d'un discours vulgarisé s'identifient par les répétitions des termes spécialisés, par les paraphrases autour de ces termes ainsi que par l'emploi de la métaphore. L'autrice précise que chercher à vulgariser consiste « à expliciter les termes en proposant des désignations ou en utilisant des définitions afin de rendre l'objet de la science plus accessible ». Ces traces de vulgarisation sont présentes dans la vidéo avec la comparaison de l'onde électromagnétique et de la vague, avec la définition de la fréquence explicitée par une animation ou avec les différents exemples qui permettent de reprendre les termes spécifiques dans des situations évocatrices variées.

Les obstacles à l'appropriation des savoirs mis en jeu par l'élève se manifestent dans la sélection des informations issues du support pour répondre à la question posée et dans la sélection de mots en français pour exprimer « correctement » ces informations. En effet, il arrive qu'à travers la formulation adoptée dans ce média, le rayonnement électromagnétique, objet de la physique, abstrait, soit matérialisé par un langage imagé : le rayonnement électromagnétique est « quelque chose qui t'entoure », « te bombarde », « que tu utilises »⁸², même s'il est invisible, inodore et n'est pas palpable (0-0'28), les ondes « s'étalent » le long du spectre électromagnétique (0'28-0'54 : *These waves spread across a spectrum*), les longueurs d'onde sont réfléchies ou absorbées (2'59-3'35 : *Some wavelengths*

⁸² Nos reformulations (0-0'28: « *Something surrounds you, bombards you, some of which you can't see, touch, or even feel. Everyday. Everywhere you go. It is odourless and tasteless. / Yet you use it and depend on it every hour of every day* »).

in the visible spectrum are reflected and other wavelengths are absorbed). Viennot (2006[1996], p.43) identifie, pour des travaux de recherche en didactique sur la lumière en optique géométrique et sur la couleur des objets, « la tendance à analyser les phénomènes de manière réductrice, l'idée d'objet matériel ordinaire servant implicitement de référence pour l'analyse de concepts abstraits » qu'elle rapproche du concept « d'obstacle substantialiste » de Bachelard.

La vidéo est visionnée avec le sous-titrage intralangue (sous-titres en anglais). Les études de Lavour et Bairstow (2011) ou de Mitterer et McQueen (2009) qui traitent du rôle des sous-titres dans la compréhension d'un film en cours de langue mettent en évidence que le sous-titrage intralangue facilite l'acquisition de vocabulaire dans la langue des sous-titres (contribuant à la mise en place d'association lexicale entre L2 et L1) et que les consignes qui guident le visionnage favorisent la compréhension des dialogues. Dans le cas de la vidéo sur le rayonnement électromagnétique lors de la séquence, le choix des sous-titres intralangues est fondé sur ces considérations et sur le fait que les élèves ne sont pas mis en situation de compréhension audiovisuelle comme en cours de langue anglaise. Des sous-titres en français entraveraient le processus de reformulation de la L2 en L1 qui est exploré dans cette démarche de faisabilité.

Lors de l'utilisation de ce support audiovisuel en classe, l'enseignant annonce qu'une vidéo en anglais va être regardée et étudiée à l'aide d'une fiche d'exploitation : « Vous avez de la chance que c'est en physique-chimie parce qu'en anglais tous les mots viennent du latin et sont transparents ». Il présente la fiche et explique en particulier le rôle de l'encadré *Keywords*, en référence au repérage des mots clés (E : « Vous notez les mots clés qui vous semblent importants ; par exemple « the », ce n'est pas un mot clé »). Il annonce les modalités du visionnage de la vidéo : une première fois, en totalité, sans pause, puis un temps pour prendre des notes et traiter les informations puis une deuxième fois, en totalité avec des pauses pour poursuivre la prise de notes et le traitement des informations. L'enseignant lance la vidéo : pendant le premier visionnage, des élèves prennent des notes sur leur fiche (« *Keywords* » et « informations relevées »). L'enseignant laisse apparaître les sous-titres mêmes s'il dit aux élèves, après quelques secondes du deuxième passage de la vidéo : « Ne recopiez pas les sous-titres, il y a aussi des informations à lire ». Lorsque le film est visionné, les élèves effectuent le travail demandé pendant trois minutes puis un deuxième visionnage d'une durée de douze minutes environ est orchestré par l'enseignant qui marque régulièrement des pauses de 10 à 15 secondes (les pauses sont indiquées dans la transcription de l'audio en annexe V.2.1.1). Huit minutes sont laissées aux élèves pour compléter la fiche d'exploitation. L'enseignant débute alors le chapitre 7 (Rayonnement et atmosphère : télédétection) qui reprend les concepts de physique abordés dans la vidéo.

V.2.1.2. Stratégies et savoirs disponibles des élèves sur le rayonnement électromagnétique

A partir des trente-cinq fiches d'exploitation de la vidéo recueillies, les mots et expressions repérés par les élèves dans l'encadré *keywords* sont recopiés dans un tableau placé en annexe V.2.1.2a. Ce traitement permet d'avoir un aperçu général du repérage mis en place par les élèves. Pour la colonne avec l'équivalent anglais/français, seize élèves (dont dix en section européenne physique-chimie ou histoire-géographie en anglais) ont recours aux deux langues (élève 4 ; 8 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 14 ; 15 ; 17 ; 23 ; 24 ; 28 ; 30 ; 33 ; 34 ; 35). Les occurrences des termes attendus sont égales à 31 pour *waves* (absent pour : 14 ; 22 ; 24 ; 26), 26 pour *spectrum*, 29 pour *wavelength*, 26 pour *electromagnetic radiation* (absent pour : 6 ; 8 ; 10 ; 17 ; 20 ; 23 ; 24 ; 27 ; 28). Le terme *wave*, *rays* ou *wavelength* est ainsi repéré par l'élève si celui de *radiation* ne l'est pas. La densité des termes spécialisés « clés », porteurs de sens, dans le média se retrouve dans le repérage effectué par les élèves. Dix-neuf élèves notent des termes en anglais dont six proposent un équivalent en français. L'élève 32 semble mobiliser ses connaissances sur les interférences constructives et destructives en optique ondulatoire (chapitre étudié en amont de la séquence) pour définir la crête et le creux de la sinusoïde, deux termes illustrés dans le média par un schéma (32 : « *crest*: constructive ; *trough*: destructive »). Les termes inconnus remarquables que les élèves écrivent sont *vacuum*, le vide, *odorless* et *tasteless*, pour signifier l'absence d'odeur et de goût d'une onde et *wavelength*, traduit à plusieurs reprises par période.⁸³ L'ensemble des productions liées au repérage présente une grande diversité au niveau de la forme : sous forme de listes en une ou plusieurs colonnes, écriture des termes à la volée de manière désorganisée, catégorisation ou non des termes selon ce qu'ils désignent (par exemple pour les différents types de rayonnements).

Le traitement des productions des élèves pour l'encadré « informations relevées » indique aussi une diversité des formes et d'approches des élèves : elles sont transcrites dans l'annexe V.2.1.2b. Les « modes de fonctionnement » identifiés par Pekdag et Le Maréchal (2006) sont présents dans le corpus : plusieurs élèves reprennent les idées de la vidéo en traduisant des phrases ou des morceaux de phrases ou en les restituant tels quels en anglais. Le début de la vidéo est particulièrement concerné (omniprésence des ondes électromagnétiques, types de rayonnement). L'interprétation de certaines images est décelable dans les productions : l'élève (6) extrapole l'analogie proposée dans la vidéo (1'29- 2'00) entre les vagues (*ocean waves*) et les ondes électromagnétiques et traduit *trough* par trou (« Dans une vague, il y a une crête et un trou, c'est la même chose pour une onde électromagnétique

⁸³ La période temporelle d'une onde électromagnétique est déterminée par l'inverse de sa fréquence. Sa période spatiale est la longueur d'onde. On parle de double périodicité d'une onde électromagnétique. La notion de période est étudiée dans le chapitre sur les ondes mécaniques avant la séquence.

observable sur un spectre électromagnétique. »). Cet extrait développe la notion de longueur d'onde et de fréquence et fait intervenir les crêtes au maximum (*crest*) et au minimum (*trough*) de la courbe sinusoïdale ; ce n'est pas ce que semble avoir relevé l'élève. De même, le graphe de l'extrait 2'00-2'16 pour expliquer la relation entre longueur d'onde du rayonnement et son énergie est traité par l'élève (8) avec une conception anthropomorphique de ces grandeurs par l'idée de « donner » et de « dépenser » (8 : « La longueur d'onde dépend de l'énergie donnée : petite longueur d'onde dépense beaucoup d'énergie et inversement »). Un traitement subjectif des images (vagues de l'océan et explication de la fréquence) est également perceptible pour l'élève (34) qui semble mobiliser ses connaissances sur les ondes mécaniques issues des chapitres étudiés en cours avant la séquence : l'élève fait référence au domaine d'audibilité de l'oreille humaine (34 : « Les ondes diffèrent par leur fréquence également pour celles que l'on peut entendre entre 20 Hz et 20 000 Hz ») et à l'exemple des séismes abordés en cours (34 : « Les ondes peuvent être du à des catastrophes naturelles comme les séismes ou tsunami »). Plusieurs écrits révèlent que l'ensemble de la vidéo est traité avec une prise de note systématique pour chaque extrait (4 ; 10 ; 15 ; 18 ; 20 ; 21 ; 22 ; 27 ; 30 ; 34) ; ainsi la prise d'informations est loin d'être orientée par la question posée :

« Il y a beaucoup d'ondes qui s'entrecroisent venant de notre vie quotidienne (partout et tous le temps). On dépend de cela, le monde que l'on connaît n'existerait pas, les ondes électromagnétiques transmettent de l'énergie grâce au mouvement de particules. EM n'a pas besoin d'eau comme les ondes des vagues. La distance entre 2 crêtes -> longueur d'onde (comme pour les vagues). On vit dans un monde d'onde (télé, téléphone...). On peut détecter le visible de 400 à 800 nm, les couleurs sont visibles car certaines ondes sont réfractées et d'autres absorbées. On en apprend tous les jours sur l'univers grâce à la découverte de nouvelles ondes. » (Elève, 18)

Enfin, comme pour le repérage, le terme de rayonnement est absent des informations relevées par les élèves : les termes d'onde(s) et de radiation(s) sont employés. Quatre encadrés sont complétés en anglais, six mettent en jeu les deux langues et quatre encadrés sont vides (3 ; 5 ; 28 ; 32). Le passage de la L2 à la L1 révèle que le phénomène de réflexion d'une onde n'est pas bien connu des élèves qui utilisent le verbe « refléter » (4 ; 6 ; 10 ; 20 ; 22 ; 24 ; 35) ou « réfracter » (6) à partir de « *reflect* » mobilisé dans la vidéo.

Les écrits des élèves laissent penser que les images et les mots qui apparaissent à l'écran guident fortement leur traitement des informations, d'autant plus que l'enseignant complice orchestre de nombreuses pauses (avec arrêt sur image) lors du visionnage. Il se peut que l'image induise chez l'élève une approche descriptive « matérialisante » des concepts de physique comme pour (21) (« Toutes [les ondes électromagnétiques] sont sur différentes parties du spectre des ondes électromagnétiques. Elles sont comme des vagues. ») : les images mentales produites chez l'élève 21 par le visionnage sont décrites et confèrent à la notion d'onde un caractère matériel. Les sous-titres fournissent certainement

des structures langagières que les élèves reformulent mais il est difficile d'identifier toutes les corrélations qui existent entre exploitation des sous-titres, de l'image, des données textuelles sur l'image et productions des informations relevées dans les encadrés. Une inconnue qui limite aussi l'analyse en regard du rôle des sous-titres est celle du niveau de compréhension orale et audiovisuelle (sans sous-titres) de l'élève. Par exemple, une formulation telle que (10) « Les radiations électromagnétiques (*spread across a spectrum*) s'étale à travers des rayons X, ultraviolet, domaine visible, infrarouge, micro-ondes, ondes radio » révèle que l'élève repère la phraséologie *spread across a spectrum* (0'34) ; ce repérage vient-il de l'exploitation des sous-titres ? ou de la reconnaissance du trait phonologique des mots et/ou de sa mise en relation avec les images ? Dans tous les cas, la reformulation de cette unité phraséologique par l'élève en langage imagé (s'étale à travers) ne prend pas en compte l'idée de spectre.

Dans certaines propositions d'élèves, des traces d'une vigilance à exercer pour s'assurer de l'exactitude scientifique du message sont visibles. Par exemple, le traitement de l'extrait « *Objects appear to have color because EM waves interact with their molecules. / Some wavelengths in the visible spectrum are reflected and other wavelengths are absorbed.* (2'59-3'35) » par l'élève 35 montre que la notion de longueur d'onde mobilisée à mauvais escient dans le média est remplacée par celle d'onde (« EM interagissent avec les molécules : certaines peuvent être absorbées ou reflétées (ex : couleur des objets) »). L'élève 22 exerce aussi cette vigilance (« Dans le visible, certaines ondes sont absorbées ou reflétées pour voir les objets ») à la différence de l'élève 24 (« certaines longueurs d'onde sont reflétées, d'autres absorbées ») qui semble recourir à une traduction « mot à mot » où là aussi l'idée de spectre est évincée de la reformulation en L1. Ce type d'analyse illustre l'intérêt du transcodage et de la reformulation et l'intérêt de choisir un média authentique à destination d'un public profane.

Des cas de reformulation qui laissent paraître une maîtrise partielle du concept de physique lié au rayonnement électromagnétique et en particulier ceux de grandeur et de mesure se retrouvent dans le corpus. Il est inexact de dire que les ondes se calculent (11) « Les ondes électromagnétiques sont calculés par fréquence) ou se mesurent (6) « Les ondes sinusoïdales sont mesurable ». La notion de mesure est exprimée sans précision (15) « à l'aide des ondes on peut faire mesure ». Les unités de mesures sont attribuées aux ondes plutôt qu'aux grandeurs fréquence ou longueur d'onde : (22) « Les ondes sont en nanomètre, on peut mesurer les fréquences ». La notion de double périodicité d'une onde porte à confusion : (11) « la fréquence, c'est l'inverse de la période. La période est mesurée en mètre ; une période correspond à la durée d'une vague -> une onde. ». De manière générale, il semble

exister une adhérence (Viennot, 2006[1996])⁸⁴ entre les notions de fréquence, de longueur d'onde, d'onde liées au concept de rayonnement, décelable par l'interchangeabilité intempesive des termes utilisés par les élèves et à leur usage inadapté qui rend le propos scientifique imprécis voire erroné.

Par l'intermédiaire de la fiche d'exploitation de la vidéo, les productions des élèves relatives aux techniques de repérage et de reformulation « transcodique » s'inscrivent dans une approche intégrée conceptuelle bilingue où le rapport de l'élève à l'objet de savoir rayonnement électromagnétique est encore à construire. La reformulation de la question posée en anglais et la réponse fournie par l'élève le confirment. En effet, à partir des trente-cinq (N=35) propositions de reformulation de la question par les élèves (annexe V.2.1.2c), une analyse terminologique est menée :

Terme présent dans la question <i>How to classify electromagnetic radiation sources ?</i> (Comment classer les sources de rayonnement électromagnétique ?) reformulée par l'élève	Fréquence pour N=35
comment	33
classer	20
classifier	11
les sources	29
de rayonnement	0
d'ondes	13
de radiations	22
électromagnétiques (qualifiant ondes ou radiations)	32
électromagnétiques (qualifiant sources)	2

Tableau 26. Fréquence d'un terme dans la reformulation de la question *How to classify electromagnetic radiation sources ?*

Il est remarquable que le terme de rayonnement soit absent⁸⁵. Onze propositions de reformulation sont considérées comme valides : la question reformulée en français fait sens et elle mobilise les quatre unités de traduction sur la manière de classer ou de classifier (« quelle » ou « identifier » invalident l'unité de traduction), sur la source émettrice, sur ce qui est émis (« radiation » ou « radiations » sont invalidées) et la nature du rayonnement émis (électromagnétique). Ainsi le critère du trait morphologique du mot est laissé de côté : même si le terme « électromagnétiques » est mal orthographié, par exemple comme en anglais (élève 1 : « Comment sont classées les sources d'ondes electromagnetic ? ») ou de manière combinée (élève 2 : « électro-magnétiques ») ou sans accord en nombre avec le nom qu'il qualifie (élève 27 : « Comment classifiez vous les source des ondes electromagnetic »), la proposition peut être validée par les quatre critères mentionnés. La nominalisation caractéristique de l'anglais scientifique (*electromagnetic radiation sources*) conduit des

⁸⁴ L'utilisation du terme adhérence se réfère à la didactique de la physique et au concept d'adhérence force-vitesse (Viennot, 2006[1996], p.75-76).

⁸⁵ Le domaine spécialisé influe le choix de reformulation : pour le cours de physique-chimie, rayonnement est le terme adéquat pour traduire *radiation* mais les élèves ne l'emploient pas dans la fiche.

élèves à inclure dans une première reformulation de la question sur leur feuille le mots « source » (20 ; 24) ou « ondes » (35). C'est une trace, manuscrite, de l'effort cognitif mené par l'élève pour parvenir à une reformulation « fidèle ». La nominalisation demeure dans la reformulation de la question en français pour l'élève 6 : « Comment est le classement des sources *radiations* electromagnetic ». L'enjeu de la conceptualisation par le passage de l'anglais au français est ici évident : l'équivalent accepté « sources d'ondes électromagnétiques » (le mieux serait « sources de rayonnement électromagnétique ») est à construire par l'élève pour faire sens. De même, la marque d'effort cognitif caractéristique d'une approche intégrée est présente avec les propositions éloignées d'une traduction mot à mot (32 : Quelle est la source pour classer les radiations electromagnetic ; 28 : Comment califier les sources de radiations electromagnetic ; 26 : Comment distinguer les natures des ondes magnétiques différentes) qui peuvent ou non signifier correctement l'idée de source de rayonnement. Ensuite, les trente-trois réponses (N=33) des élèves à la question reformulée (cf. question 3 de la fiche) sont analysées en comparaison avec l'énoncé-cible de référence : la présence des unités sémantiques, la cohérence et la pertinence de l'énoncé-cible sont des critères utilisés dans le traitement des données :

Unité sémantique attendue dans l'énoncé-cible de référence (expliquer comment classer les sources de rayonnement électromagnétique)	Fréquence pour N=33
émission de rayonnement par la source	2
type de rayonnement/d'ondes: UV visible, IR...	10
fréquence	17
longueur d'onde	19
du rayonnement ou des ondes	1
spectre	11
exemple de sources: télévision, poste de radio ...	0
énoncé-cible cohérent et pertinent	15

Tableau 27. Analyse des énoncés-cible pour l'exploitation de la vidéo

L'analyse repose aussi sur les données rassemblées dans un tableau (annexe V.2.1.2d) avec la transcription à l'identique des productions des élèves, avec l'indication des unités de reformulation ou sémantiques présentes dans les informations relevées et reprises dans l'énoncé-cible et avec, dans la dernière colonne, des commentaires pour l'analyse et l'identification dans l'énoncé-cible d'unité de reformulation inutile (URI) ou manquante (URM) par rapport aux informations relevées.

Les énoncés-cible sont courts et sont validés dès que les deux unités sémantiques dont au moins la grandeur caractéristique du rayonnement (fréquence, longueur d'onde) sont présentées dans une production cohérente et pertinente. Par exemple, la proposition de l'élève 30, « Les ondes peuvent être classé par l'utilisation d'un spectre électromagnétique grâce à leur longueur d'onde qui est

différente ainsi que leur fréquence... », est acceptée pour le type de tâche de la praxéologie de référence. Une mise en relation avec les informations relevées dans l'encadré sur la fiche d'exploitation de l'élève 30 indique en plus que l'unité de reformulation (qualifiée de manquante) sur les types d'onde (« ce sont les ondes electromagnetic (rayon X, onde du domaine visible, infrarouge, micro onde, onde radio ») aurait pu être intégrée dans son énoncé-cible. Lorsque les indicateurs de validation sont présents et qu'une unité de texte inutile est présente, l'énoncé-cible est également admis. Même si l'énoncé présente des inexactitudes au niveau de la formulation, il peut être validé si les critères sont mobilisés : l'élève 26 parvient par exemple à illustrer son raisonnement avec les deux grandeurs que sont la fréquence et la longueur d'onde mais ne propose pas l'équivalent correct « rayons X » pour *X-rays* (« On peut classer les ondes par leur longueur d'onde ou leur fréquence. Les ondes gamma ont une fréquence plus importante que les ondes radio tandis que les ondes radio auront eux, une longueur d'onde plus grande que les ondes X-rays »). C'est aussi le cas pour l'élève 16 et une formulation maladroite : « avec la fréquence on peut déduire l'onde ». En effet, l'unité sémantique présente dans l'encadré avec les informations relevées (« *Radio : low frequency; gama rays: highest frequency; Our eyes our tuned in a specific region of the EM spectrum* ») laisse penser que l'élève 16 donne du sens à son écrit.

L'exploitation de cette vidéo révèle que les élèves expriment le concept de rayonnement électromagnétique par les termes de radiations et d'ondes. La vidéo met en jeu la notion de source de rayonnement et la question posée est centrée sur cette notion mais celle-ci n'est reprise que par deux élèves dans leur réponse. L'élève 25, qui reformule l'information repérée en anglais par « proviennent d'objet de tout genre », semble la reformuler une seconde fois dans son écrit par « produites » : « On les classifie grâce aux spectre électromagnétique et donc selon les longueurs d'ondes des ondes produites. ». L'élève 27 dont l'énoncé-cible n'est pas validé écrit : « Ce sont des ondes qui sont présentes partout et qui viennent de nombreuses sources. ». La conceptualisation du phénomène d'émission de rayonnement par un objet ne semble pas accessible aux élèves par cette exploitation de la vidéo ou du moins elle n'est pas décelable si une question dans la fiche ne cible pas ce phénomène. D'ailleurs la question posée aurait pu passer sous-silence la notion de sources car la vidéo aborde aussi le rayonnement électromagnétique sous l'angle de la détection de rayonnement. Par contre, distinguer les ondes électromagnétiques est à la portée des élèves qui peuvent citer les types de rayonnements, faire le lien avec le spectre électromagnétique et la fréquence ou la longueur d'onde du rayonnement.

La question 4 de la fiche de préparation de la vidéo permet à l'enseignant complice de reprendre ces notions. Lors de la séance réalisée, l'organisation didactique de référence au type de tâche sur les sources de rayonnement se caractérise par la prise en charge par les élèves du moment de la première

rencontre avec le type de tâche étudié, du moment de l'exploration du type de tâches et de l'émergence de la technique et du moment de la construction du bloc technologico-théorique par l'intermédiaire de la fiche d'exploitation distribuée. Le « moment de l'institutionnalisation » a lieu en français lorsque l'enseignant débute le chapitre sur le rayonnement pour structurer le savoir enseigné : les termes spécialisés sont précisés entre parenthèses en anglais (*radiation, frequency, wavelength...*), après les termes en français, au sein de phrases qui institutionnalisent le savoir.

A l'issue de cette première séance, la fiche de préparation de l'activité expérimentale AE1 (cf. *supra*, annexe V.1.3) est transmise aux élèves avec les premières pages de l'énoncé. Les élèves doivent la remplir en prenant connaissance des supports en anglais présents dans l'énoncé. La deuxième séance de la séquence a lieu en demi-classe autour de l'AE1.

V.2.2. Transmission d'un rayonnement par un gaz, AE1

V.2.2.1. Conception-production de l'AE1

L'activité expérimentale AE1 (*Remote sensing* / Télédétection) est conçue pour que l'élève mobilise les notions et compétences au programme de physique-chimie (en particulier, la compétence à caractère expérimental « Pratiquer une démarche expérimentale mettant en œuvre un capteur ou un dispositif de détection ») et décrive l'interaction entre le rayonnement électromagnétique et l'atmosphère (absorption et transmission). Le domaine de la télédétection par satellite est choisi pour sensibiliser les élèves à l'activité de chercheur.e.s en sciences atmosphériques. L'énoncé de l'AE1 est très proche de celui qui a été utilisé l'année précédente. La même analogie entre l'utilisation d'un détecteur d'ondes en classe (photodiode) pour mesurer l'absorbance d'une espèce chimique colorée en solution aqueuse et le principe de la télédétection par satellite pour obtenir un spectre en transmission des gaz atmosphériques est proposée. Les pistes de réflexion issues de la première expérimentation conduisent à opérer quelques modifications au niveau des médias présentés et de la formulation des questions en français (les éléments de contenus attendus en réponse sont les mêmes : la version présentée aux élèves est disponible en annexe V.2.2.1).

Le contexte sur la télédétection par satellite, la question investigatrice (*How are optical sensors used to monitor the Earth's atmosphere from space ?*), le document 1 (*GOMOS on Envisat: an overview*) sur le principe de mesure par occultation stellaire et le document 2 qui schématise ce principe sont repris à l'identique pour des raisons analogues à celles présentées au chapitre IV.2.3.1. Le document 3 (*Absorbance of aqueous colored solutions*) présente la grandeur absorbance en relation avec la transmittance pour faire le lien avec le principe de mesure par GOMOS (documents 1 et 2) et le protocole expérimental que les élèves doivent mettre en œuvre. Le document 4 (*Some tips for the experiment*) fournit des informations sur le rôle de la photodiode en tant que détecteur de

rayonnement, sur le circuit électrique à réaliser et sur le principe de fonctionnement de la photodiode afin que l'élève conçoive et mette en œuvre une démarche pour déterminer l'absorbance d'une solution aqueuse colorée. Sur l'énoncé, vient, après la présentation du contexte et des documents en anglais, la liste de matériel également en anglais, puis le travail à faire en trois parties comme pour l'année N (*Part 1: Remote sensing provide measurements, Part 2: Experimenting remote sensing in the lab, Part 3: How are optical sensors used to monitor the Earth's ?*).

Le protocole de recherche ajusté vise à étudier comment les élèves traitent les informations issues des médias pour en extraire le message principal, sans répondre aux questions de l'énoncé. C'est l'intérêt de la fiche de préparation. Lors de la séance en classe, les élèves réalisent des tâches successives dont la consigne est formulée en français : elles mettent en jeu le processus dialectique média-milieu puisque l'élève ne peut réussir la tâche qu'en exploitant les médias. Elles permettent de les entraîner à mettre en place ce processus. Le guidage de l'enseignant complice lors de la séance peut aussi aider les élèves à automatiser cette approche liée à l'exploitation de médias en anglais. Par exemple, la technique de repérage est attendue pour les deux premières tâches car les élèves doivent citer des extraits des médias⁸⁶. De même, le type de tâche de référence relatif à l'explication d'un fait scientifique (l'occultation stellaire ou la transmittance d'un rayonnement) est à mobiliser. L'outil didactique « chaîne de détection », semblable à celui d'une chaîne d'énergie que les élèves de terminale scientifique ont probablement déjà rencontré dans leur cursus, est proposé avec la troisième tâche (explication du principe de télédétection permettant d'obtenir les spectres grâce à un registre sémiotique de type graphique). L'ensemble des tâches de la partie 1 permet aux élèves de découvrir en quoi consiste la télédétection par occultation stellaire. La dernière tâche (question 4 de la partie 1) porte sur l'analogie entre l'activité des chercheur.e.s en télédétection et l'activité au laboratoire du lycée : les élèves doivent mettre en correspondance différents objets de la physique (rayonnement électromagnétique issu de l'étoile avec celui issu de la diode laser, mélange de gaz atmosphériques analogue à la solution aqueuse utilisée, détecteurs pour GOMOS et photorésistance, intensité de rayonnement détecté pour deux positions différentes du satellite I_{occ} et I_{ref} avec tension mesurée aux bornes de la photorésistance pour deux situations différentes $U_{solution}$ et U_{eau}). L'élaboration, la réalisation et l'analyse de la démarche expérimentale par les élèves lors de la partie B reposent sur l'investigation par analogie issue de la partie A. C'est pourquoi la praxéologie de référence est à mettre en place avec la dernière question de l'activité expérimentale (partie C) pour produire l'énoncé-cible :

⁸⁶ Sur l'énoncé d'AE1 : « 1. Expliquer ce que cherchent à faire les scientifiques en télédétection qui travaillent avec GOMOS. Vous argumenterez votre réponse en citant des extraits en anglais de documents. ; 2. Expliquer ce que signifie la relation « $T(\lambda) = I_{occ}(\lambda)/I_{ref}(\lambda)$ Vertical profiles with 1,7 km sampling » (Doc.2). Vous argumenterez votre réponse en citant des extraits en anglais de documents. »

les élèves devraient pouvoir expliquer le principe de mesure par occultation stellaire en sélectionnant les contenus de physique des médias et en raisonnant par analogie avec la démarche menée en classe. Par conséquent, le protocole ajusté pour l'AE1 conduit, dans un premier temps, à analyser les productions des élèves sur la fiche de préparation à partir des unités sémantiques repérées et reformulées attendues dans la praxéologie intégrée disciplinaire de référence. Dans un deuxième temps, une analyse de leurs énoncés-cible (réponse à la question 9) est effectuée selon les critères de cohérence et pertinence de l'écrit produit, de présence de la technique de référence « Faire des analogies (activité scientifique de chercheur.e.s / activité scientifique d'élèves)» et des unités sémantiques attendues.

Les unités sémantiques repérées dans les médias (Mots clés, expressions clés en anglais qui permettent de comprendre les idées principales du document) et reformulées (Idées principales) sont sélectionnées en fonction de la question investigatrice qui porte sur les détecteurs et la surveillance de l'atmosphère terrestre depuis l'espace (*How are optical sensors used to monitor the Earth's atmosphere from space ?*). Une grille d'exploitation des médias de référence est élaborée comme outil méthodologique de traitement et d'analyse des données à inclure au protocole ajusté :

Unités sémantiques en anglais à repérer	⇒ Unités sémantiques à reformuler en français à partir du repérage
Contexte <i>object without coming into direct contact with it / remote sensing devices are onboard satellites monitor the Earth from space.</i>	⇒ Les instruments de télédétection embarqués permettent de surveiller la Terre ⇒ depuis l'espace sans contact direct
Document 1: GOMOS on Envisat: an overview <i>stellar occultation measurement principle in monitoring reference spectrum - the source can be seen above the atmosphere. occultation - spectra with absorption features. Transmissions - atmospheric constituent densities</i>	⇒ GOMOS utilise le principe de mesure d'occultation stellaire. ⇒ Un spectre de référence est ... ⇒ ...obtenu quand le rayonnement émis par la source passe au-dessus de l'atmosphère. ⇒ Un spectre d'absorption est ... ⇒ ...obtenu quand le rayonnement est occulté (transmis par l'atmosphère). ⇒ Le spectre de transmission informe sur la densité de constituants de l'atmosphère.
Document 2: Measurements provided by GOMOS <i>measurement principle - signals - transmission</i> $T(\lambda) = I_{occ}(\lambda) / I_{ref}(\lambda)$	⇒ Deux mesures de l'intensité du rayonnement sont effectuées : ⇒ au-dessus de l'atmosphère $I_{ref}(\lambda)$ et quand le satellite se déplace $I_{occ}(\lambda)$. ⇒ On obtient un spectre en transmission.
Document 3: Absorbance of aqueous colored solutions <i>Absorbance; $A = \log(I_0/I)$ incident radiation is transmitted and detected</i>	⇒ L'absorbance d'une solution est déterminée avec l'intensité I_0 du rayonnement incident et l'intensité I du rayonnement transmis qui a traversé la solution, ⇒ après absorption

<i>substance that absorbs radiation</i>	
Document 4: Some tips for the experiment Photoresistor - to detect – light a series circuit $I = a \times l$; intensity; proportional $U_R = R \times I$; voltage; proportional	⇒ La photorésistance détecte un rayonnement lumineux ⇒ Elle se branche dans un circuit en série ⇒ Il y a une relation de proportionnalité entre l'intensité lumineuse I et l'intensité i du courant électrique et entre i et la tension U_R

Tableau 28. Grille d'exploitation des médias de référence pour l'AE1.

Chaque fiche de préparation est transcrite : le corpus de données obtenu permet, par contexte et document, de traiter les productions des élèves et d'analyser leur exploitation des médias en termes de repérage d'unités sémantiques en anglais et de reformulation de ces unités en français. Ces opérations exigent un effort cognitif important de la part de l'élève pour s'appropriier les informations en anglais et les reformuler en français, d'autant plus que contexte, document 1 et document 2 sont ancrés dans un domaine de spécialité *a priori* « étranger » à l'élève et que les extraits proposés proviennent d'un article de recherche scientifique. Cette technicité des médias est évoquée au chapitre IV.2.3.1. Le travail de préparation à travers l'approche intégrée conceptuelle bilingue exige que l'élève y consacre du temps, hors classe.

Quant aux énoncés-cible des élèves (réponse à la question 9 de l'AE1), ils sont analysés à l'aide de la grille actualisée par rapport à celle présentée au chapitre IV.2.3.2 :

Unités sémantiques de l'énoncé-cible de référence	Présence des unités sémantiques dans l'énoncés-cible des élèves														
Référence au principe de mesure par occultation stellaire (détecteurs embarqués)															
Organisation des unités: étapes de la mesure															
Détection, par le satellite au-dessus de l'atmosphère,															
du rayonnement émis par une source de lumière (étoile) et															
obtention d'un spectre de référence (absence d'absorption)															
Déplacement du satellite qui descend : détection du rayonnement transmis par l'atmosphère et															
obtention d'un spectre avec occultation (absorption : interaction entre l'atmosphère et le rayonnement émis par l'étoile).															
Utilisation des deux spectres pour obtenir le spectre calibré en transmission, caractéristique des gaz dans l'atmosphère sondée.															
Transmission de rayonnement par l'atmosphère															
Absorption de rayonnement (par les gaz atmosphériques ou l'atmosphère)															

Unités sémantiques repérées et reformulées pour le Contexte (AE1)	N=17
<i>object without coming into direct contact with it / remote sensing devices are onboard satellites</i>	8
<i>that monitor the Earth from space</i>	2
Les instruments de télédétection embarqués permettent de surveiller la Terre	5
depuis l'espace / sans contact direct	11
<i>identifying, observing, measuring</i>	14
<i>mapping vegetation</i>	8
Reformulations pour les repérages précédents	13

Tableau 30. Traitement du repérage et de la reformulation par les élèves pour le contexte de l'énoncé AE1

Les élèves mettent en relation, au moins partiellement, leur repérage et leur reformulation de l'idée principale. Le fait que la télédétection se caractérise par une détection à distance (« depuis l'espace », « sans contact direct ») est présent dans 11 reformulations sur les 17 recueillies et est mis en relation avec le repérage pour les deux premières unités sémantiques du tableau (référéncées 8 fois, respectivement 2 fois). Cet élément de compréhension est un préalable pour appréhender les phénomènes d'interaction rayonnement-atmosphère visés. L'exploitation du contexte conduit les élèves à focaliser leur attention sur ce que permet la télédétection d'un point de vue de l'étude du climat (de l'observation à la cartographie : 14 et 8 références) alors que l'unité sémantique (attendue) sur la surveillance de la Terre apparaît 2 fois : probablement que le sens du terme *monitor* est inconnu de l'élève qui décide alors de ne pas le noter, même s'il fait partie de la question investigatrice. D'ailleurs dans les reformulations, l'expression « observer la Terre » est substituée à la phraséologie spécialisée « surveiller la Terre », que les élèves ignorent probablement du fait que la télédétection n'est pas un domaine d'étude abordé au cours de leur cursus scolaire et qu'il est technique et spécialisé. Les élèves (2) et (9) analysent le contexte en indiquant en idées principales : « - définition de la télédétection - à quoi cela sert la télédétection », respectivement « - explication du terme "remote sensing" - présentation des moyens utilisés - à quoi ça sert ». Il aurait peut-être été judicieux de présenter dans l'AE1 ce domaine de spécialité en français même si le titre du chapitre de cours commencé en début de séquence inclut le terme télédétection (chapitre 7 – Rayonnement et atmosphère : télédétection).

Pour le document 1, dix-huit fiches sont remplies (3 et 32 identiques) mais très peu d'élèves repèrent ou reformulent ce qui est attendu (cf. annexe V.2.2.2b) : le terme *spectrometer* est indiqué trois fois, de même pour *self-calibration* avec une seule reformulation, par l'élève 6 (« auto-étalonnage »). Les élèves relèvent par exemple *ozone, gases, satellite, GOMOS, atmospheric composition* sans qu'une tendance générale soit observée pour l'ensemble des fiches complétées. Seules cinq occurrences de

stellar occultation sont comptabilisées ; l'expression n'étant pas forcément reformulée. C'est le cas pour l'élève 10 qui néanmoins identifie les deux étapes du principe de la mesure :

10 : « il y a un spectromètre à bord d'un satellite. Le spectre de ref est mesuré qd la source est vue au-dessus de l'atmosphère. On fait varier les altitudes et on mesure pour obtenir un spectre d'absorption. On obtient ensuite un spectre ».

L'élève 32 exprime à sa manière, en langage courant, la première étape du principe de mesure, probablement à partir de l'unité sémantique « *when the source can be seen above* » par « Il commence à mesurer quand la source est voyante ». L'idée principale retenue par quelques élèves est celle d'expériences ou de mesures, et comme pour le contexte de l'AE1, aucune précision n'est apportée sur la grandeur étudiée, ni sur le phénomène observé (36 : « GOMOS est utile pour faire des expériences sur les différentes couches de l'atmosphère ; 2 : « le satellite GOMOS est un télédécteur. Se sert des gaz présents s/ Terre pour faire des mesures »). D'autres élèves précisent ce que permet GOMOS (15 ; 17 ; 18 ; 20 ; 30 ; 33 ; 35 ; 12 « identifier les gazes présents dans la couche d'ozone des étoiles » ; 14 « étudie la couche d'ozone (*monitoring ozone*) ; Il peut enregistré de nombreuses données = O₃, NO₂, NO₃ »). L'élève 34 semble extrapoler le contenu du média en mobilisant des idées absentes du document 1 (trouver les atomes, longueur d'ondes des ondes) :

34 : « un spectromètre est intégré dans le GOMOS pour détecter les longueurs d'ondes des ondes présentent dans l'espace et le GOMOS permet de trouver les atomes, les gaz présents dans l'espace ».

Le principe de mesure expliqué dans le document 1 comme une histoire, en plusieurs étapes, décrite à l'aide d'une terminologie spécialisée, n'est pas reformulé par les élèves : choisir des termes en français spécifiques à la physique et donner du sens à son écrit, sans recourir à une traduction mot à mot d'une unité sémantique, judicieusement sélectionnée, n'est pas aisé pour les élèves. L'analyse de l'exploitation par les élèves du deuxième document, qui reprend l'explication du document 1 à l'aide du registre graphique, permet d'évaluer si l'absence de reformulation autour de la télédétection par occultation stellaire équivaut à l'absence de compréhension des phénomènes physiques mis en jeu.

Parmi les quelques mots présents dans le document 2, c'est le titre de la figure qui est repéré par sept élèves (*measurement principle*). Le terme *self-calibration* est aussi repéré quatre fois (cf.annexe V.2.2.2b. L'élève 15 perçoit le principe de la mesure par occultation stellaire (« *measurement principle of GOMOS* » => Plusieurs longueurs d'ondes d'une même étoile sont mesurés à différents endroits : une de référence et une après occultation ») ainsi que l'élève 6 (« signaux transmit étoile/satellite à travers ou non la couche d'ozone ») même si la formulation est imprécise (« longueurs d'ondes » au lieu de rayonnement et « mesurés » au lieu de détectées) et si la couche d'ozone est substituée à l'atmosphère (représentation erronée fréquente, cf. chapitre II.2.4). L'élève 10 rappelle la variation de la position du satellite (mentionnée dans sa reformulation pour le premier document) qui détecte un

rayonnement transmis, nomme le spectre de transmission (absent de sa reformulation pour le document 1) et qualifie de « spectre de raies » le spectre de référence (10 : « ils font des mesures à différentes altitudes pour obtenir un spectre de transmission à l'aide de spectres avec des raies. »). Cette analyse du travail de l'élève 10 pour les documents 1 et 2 montre la possible influence du registre graphique : le spectre est identifié comme spectre de raies par l'élève (peut-être à cause des traits visibles sur les spectres représentés) alors que « spectre de référence » est l'expression utilisée dans son écrit pour le document 1. L'élève ne réutilise pas cette expression dans le document 2. L'idée de mesure sans préciser ce qui est mesuré ou de calcul est récurrente dans les reformulations des élèves :

12 : « mesures produites par GOMOS ».

14 : « des spectres sont transmis nous donnant beaucoup d'indications ».

33 : « mesure grâce à une relation $T(\lambda) = I_{occ}(\lambda)$ ».

35 : « satellite fait des calculs au dessus et dans l'atmosphère grace aux radiations qu'il absorbe [...] ».

La notion d'occultation stellaire pour effectuer les mesures n'est pas explicitée. Les phénomènes d'absorption et de transmission de rayonnement sont parfois évoqués par les termes appropriés (même si radiations est encore employé à la place de rayonnement) mais leur description reste incomplète voire confuse : par exemple, pour l'élève 35, le satellite absorbe les radiations alors qu'il détecte le rayonnement transmis après absorption par les gaz atmosphériques. Il est difficile d'identifier des traces d'une mise en relation des contenus des deux documents 1 et 2. De manière générale, les élèves mobilisent très peu les notions de physique (rayonnement, absorption, transmission, spectre) abordées en cours en classe entière et exprimées dans les médias.

Les documents 3 et 4 présentent des contenus de physique-chimie qui devraient faire appel à des connaissances antérieures de l'élève, respectivement sur l'absorbance d'une espèce colorée en solution aqueuse et sur le circuit électrique (intensité, tension, loi d'Ohm, dipôles en série). Le traitement des écrits des élèves fait également partie de l'annexe V.2.2.2b. L'exploitation de ces supports en anglais semble plus accessible aux élèves, compte-tenu du nombre plus élevé d'unités sémantiques repérées et reformulées, comparables à celles de la grille d'exploitation de référence. Le repérage effectué par les élèves apparait assez déconnecté de la reformulation proposée. Par exemple, des élèves centrent leur proposition sur les facteurs dont dépend l'absorbance de la solution (32 ; 4 ; 10 ; 17 ; 18 ; 15 « L'absorption d'une solution aqueuse coloré dépend de la longueur d'onde du rayon incident, de la longueur de la cuve ») et deux élèves évoquent la possibilité de déterminer la concentration de l'espèce colorée en solution :

14 : « une solution est utilisée, on étudie le spectre d'absorption, pour savoir la concentration / température ».

35 : « Grace a l'absorbance d'une solution colorée on peut déterminer la substance absorbant les radiations et sa concentration, la température et la nature de l'onde

absorbée. On peut donc déterminer quelles sont les radiations absorbées donc les espèces ».

L'idée d'identification du rayonnement, de l'espèce colorée ou du spectre vient d'une extrapolation des élèves, probablement due à la mobilisation de connaissances antérieures (contenu de physique-chimie au programme de la classe de première scientifique) : le média n'en parle pas. Le cas est similaire pour l'élève 34 qui reformule à bon escient le contenu du média et ajoute ce type d'information (emphase en italique) :

34 : « C'est l'absorbance d'une solution aqueuse colorée. Dans une cuve on place une solution on fait passer un rayon incident, la solution va absorber certains rayons et en laissent passer d'autres et en fonction de la longueur d'onde on sait de quoi il s'agit ».

Pour l'ensemble des écrits, les termes rayon(s) et radiation(s) sont employés par les élèves au lieu de rayonnement. Dans le traitement des données, les unités sémantiques qui font intervenir la notion d'intensité de rayonnement sont validées même si cette grandeur est absente de la proposition de l'élève : en fait, aucun élève ne mobilise cette notion présentée dans le média via le registre en langue naturelle anglaise et le langage formel en mathématique. Ce constat rejoint celui effectué sur la difficulté des élèves à s'appropriier le concept de grandeur en physique-chimie.

Pour le document 4, dix écrits révèlent que le rôle de la photorésistance en tant que détecteur de lumière est perçu, même si six élèves seulement repèrent l'unité adéquate dans le média. De plus, la corrélation entre repérage et reformulation n'est pas toujours établie (résultat analogue à ceux pour les exploitations des supports précédentes). Le traitement de l'unité sémantique sur la relation de proportionnalité entre deux grandeurs est visible pour quatre élèves même si leur reformulation n'est pas rigoureuse d'un point de vue scientifique. En effet, l'élève 17 s'efforce de préciser ses propos très proches de ceux du média mais ne parvient pas à trouver l'équivalent français de *photoresistor* ni de *voltage* (« Th mesuré ») :

17 : « Un photoresistant peut-être utilisé pour détecter la présence ou l'absence de lumière Il sera utilisé avec un circuit en série, une résistance et un générateur. Dans ces conditions, l'intensité d'une onde reçu par le photoresistant et proportionnel à l'intensité dans le circuit normal. Th mesuré entre le début et la fin de la résistance est proportionnel à l'intensité dans la résistance ».

De plus, les phraséologies *The drop of voltage U_R et between the ends of the resistor* présentes dans le média sont traitées par l'élève 17 sans recourir au concept de tension électrique ni à la phraséologie spécifique en français pour l'exprimer (tension aux bornes de la résistance). Les élèves 4 et 32 emploient tel quel le terme *photoresistor* par méconnaissance de l'équivalent en français alors que d'autres élèves utilisent un terme plus fréquemment rencontré en électricité pour désigner le dipôle,

celui de résistance. Ces deux élèves parviennent à reformuler des informations du média et à exprimer le concept d'intensité avec plus de rigueur (intensité du courant) que l'élève 17 :

4 : « Un "photoresistor" permet de mesurer la présence ou l'absence de lumière.

Loi de Ohm: $U=r \times i$ -> intensité du courant U -> volts »

32 : « Un "photoresistor" peut être utiliser pour détecter la présence ou non de lumière. Il peut être utiliser dans un circuit avec une résistance et un générateur.

L'intensité du rayonnement est proportionnel à l'intensité du courant dans le circuit. »

L'analyse des reformulations pour l'ensemble du corpus relatif au document 4 révèle que les grandeurs électriques sont désignées sans vigilance conceptuelle (par exemple, 34 : « intensité du circuit », « tension du circuit »), ce qui peut conduire à un non-sens (12 : « c'est une résistance utilisée dans les courts circuits »).

L'étude des productions des élèves à partir des fiches de préparation de l'AE1 montre que l'appropriation du contenu des médias en anglais dépend de l'engagement cognitif de l'élève face à la densité des contenus propre à chaque média et à l'opacité de la langue : le répertoire linguistique en anglais mais également en français, en particulier pour le lexique spécialisé (terminologie et phraséologie de la physique-chimie), est un facteur d'influence sur la qualité de la reformulation et probablement sur la qualité de la relation entre repérage et reformulation. La littéracie scientifique de l'élève est indéniablement une des raisons pour lesquelles l'entrée dans le média lui est plus ou moins aisée : lire un texte, une image, coordonner et convertir les registres sémiotiques ou discriminer les unités textuelles et mettre en œuvre des stratégies de compréhension en langues pour un thème d'étude spécifique à la discipline physique-chimie sont autant d'habiletés qui contribuent, avec la mobilisation de connaissances antérieures disciplinaires à reformuler de l'anglais au français les idées principales des documents. La composition du corpus réduit à dix-sept fiches de préparation (six élèves pour le groupe 1 dont deux fiches identiques ; treize élèves pour le groupe 2 dont deux fiches identiques) est certainement révélatrice de l'exigence du travail demandé à l'élève : le groupe 2 de TP où seize élèves sur dix-huit sont inscrits en section européenne est celui où les écrits sont de loin les plus nombreux et les plus pertinents. L'analyse des énoncés-cible est menée en regard de l'étude qui vient d'être réalisée.

V.2.2.3. Énoncés-cible des élèves, AE1

Lors de la séance en demi-classe où la première activité expérimentale est réalisée, quarante-cinq minutes sont consacrées à la partie A. L'enseignant complice fonctionne de manière analogue avec les deux groupes de TP : il sollicite les élèves pour que les idées principales relevées dans les supports en anglais soient partagées avec l'ensemble du groupe, sur la base du travail effectué sur la fiche de préparation. Il invite ensuite les élèves à répondre aux questions de la partie 1. Un temps de réflexion

est laissé aux élèves puis les réponses sont corrigées : à partir de leurs propositions, l'enseignant valide ou non les réponses et selon la difficulté de la tâche, dicte ou explicite au tableau la correction. Même s'il mène, prend en charge la correction de chaque question, il semble s'efforcer d'avoir un discours pédagogique et didactique pour que les élèves s'approprient contenus et démarches visés (par exemple, pour remplir le tableau par analogie, la chaîne de télédétection...). Pendant l'heure qui suit, la partie B est traitée : les élèves conçoivent et mettent en œuvre la démarche expérimentale par analogie, répondent à l'ensemble des questions et rangent le matériel. Les dix dernières minutes sont dégagées pour que les élèves rédigent leur énoncé-cible en réponse à la question investigatrice liée à l'activité scientifique de chercheur.e.s en télédétection : comment les détecteurs optiques sont-ils utilisés pour surveiller l'atmosphère terrestre depuis l'espace?

Pour le premier groupe, seules deux réponses sur quatorze feuilles d'élèves recueillies (élèves absents : 3 ; 6 ; 23 ; 28) sont écrites : l'une est une reformulation de la question (19) l'autre indique « très précis » (26). Les élèves ont eu du temps pour effectuer la consigne. L'absence de réponse peut s'expliquer par un manque de motivation des élèves, par le souhait de ne pas contribuer au projet de recherche, par réticence à l'anglais ou à la physique-chimie (ou aux deux), par honte d'être lu.e, par manque de compréhension du sujet traité... Pour rappel, dans ce groupe, six élèves ont rempli la fiche de préparation.

Pour le deuxième groupe, dix réponses sur dix-huit sont proposées et aucune ne mobilise les unités sémantiques de l'énoncé-cible de référence ni les unités sémantiques repérées et reformulées de la fiche de préparation (cf.V.2.2.2b). Sept élèves sur dix font référence à l'analogie entre activité des chercheur.e.s en télédétection et celle des élèves en classe de TP (9 ; 10 ; 14 ; 17 ; 18 ; 30 ; 31) avec l'idée sous-jacente que les chercheur.e.s s'appuient sur le travail des élèves (14 ; 31), en précisant que les instruments (ou le matériel) utilisés sont différents (17 ; 30 et 18 qui considère que le rayonnement du soleil et l'atmosphère font partie du matériel) ou en détaillant la correspondance entre domaine source et cible (l'élève 10 met en relation les rapports de transmittance et de tension calculés):

9 : « Ils utilisent le même type de protocole que nous mais transforment les valeurs électriques en un spectre ».

10 : « En télédétection, les chercheurs parviennent à calculer des rapports de transmission entre des I, ainsi que nous quand nous avons calculer le rapport entre les tensions ».

14 : « Ça marche pour nous donc les chercheurs utilisent ça aussi »

17 : « ils utilisent la même idée de processus que la nôtre mais en utilisant leur propre instrument ».

18 : « Sachant que notre protocole fonctionne, ils utilisent leur matériel cad l'atmosphère ainsi que le rayonnement du soleil ».

30 : « Ils utilisent le même protocole mais avec un matériel différent ».

31 : « Pas de fiche - Le protocole a été vérifié alors l'activité des chercheurs ».

Seul l'élève 9 mobilise la notion de spectre mais ne qualifie pas le type de spectre (de référence, d'absorption ou de transmission, obtenu par occultation) : la grandeur et sa valeur semblent être confondues et l'activité des chercheur.e.s est qualifiée par le verbe « transformer ». L'idée du calcul de la transmittance par le quotient de l'intensité de rayonnement de référence et de celle dans la situation d'occultation est présente dans la production de l'élève 10 qui utilise le symbole « I » sans désigner la grandeur correspondante. La réponse de l'élève 15 se rapproche le plus du contenu de l'énoncé-cible de référence même si la terminologie spécifique pour exprimer les concepts est absente et laisse place à un lexique scientifique non spécialisé « les données reçues » :

15 : « En comparant les données reçues par les capteurs optiques de référence et après occultation, il est possible de connaître la composition chimique du milieu traversé ».

Le lien avec la télédétection (capteurs, principe de mesure par occultation stellaire et étude de la composition de l'atmosphère) est exprimé. L'énoncé-cible de l'élève 15, le repérage et la reformulation des idées principales du contexte et des documents en anglais (cf. annexe V.2.2.2a et b) évoquent la praxéologie intégrée disciplinaire de référence. Quant aux propositions des élèves 21 et 33, elles sont semblables et mettent en jeu l'idée de pourcentage de transmission que l'enseignant détaille à la fin de la séance de TP, juste avant de laisser du temps aux élèves pour répondre à la dernière question de l'AE1 :

21 : « En surveillant le pourcentage de transmission de chaque gaz on peut surveiller leur évolution ».

33 : « En surveillant le pourcentage de transmission de chaque gaz les scientifiques peuvent surveiller leur évolution ».

Ces élèves traitent correctement des gaz plutôt que de la solution colorée utilisée en TP.

Pour essayer de comprendre pourquoi les élèves produisent des énoncés-cible aussi courts et de moins bonne qualité que les reformulations de la fiche de préparation, la trame et le film de la séance sont consultés. Il a déjà été mentionné que l'enseignant complice consacre les dernières minutes avant la production des énoncés-cible par les élèves à une explication sur l'expression de « la transmission en pourcentage » : il recourt à une analogie avec les soldes (opération commerciale dans les magasins) pour donner du sens au quotient des intensités de rayonnement de référence et d'occultation par l'atmosphère. De plus, alors que les élèves réfléchissent à la dernière question de l'énoncé depuis quelques minutes, un échange entre une élève et l'enseignant a lieu à voix haute :

Elève : « monsieur / du coup la question c'est / comment à partir d'un rayonnement on reçoit un / enfin on obtient un spectre de transmission ? // parce que du coup / elle n'a aucun rapport avec ce qu'on a fait ? / ça sert à rien de mettre ça ! »

Enseignant : « Ben / tu peux mettre que le protocole a permis de vérifier qu'on arrive à calculer en transmission grâce à / ben / à partir du rayonnement //

comment / ben / en réalisant le protocole // et on voit que ça marche surtout !
// et tu fais le lien avec les chercheurs »

L'influence des propos de l'enseignant sur les écrits des élèves semble être une explication convaincante pour interpréter les contenus des énoncés-cible formulés en termes de protocole et de réussite (« notre protocole fonctionne »).

L'appropriation de la notion d'absorption et de transmission de rayonnement à travers la première activité expérimentale construite sur une approche intégrée conceptuelle bilingue est tenue pour les élèves de cette classe : nommer ce fait de physique ne leur est pas spontané et l'expliquer en termes d'interaction entre l'atmosphère et le rayonnement détecté par un capteur est absent de la plupart de leurs productions sur la fiche de préparation et des énoncés-cible. Faire réaliser aux élèves le travail d'exploitation des médias en amont, sur un temps hors classe, et leur faire mener l'enquête par la dialectique média-milieu deux jours après, en classe, semble avoir constitué un obstacle à la production d'un énoncé-cible plus étoffé, cohérent et pertinent.

La séance 3 de la séquence qui succède à celle de l'AE1 permet de proposer aux élèves une activité documentaire élaborée avec des supports en anglais.

V.2.3. Interaction rayonnement-atmosphère, AD1

V.2.3.1. Conception-production de l'AD1

La première activité documentaire (cf. annexe V.2.3.1) constituée de trois parties (le contexte, les documents, le travail à réaliser) est issue, après quelques aménagements, de celle proposée aux élèves lors de l'année N : la question actualisée (*Why do the scientists take into account the interaction between radiation and atmospheric gases ?*) cible davantage l'interaction entre l'atmosphère et le rayonnement électromagnétique, conformément au premier volet de la séquence et au critère de globalité du //réchauffement climatique//. Le texte du document 1 sur les bandes d'absorption et les fenêtres atmosphériques est identique à celui de l'activité documentaire de l'année précédente mais est plus court (la fin du texte de la première version est supprimée). Le document 1 est aussi didactisé. En effet, d'une part, il est découpé en quatre paragraphes selon l'idée développée par le média authentique : définition de la transmission atmosphérique, cas de gaz atmosphériques, définition de fenêtres atmosphériques, lien avec la télédétection). D'autre part, le spectre de transmission de l'atmosphère qui y était joint est placé en document 2 pour inciter l'élève à l'exploiter et à coordonner les registres graphiques et en langue naturelle anglaise. La justification de la sélection de ces médias a été présentée au chapitre IV.2.2.1. Le troisième document est élaboré à partir d'une figure issue d'un article de recherche en télédétection (Duban, 2015, p.2, Fig.1. *Atmospheric opacity as a function of wavelength.*) :

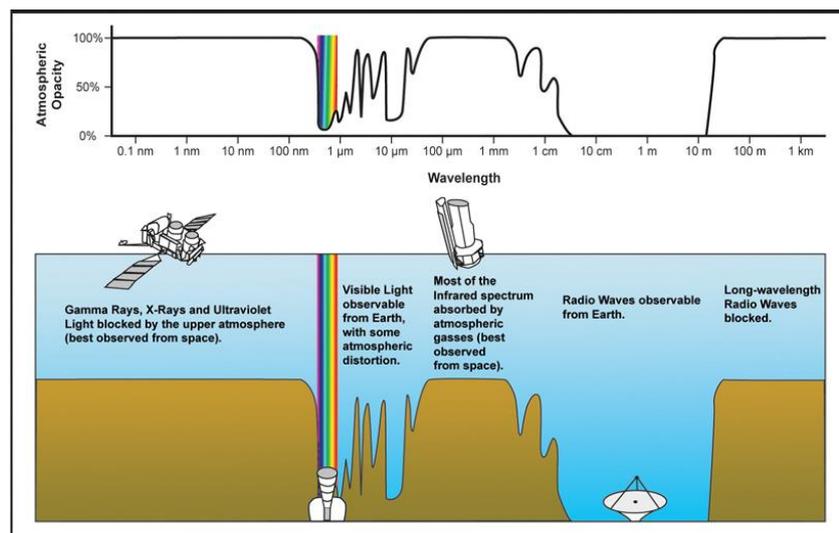


Figure 11. Opacité atmosphérique en fonction de la longueur d'onde (Duban, 2015, p.2, Fig.1. Atmospheric opacity as a function of wavelength.)

Celle-ci est composée de deux spectres dont les aspects graphiques sont complémentaires : celui du bas contextualise celui du haut. Le document 3 permet de faire le lien avec la thématique du chapitre de cours et l'activité expérimentale AE1 par la présence des dessins représentant des satellites accompagnés de commentaires sur les rayonnements qu'ils détectent et sur leur position en altitude. De plus, le spectre en transmission de l'atmosphère (fonction de la longueur d'onde du rayonnement incident) est plus clair que celui du document 2 : il est moins chargé et est plus proche des spectres présentés à des élèves de terminale scientifique. Coordonner les deux spectres avec les quelques commentaires est nécessaire pour accéder à la compréhension du document. Les contenus sont familiers aux élèves et exprimés par une terminologie spécifique déjà étudiée et employée par les élèves avec la vidéo en anglais et l'AE1. L'intérêt du document 3 est qu'il traite du concept de fenêtres atmosphériques, de l'interaction entre le rayonnement électromagnétique et des gaz atmosphériques ; il est aussi à coordonner avec les deux autres documents de l'activité pour affiner l'étude des faits de physiques visés.

Pour répondre à la question investigatrice et mettre en place la dialectique média-milieu, des tâches sont proposées aux élèves. Construire son lexique (consigne 1.) permet d'inciter l'élève à développer son répertoire linguistique spécifique à la physique-chimie en langues. Répondre à deux questions préliminaires (2.1. Quels types de rayonnements issus de l'Univers parviennent à la surface de la Terre (sol terrestre) ? et 2.2. Qu'est-ce qu'une fenêtre atmosphérique ?) implique d'exploiter le spectre de transmission de l'atmosphère : la lumière visible (« *visible light* ») et les ondes radio (« *radio waves* »)

sont les réponses attendues à la première question. Le document 1 fournit une définition en anglais⁹⁰ de la fenêtre atmosphérique comme pour l'année N, à reformuler pour répondre à la deuxième question préliminaire. Enfin, l'énoncé de l'AD1 consiste à reformuler la question investigatrice (question 3.1) et à y répondre (question 3.2). Ainsi l'approche intégrée conceptuelle bilingue devrait se manifester à travers les techniques de repérage et de reformulation par la dialectique média-milieu. Les énoncés-cible des élèves pour expliquer le fait de physique correspondant à l'existence de fenêtres atmosphériques sont produits lors de la réponse à la dernière question. La praxéologie intégrée disciplinaire de référence prend la forme suivante :

Type de tâche	Expliquer l'interaction entre le rayonnement électromagnétique et les gaz atmosphériques.
Technique	Repérer les unités sémantiques et les termes spécifiques dans les médias pertinents puis reformuler de l'anglais au français les unités sémantiques et les termes repérés pour répondre à l'une des questions préliminaires et à la question investigatrice.
Technologie	Discours reformulé mobilisant la terminologie et la phraséologie spécifiques en français pour exprimer les concepts d'absorption et de transmission de rayonnement, discours cohérent et pertinent justifiant les unités sémantiques sélectionnées.
Théorie	Connaissances de physique-chimie sur le rayonnement électromagnétique (types de rayonnement, longueur d'onde, spectre d'absorption et de transmission), coordination des registres sémiotiques et lexique spécialisé (termes et phraséologie) en L1 et L2.

Tableau 31. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence pour l'AD1

L'énoncé-cible de référence répond à la question Pourquoi les scientifiques prennent-ils.elles en compte l'interaction entre le rayonnement et les gaz atmosphériques ? : « Les scientifiques prennent en compte l'interaction entre le rayonnement (électromagnétique) et les gaz atmosphériques parce que certains gaz de l'atmosphère absorbent le rayonnement dans certains domaines de longueurs d'onde et le transmettent dans d'autres : l'atmosphère est transparente à la lumière visible et aux ondes radio. Les instruments utilisés à la surface de la Terre détectent uniquement le rayonnement correspondant aux fenêtres atmosphériques. La télédétection permet de détecter le rayonnement dans les autres domaines du spectre. » Il est constitué d'unités sémantiques qui précisent la nature de l'interaction (absorption et transmission, fenêtres atmosphériques) à l'aide du document 1 et du document 3 et qui traitent de la télédétection (dernier paragraphe du document 1 et document 3) :

⁹⁰ Document 1, AD1: "In contrast to the absorption bands, there are areas of the electromagnetic spectrum where the atmosphere is transparent (little or no absorption of radiation) to specific wavelengths. These wavelength bands are known as atmospheric "windows" since they allow the radiation to easily pass through the atmosphere to Earth's surface."

Unités sémantiques (u.s) de l'énoncé-cible de référence et repérage	Présence des u.s dans l'énoncé-cible de l'élève						
Absorption de rayonnement par certains gaz atmosphériques selon le domaine de longueurs d'onde							
<i>The gases that comprise our atmosphere absorb radiation in certain wavelengths (doc.1)</i>							
Transmission de rayonnement par certains gaz, pour des domaines spectraux spécifiques							
<i>while allowing radiation with differing wavelengths to pass through (doc.1)</i>							
Transparence de l'atmosphère à la lumière visible et aux ondes radio							
<i>visible light, radio waves observable from Earth (doc.3)</i>							
Fenêtres atmosphériques							
<i>These wavelength bands are known as atmospheric "windows" since they allow the radiation to easily pass through the atmosphere to Earth's surface (doc.1)</i> <i>Diagram of atmospheric windows—wavelengths at which electromagnetic radiation will penetrate the Earth's atmosphere. (doc.2)</i>							
Détecteurs sur Terre et télédétection							
<i>Most remote sensing instruments [...] with detectors tuned to specific frequencies (wavelengths) that pass through the atmosphere. (doc.1); doc.3: satellites et instruments sur Terre</i>							

Tableau 32. Grille d'analyse des énoncés-cible des élèves pour l'AD1 (Pourquoi les scientifiques prennent-ils.elles en compte l'interaction entre le rayonnement et les gaz atmosphériques ?)

Les élèves réalisent l'activité documentaire sur l'énoncé photocopié lors de la séance 3.

V.2.3.2. Énoncés-cible des élèves, AD1

La séance 3 est une séance en classe entière, qui succède à la séance de TP avec l'AE1. Pendant les dix premières minutes, l'enseignant complice poursuit le chapitre sur le rayonnement (II. Quelles sont les sources des ondes et des particules ?). Il distribue un document avec les différents domaines spectraux et des exemples de sources (nature du rayonnement émis selon la source). Il fait le lien avec la vidéo en anglais visionnée lors de la séance 1 et les objets du quotidien. L'énoncé de l'AD1 est transmis aux élèves. Pendant quatre minutes, l'enseignant lit le contexte (il rappelle que le spectre d'une étoile et les raies d'absorption ont été abordés en classe de seconde et que l'activité va traiter également des spectres, en lien avec l'utilisation de satellites hors atmosphère : « on va voir que peut-être notre atmosphère à nous / elle absorbe ? / on va voir en fait s'il y a interaction entre notre atmosphère et les ondes / et c'est le but de notre activité / de comprendre ceci // »). Il commente rapidement le nombre de questions, le fait qu'elles sont en français et précise : « reformuler ce n'est pas forcément traduire mot à mot, il faut que votre reformulation ait du sens ». Enfin il indique qu'un *vocab space* est à la disposition des élèves pour construire leur lexique et affiche au tableau par vidéoprojection les

images de l'AD1 en couleurs (l'énoncé distribué aux élèves est en noir et blanc). Les élèves travaillent individuellement pendant quinze minutes puis les trente-cinq travaux sont relevés (une élève est absente). La correction collective est réalisée immédiatement après : les réponses aux questions sont intégrées dans le cours.

Les productions des élèves (réponses aux questions de l'activité) sont transcrites et disponibles en annexe V.2.3.2a. Le traitement des données effectué à partir de la grille d'analyse des énoncés-cible est présenté en annexe V.2.3.2b. Les trente-trois reformulations de la question investigatrice montrent que davantage d'élèves traduisent *radiation* par rayonnement (3 occurrences au singulier, 12 au pluriel) ou ondes (5 occurrences), par rapport à l'exploitation de la vidéo 1. Quatorze élèves emploient le terme radiations. Le terme interaction est présent 28 fois (dont deux erreurs orthographiques) ; l'élève 9 mobilise le terme interférences (utilise-t-elle ses connaissances en optique ondulatoire ?), l'élève 30 celui de raies (par influence du discours de l'enseignant ?). Vingt-quatre propositions sont valables car elles font sens.⁹¹

Sur les trente-cinq travaux analysés, vingt-cinq énoncés-cible sont écrits par les élèves. Aucun ne reprend l'ensemble des unités sémantiques attendues. La grille d'analyse avec les unités rencontrées dans les énoncés-cible montre que le phénomène d'absorption de rayonnement par les gaz atmosphériques est mobilisé bien plus souvent (11 fois) que celui de transmission (3 fois) :

Fréquence des unités sémantiques de l'énoncé-cible de référence et de repérage dans les productions des élèves (N=25)	
Absorption de rayonnement par certains gaz atmosphériques selon le domaine de longueurs d'onde	11
<i>The gases that comprise our atmosphere absorb radiation in certain wavelengths (doc.1)</i>	1
Transmission de rayonnement par certains gaz, pour des domaines spectraux spécifiques	3
<i>while allowing radiation with differing wavelengths to pass through (doc.1)</i>	0
Transparence de l'atmosphère à la lumière visible et aux ondes radio	14
<i>visible light, radio waves observable from Earth (doc.3)</i>	6
Fenêtres atmosphériques	15
<i>These wavelength bands are known as atmospheric "windows" since they allow the radiation to easily pass through the atmosphere to Earth's surface (doc.1)</i>	7
<i>Diagram of atmospheric windows—wavelengths at which electromagnetic radiation will penetrate the Earth's atmosphere. (doc.2)</i>	1

⁹¹ Exemples de proposition rejetée : 12 : En quoi l'atmosphère influe sur l'atmosphère des rayonnements émis à partir de l'univers ? ; 19 : Pourquoi les scientifiques comparent les radiations et gaz atmosphérique ? ; 21 : Quelles relations les scientifiques ont fait entre les gazs présents dans l'atmosphère et les radiations ? ; 33 : Pourquoi les scientifiques étudient la relation entre les radiations et les gaz de l'atmosphère ?

Détecteurs sur Terre et télédétection	1
<i>Most remote sensing instruments [...] with detectors tuned to specific frequencies (wavelengths) that pass through the atmosphere. (doc.1); doc.3: satellites et instruments sur Terre</i>	0

Tableau 33. Résultats suite à l'utilisation de la grille d'analyse des énoncés-cible des élèves pour l'AD1 (Pourquoi les scientifiques prennent-ils.elles en compte l'interaction entre le rayonnement et les gaz atmosphériques ?

Comme mentionné dans l'annexe V.2.3.2b à propos du traitement des données, les unités sémantiques attendues dans l'énoncé-cible qui proviennent des questions préliminaires sur la nature du rayonnement transmis par l'atmosphère et la définition d'une fenêtre atmosphérique sont comptabilisées (codage avec deux points « : ») lorsque l'élève a répondu correctement à ces questions préliminaires alors que ses réponses sont absentes de l'énoncé-cible. Ainsi, 14 élèves parviennent à exploiter les médias et indiquent que l'atmosphère terrestre est transparente au rayonnement dans le domaine du visible et des ondes radio. De même, 15 élèves comprennent que la notion de fenêtre atmosphérique caractérise cette « transparence » au rayonnement même si leurs formulations sont maladroites voire incorrectes d'un point de vue de la syntaxe en français ou inexactes d'un point de vue conceptuel.

D'ailleurs, l'analyse des propositions des élèves pour expliquer ce qu'est une fenêtre atmosphérique met en évidence la tendance à matérialiser cette notion abstraite et à lui donner une dimension spatiale : les termes « endroit », « espace », « zone » sont employés. Le lieu désigné peut correspondre à l'atmosphère (8 : « endroit dans l'atmosphère ou les ondes ne sont pas bloqués » ; 12 : « c'est une partie de l'atmosphère où les ondes ont plus de facilité à passer à travers »), au spectre (21 : « sur le spectre, c'est un endroit où la raie est transparente, elles traversent la surface de la terre ») ou ne pas être précisé :

26 : « un endroit où les ondes passe plus qu'à d'autre endroit ».

27 : « endroit les radiations ont plus de facilité à passer ».

18 : « un endroit ou certaines radiations passent plus et facilement ».

34 : « la fenêtre atmosphérique c'est l'endroit où passent les longueurs d'onde, les ondes présentent dans l'atmosphère et qui parviennent à la surface de la Terre ».

16 : « C'est une zone dite transparente avec des longueurs d'ondes spécifiques ou les ondes passe facilement ».

22 : « l'espace dans lequel les ondes EM peuvent pénétrer l'atmosphère terrestre ».

30 : « c'est un petit espace qui laisse passer des ondes ».

31 : « Une fenêtre atmosphérique est l'espace dans lequel les EM passeront dans l'atmosphère de la Terre ».

L'image mentale de la vitre d'une fenêtre induit peut-être ces formulations. L'influence des termes anglais dans les médias (*blocked, penetrate, pass through*) est décelable dans les écrits des élèves qui emploient les termes « bloqués, passent/passeront/laisse passer, pénétrer, traversent » au lieu du terme spécifique « transmettent ». Les figures de spectre présentes dans les médias peuvent aussi

probablement justifier le raisonnement en termes d'espace. L'élève 15 associe d'ailleurs la notion de spectre à celle de fenêtre atmosphérique (15 : « *It's an electromagnetic spectrum where the atmosphere is transparent* »). La définition est aussi communiquée en termes de propriété de la notion (35 : « une fenêtre atmosphérique laisse passer les ondes »). Certaines propositions d'élèves sont reformulées à partir de la définition en anglais repérée dans le premier document de l'AD1 (« *These wavelength bands are known as atmospheric "windows" [...]* ») :

18 : « C'est une longueur d'onde ou les ondes/radiations peuvent passer aisément jusqu'à la surface terrestre ». (doc.1)

23 : « Une fenêtre atmosphérique est une bande de longueur d'onde qui laisse passer les rayonnements à travers l'atmosphère ». (doc.1)

20 : « Une fenêtre atmosphérique c'est quand ça laisse passer les rayonnements à une certaine longueur d'onde qui est transparente ».

33 : « Une fenêtre atmosphérique correspond à une certaine longueur d'onde du spectre électromagnétique qui laisse passer les radiations à travers l'atmosphère terrestre ».

La notion de longueur d'onde convoquée est alors pertinente mais l'équivalent français de *wavelength bands* met de côté le terme spécifique de « bandes » (excepté pour l'élève 23). La vigilance conceptuelle semble absente du processus de reformulation mis en œuvre par ces élèves pour qui ce sont les longueurs d'onde (au lieu de certains gaz atmosphériques) qui laissent passer le rayonnement ou qui sont transparentes au rayonnement. De même, la reformulation de l'élève 11 peut s'interpréter comme conduisant à une erreur conceptuelle où onde et rayonnement seraient deux entités distinctes (11 : « Une fenêtre atmosphérique est une onde qui permet au rayonnement de passer facilement dans l'atmosphère de la terre »)

Quelques énoncés-cible sont peu développés voire extrêmement courts comme :

16 : « Pour voir les rayonnements absorbés ».

18 : « Afin de connaître l'absorption des rayonnements ».

20 : « Pour voir quels gaz sont absorbés ».

24 : « car certains gaz (présent dans l'atmosphère) absorbe du rayonnement ».

5 : « Les gaz absorbent certaines radiations comme les ondes IR ».

19 : « Pour voir de quoi est constitué l'atmosphère ».

Il se peut que ces élèves aient dû passer plus de temps à lire le texte en anglais et à coordonner les différents registres pour s'approprier les contenus véhiculés qu'à produire un énoncé-cible. Le phénomène d'absorption est à juste titre mobilisé et ciblé par les élèves 16, 18, 20 ; 24 et 5. Evoquer la constitution de l'atmosphère (19) ou les ondes IR (5) peut être corrélé à des connaissances des élèves issues des activités précédentes ou de leur culture scientifique car les médias ne traitent pas de ces objets de savoir. Cette manière de procéder est décelable dans des énoncés plus étoffés au sujet de la composition de l'atmosphère ou de l'espace :

2 : « grâce aux rayonnements reçus, les scientifiques peuvent déterminer grâce à leur longueur d'onde, les gaz présents ».

4 : « Pour étudier la composition de l'atmosphère, quelles ondes peuvent passer à travers l'atmosphère ».

31 : « L'interaction gaz/rayonnement est nécessaire dans la mesure où les longueurs d'onde relevées permet de connaître la composition de l'espace en question ».

30 : « Cela permet de déterminer quelles ondes peuvent parvenir à la surface terrestre et celles qui sont absorbées par l'atmosphère de la Terre. Ainsi on peut déterminer la composition de l'atmosphère ».

La relation causale présente dans l'énoncé-cible de l'élève 30 apparaît inappropriée compte-tenu de ce qui est proposé dans les médias.

Les notions d'absorption et de transmission de rayonnement visées par cette première activité documentaire sont explicites dans l'énoncé-cible de l'élève 33 :

33 : « Ils établissent une relation entre les radiations et les gaz atmosphériques afin de comprendre quels gaz absorbent quels rayonnements de l'Univers et ainsi comprendre pourquoi certains rayonnements sont transmis et observables de la Terre et d'autres non ».

La présence simultanée dans cet énoncé-cible des termes radiations et rayonnement est certainement due à l'emploi du terme anglais *radiation* dans la question : l'élève s'appuie sur la question pour débiter sa réponse. Enfin, certains énoncés-cible abordent l'interaction rayonnement-atmosphère comme un phénomène qui fausse les résultats (idée identifiée en cours de DNL1 observé l'année N). Ils sont construits à l'aide de termes du domaine des sciences mais qui ne sont pas spécialisés (résultats, analysés, mesures) :

6 : « Parce que l'atmosphère absorbe certaines radiations ou au contraire bloque des radiations faussant ainsi les résultats ».

12 : « Elle ajoute des gaz faussant les résultats. Il faut donc soustraire les gaz présents dans la couche d'ozone mais les concentrations sont aussi faussées ».

14 : « Des mesures sont faites avec des détecteurs avec une fréquence donnée. Les longueurs d'ondes passant à travers l'atmosphère sont analysées ».

27 : « car les gaz présents dans l'atmosphère absorbe certains rayonnements et donc fausse les résultats scientifiques ».

35 : Les scientifiques doivent prendre en compte ces éléments car ils peuvent modifier les résultats des détecteurs car certains gaz peuvent absorber d'autres radiations ».

Les énoncés des élèves 12, 27, 35 mettent en évidence la relation de cause à effet entre la présence de gaz dans l'atmosphère ou le fait qu'ils absorbent un rayonnement et les résultats faussés.

L'étude menée à travers l'activité documentaire AD1 montre que donner du sens à une notion de physique connexe au concept de rayonnement électromagnétique est difficile pour ces élèves. La

reformulation avec transcodage à travers les quatre questions de l'énoncé aurait pu induire un engagement cognitif de la part des élèves pour exprimer convenablement le concept d'interaction rayonnement-matière dans le cas de l'atmosphère. L'appropriation de ces savoirs semble nécessiter un entraînement à exercer une vigilance conceptuelle, comme mentionné à l'issue des analyses de productions des élèves pour l'AE1.

Synthèse du V.2. Volet 1 de la séquence : critère de globalité du //réchauffement climatique//

Lors des trois premières séances de la séquence, des supports en anglais sont proposés aux élèves pour aborder le critère de globalité du //réchauffement climatique// exprimé à travers la terminologie et phraséologie spécifiques présentées au chapitre II : Terre, atmosphère, constituants gazeux de l'atmosphère qui absorbent et émettent/transmettent un rayonnement à des longueurs d'onde spécifiques du spectre du rayonnement (terrestre). La fiche d'exploitation conçue pour la vidéo sur l'introduction au spectre électromagnétique, la fiche de préparation proposée avant la réalisation de l'activité expérimentale AE1 sur la transmission de rayonnement en télédétection avec le principe de mesure par occultation stellaire et l'analogie avec une solution aqueuse colorée ainsi que l'énoncé d'activité documentaire AD1 sur la transmission de rayonnement et les fenêtres atmosphériques contribuent à la constitution du corpus de données. Leur traitement et leur analyse portent sur l'identification de la praxéologie intégrée disciplinaire de référence établie dans les trois situations d'enseignement-apprentissage. Les énoncés-cible produits par les élèves ne mettent pas vraiment en jeu les unités sémantiques repérées dans les médias et reformulées en fonction des questions qui leur sont posées dans le milieu de l'enquête. Même si les tâches proposées aux élèves contribuent à leur faire mettre en œuvre la dialectique média-milieu et la technique de référence (repérage, reformulation, analogie), le type de tâche pour expliquer comment sont classées les sources de rayonnement électromagnétique (V1), comment les capteurs sont utilisés en télédétection pour surveiller l'atmosphère terrestre (AE1) et pourquoi les scientifiques prennent en compte l'interaction rayonnement-atmosphère pour surveiller la Terre (AD1) leur pose des difficultés. Celles-ci peuvent s'expliquer par l'influence du média authentique et didactisé.

En effet, la présence de sous-titres intralignes, le discours et les images vulgarisés de la vidéo engendrent des prises d'information inappropriées, l'emploi d'une terminologie inadéquate (par exemple, radiations au lieu de rayonnement) et la tendance à matérialiser les objets de la physique ou à confondre les grandeurs mises en jeu. La technicité des médias de l'AE1 et la densité des contenus d'un point de vue de la physique où le concept de rayonnement est étudié à travers la conceptualisation du phénomène d'absorption et d'émission par des grandeurs telles que l'intensité de rayonnement et la transmittance conduit les élèves à formuler leur énoncé-cible en se référant

quasi-exclusivement à la réalisation de protocole expérimental. Pour l'AD1, la phraséologie employée dans les médias mobilisant différents registres sémiotiques impacte également les reformulations des élèves qui expriment davantage le concept de transmission de rayonnement et de fenêtres atmosphériques par un langage courant, sans recourir à la terminologie de spécialité.

L'étude menée autour du premier volet de la séquence indique aussi que les modalités de passation des médias (par exemple pour la vidéo : deux visionnages avec sous-titres et nombreuses pauses avec arrêt sur image), le discours de l'enseignant et le travail de préparation en différé dans le cas de l'AE1 peuvent avoir un effet sur les contenus des énoncés-cible des élèves. L'approche intégrée conceptuelle bilingue induite par la sélection des supports en anglais et la conception des fiches et énoncés d'activités nécessite que l'élève s'engage cognitivement dans les tâches proposées et exerce une vigilance conceptuelle lors de la mise en mots des concepts visés pour qu'elle lui soit bénéfique.

Après la correction de l'AD1, l'enseignant conclut le chapitre sur le rayonnement et débute le chapitre 8 intitulé « Rayonnement et matière : spectroscopie ». La correction de l'AE1 a lieu en séance 4. La séance 5 permet de développer les notions de spectres ultraviolet-visible et infrarouge : les élèves découvrent comment une molécule interagit avec un rayonnement électromagnétique à l'aide d'une activité documentaire et d'une simulation numérique. Ainsi, lors de la séance 6 où la deuxième activité expérimentale est proposée aux élèves, les contenus sur le spectre d'identification d'une espèce chimique, l'absorbance d'une espèce chimique colorée et le dosage par spectrophotométrie d'une telle espèce ont été enseignés. Ce sont ceux sur lesquels est construite l'AE2 qui permet de mettre en jeu le critère du //réchauffement climatique// correspondant au deuxième volet de la séquence dont la deuxième activité documentaire AD2 fait aussi partie.

V.3. Volet 2 de la séquence : critère de concentration en dioxyde de carbone atmosphérique

V.3.1. Conception de l'AE2 : identification et dosage du dioxyde de carbone dans l'atmosphère

L'énoncé de l'AE2 « *Atmospheric gases / Gaz atmosphériques* » est disponible dans l'annexe V.3.1. Il est ajusté par rapport à l'énoncé de l'AE2 conçu l'année N mais repose sur les mêmes contenus de physique-chimie et la même démarche de conception (cf. annexe du chapitre IV.1.4b présentée avec le module 3 de co-construction). Lors de cette activité les élèves élaborent et mettent en œuvre une démarche expérimentale pour identifier une espèce colorée par spectrophotométrie dans l'UV-visible puis pour déterminer sa concentration à l'aide d'un dosage par étalonnage par mesure d'absorbance de l'espèce et modélisation par la Loi de Beer-Lambert. L'exploitation des supports en anglais vise à

leur faire découvrir comment les chercheur.e.s en télédétection identifient le dioxyde de carbone dans l'atmosphère et déterminent sa concentration grâce à la spectrophotométrie infrarouge et la modélisation par la loi de Beer-Lambert-Bauguer. L'investigation par analogie à mener fait correspondre le domaine source, celui de la spectrophotométrie UV-visible pour des espèces colorées en solution aqueuse, avec le domaine cible relatif à la télédétection. Le lien avec le réchauffement climatique est explicité dès le contexte. Celui-ci est un extrait d'un article de recherche en anglais dans le domaine de la télédétection. Il présente le dioxyde de carbone comme un gaz à effet de serre dont la concentration dans l'atmosphère augmente au cours du temps à cause des activités humaines. La présence des deux registres (langue naturelle et graphique) met en évidence le thème d'étude.

Quatre sections structurent cet énoncé de l'AE2 : le contexte et les deux questions investigatrices en anglais (*How do scientists identify carbon dioxide in the Earth's atmosphere? How do they measure its atmospheric concentration to know more about its evolution*), les cinq documents en anglais, la liste de matériel en anglais et le travail à faire. Celui-ci est divisé en trois parties dont les consignes sont présentées en français. La première partie *Using spectroscopy for sensing (15min)* présente un tableau à remplir en classe afin de préciser l'analogie en indiquant les équivalents du domaine source pour les éléments du domaine cible proposés (même principe que pour l'AE1)⁹². La seconde partie *Experimenting laboratory spectrophotometry (1h15)* est constituée d'une série de tâches où la reformulation d'une question investigatrice est suivie par la démarche à concevoir et à réaliser pour aboutir à l'interprétation des données obtenues et à la formulation d'une réponse à la question. La dernière partie *Describing the scientists' work - spectroscopy for in situ sensing on Earth's atmosphere (15 min)* correspond au type de tâche de la praxéologie de référence : les élèves répondent aux deux questions de recherche liées à l'activité scientifique des chercheur.e.s en télédétection qui travaillent sur l'atmosphère terrestre.

Parmi les cinq documents que les élèves doivent étudier, les deux premiers sont issus d'un article de recherche et contribuent à la caractérisation du domaine cible de l'analogie. Les trois derniers traitent du domaine source. Les médias que les élèves doivent exploiter sont sélectionnés selon les critères précisés dans les deux tableaux ci-après :

⁹² Par rapport à l'année N, le nombre de tâches a donc été réduit : les élèves peuvent ainsi se focaliser sur l'exploitation des médias pour raisonner par analogie.

	<p align="center">Document 1: Atmospheric carbon dioxide spectra Document 2: Concentration of atmospheric carbon dioxide measurements</p>
Contenu	<p>Nouveauté - Le contenu est technique car il porte sur la méthode d'obtention d'un signal par un instrument de mesure particulier. La coordination du registre graphique et celui en langue naturelle guide la lecture et la sélection des informations par rapport à la question investigatrice.</p> <p>Familiarité - Les notions de physique-chimie présentes dans les médias et à extraire sont abordées dans les séances précédentes de la séquence : spectre d'absorption, détermination d'une concentration d'une espèce par spectroscopie, spectre infrarouge d'une molécule, vibration et rotation des molécules qui interagissent avec le rayonnement absorbé, loi de Beer-Lambert.</p>
Langue L2	<p>Accessibilité - Termes ou phraséologies spécifiques à la physique-chimie déjà rencontrés et dont le trait morphologique est semblable en L1 et L2 : <i>These spectra, The absorption spectrum, permit obtaining a gas concentration, infrared absorption spectroscopy, rotation-vibration spectra, FIGURE Infrared spectrum of carbon dioxide, detector, The amount of absorbed laser energy is related to the molecular concentrations with the Beer-Lambert law.</i></p> <p>Difficulté : gestion de l'inconnu, des termes techniques que les élèves n'ont pas à traduire ; nominalisation.</p>
Intérêt	<p>Equilibre possible entre contenus et langue si l'élève s'appuie sur ses connaissances de physique-chimie, sur son répertoire linguistique et les stratégies de repérage et d'inférence.</p> <p>L'élève est confronté.e à la lecture de textes scientifiques techniques courts (moins de 130 mots) accompagnés par deux figures, spécifiques de l'activité de scientifiques en télédétection et de la littéracie scientifique et coordonnées aux textes d'un point de vue sémiotique. Le caractère expérimental du texte contribue à la mise en œuvre d'une investigation par analogie en classe. L'élève doit mettre rapidement de côté les informations trop techniques, qui portent sur les opérations de mesure en lien avec les caractéristiques de l'instrument et identifier les unités textuelles porteuses de sens pour être efficace dans le processus dialectique média-milieu.</p>

Tableau 34. Critères de sélection (approche intégrée), documents 1 et 2 de l'AE2

	<p align="center">Document 3 Spectrophotometers and Beer-Lambert's law Document 4: Visible absorption spectra of blue compounds ... Document 5: Usual food blue additive</p>
Contenu	<p>Familier car les notions de physique-chimie (l'énoncé de la loi de Beer-Lambert, spectre d'absorption dans l'UV-visible caractéristique d'une espèce chimique, contrôle de qualité pour un additif alimentaire avec la dose journalière maximale recommandée) sont abordées dans le chapitre 8, sont mobilisées lors de la séance qui précède celle de l'AE2, à travers des activités et des exercices, et sont présentées de la même façon qu'en cours.</p>
Langue L2	<p>Accessibilité - Densité de termes spécifiques dont le trait morphologique est semblable en L1 et L2, doc.1 et doc.2 (<i>stellar, occultation, measurement, principle, on board, spectrometer, photometer...</i>) dont de nombreux ont été précédemment étudiés dans l'AD1. De même pour des termes tels que <i>through, to allow...</i></p> <p>Difficulté : le procédé de nominalisation est récurrent (nom du principe de mesure, <i>high resolution temperature profiles, absorption features, calibration-free horizontal transmission spectra...</i>)</p>
Intérêt	<p>Les documents 3, 4 et 5 permettent de réactiver les connaissances des élèves et le vocabulaire spécifique : contenus et langue sont équilibrés et concernent le domaine source.</p>

Tableau 35. Critères de sélection (approche intégrée), documents 1 et 2 de l'AE1

L'ensemble de l'énoncé de l'AE2 est conçu dans le cadre de l'approche intégrée conceptuelle bilingue pour le volet 2 de la séquence (cf. annexe V.1.1, prototype actualisé) : par exemple, pour déconstruire la conception erronée d'une atmosphère qui piège les rayons solaires, l'investigation par analogie et certains médias traitent de l'absorption de rayonnement infrarouge par un gaz à effet de serre. L'AE2 va aussi à l'encontre, dès la présentation du contexte, de la conception erronée selon laquelle la concentration des gaz atmosphériques et l'atmosphère est une couche homogène. De même, elle précise dès le début le rôle des activités humaines (lien avec l'effet de serre naturel et anthropique).

V.3.2. Productions des élèves sur la fiche de préparation de l'AE2

Sur les trente-trois fiches de préparation recueillies, dix-neuf fiches complétées par les élèves pour ce qui concerne le repérage et la reformulation à partir des médias (contexte et documents) sont analysées⁹³. Le traitement de données issues de ce corpus repose sur les unités sémantiques de référence à repérer et à reformuler. L'annexe V.3.2 présente le traitement pour le contexte et les documents 1 et 2.

L'analyse révèle que pour le contexte, les élèves identifient le thème d'étude : la concentration en dioxyde de carbone atmosphérique, gaz à effet de serre, augmente à cause de l'augmentation des émissions par les activités humaines. Leur reformulation est souvent imprécise lorsque l'idée d'augmentation est communiquée sans évoquer la grandeur concentration (par exemple, 3 : « Le CO₂ est un gaz à effet de serre qui ne cesse d'augmenter et accélère le réchauffement climatique). L'élève 11 mentionne que ce gaz « pollue l'air », ce qui est une représentation fréquente où gaz à effet de serre et pollution sont des notions peu maîtrisées (cf. annexe du chapitre II.2.4, Rapport au réchauffement climatique : public profane, d'apprenant.e.s, d'enseignant.e.s). Les élèves 2 et 15 ciblent des informations plus détaillées en lien avec les sources et puits de carbone, sans doute parce que ce contenu est nouveau et/ou ancré dans la problématique du réchauffement climatique ; donc important à repérer (2 : « causes du réchauffement climatique - absorption des gas dans biosphère + océans - CO₂ + E fossile -> lien). La moitié des élèves évoquent le changement de climat en ces termes ou à l'aide de l'expression changement/réchauffement climatique.

Pour l'exploitation du document 1, le repérage porte de manière systématique sur le caractère technique de l'appareil de mesure (*nanoplus, SFP signal, frequency calibration, lasers, détection*) et la reformulation contient les aspects techniques des mesures effectuées par le spectromètre (15 : « [...] en additionnant 10 spectres pour obtenir la concentration du CO₂ toutes les 0,1s. » ; 21 : [...] un laser

⁹³ Les fiches des élèves 20, 30, 35 sont identiques à celle de l'élève 18 plus complète et ne sont pas traitées.

se reflète dans un miroir puis percute les particules avant de se diviser »). Des élèves comme l'élève 9 semblent exploiter les figures pour repérer la phraséologie spécifique (9 : *transmitted radiation* et *recorded spectra*). Au lieu d'employer le terme « concentration », des élèves (17 ; 12) recourent au « taux du gaz », à la « quantité de gaz » voire à sa « qualité ». La distinction entre détection/identification du gaz et son dosage est peu fréquente dans les reformulations des élèves. La trace du repérage de la phraséologie « *obtaining a gaz concentration* » est présente dans les reformulations des élèves dont l'équivalent en français proposé est « obtenir la concentration » plutôt que « déterminer la concentration », plus usuel en chimie.

Le repérage du document 2 s'appuie également sur l'aspect technique du principe de mesure présenté dans le média et les élèves s'attachent à évoquer la planète Mars ou son atmosphère lors de la reformulation de l'idée principale du document (8 occurrences pour les 19 fiches traitées) ; par exemple, 6 : « Le calibrage spectroscopique de laboratoire permet de déterminer les gaz dans "middle atmosphere" dans cadre de recherche atmosphère de Mars. » Une tendance générale d'exploitation de ce média est un repérage ciblé sur l'utilisation de la spectroscopie infrarouge et de la loi de Beer-Lambert mais une reformulation appauvrie, ce qui est illustré par le cas de l'élève 9 qui extrait les termes et la phraséologie spécifiques de manière pertinente par rapport au message à retenir du document mais qui propose une « reformulation » sans rédiger :

9 : « infrared spectrometers infrared absorption rotation-vibration spectra Beer-Lambert law concentration de gaz atmosphérique => doser ; fonctionnement du spectromètre infrarouge) ».

Lors du traitement du document 2, la mobilisation des savoirs enseignés au cours des séances précédentes à propos des spectres et de l'interaction entre molécule et rayonnement aurait pu guider la reformulation des élèves. L'élève 15 donne un équivalent de l'unité sémantique repérée *The use of infrared absorption spectroscopy to measure gas concentrations requires a proper knowledge of the rotation-vibration spectra of the targeted molecules*:

15 : « La spectroscopie mesure la concentration en gaz grâce à des vibrations rotatives ».

Les notions de spectre infrarouge et de mouvement de rotation-vibration d'une molécule corrélé à l'absorption de rayonnement électromagnétique dans ce domaine spectral ne sont pas décelables et ne sont pas exprimées avec la phraséologie spécialisée usuelle et étudiée en classe. La proposition de l'élève 4 est en revanche plus juste (4 : « Les ondes infrarouges peuvent être utilisées pour mesurer la concentration de gaz de l'atmosphère terrestre ou martienne ») même si la notion d'absorption de rayonnement est absente.

Ainsi, les unités sémantiques de référence à reformuler à travers l'exploitation du contexte, du document 1 et du document 2 de l'AE2 (cf. annexe V.3.2) le sont pour un taux plus élevé d'élèves qui y ont recours, par rapport à l'AE1 avec le même type de médias : « Les scientifiques utilisent des spectres d'absorption/de transmission (8 fois), dans le domaine de l'infrarouge (9 fois), détectent le CO₂ dans l'atmosphère terrestre (9 fois) et déterminent la concentration de CO₂ atmosphérique (15 fois) ».

Le document 3 qui vise à rappeler la relation entre l'absorbance d'une espèce et sa concentration pour un domaine d'application où la Loi de Beer-Lambert s'applique est exploité par la presque totalité des élèves par un repérage et une reformulation autour du terme « absorbance » : « déterminer, mesurer, trouver, obtenir » l'absorbance apparaissent dans 15 propositions sur les 19 recueillies. Par contre, neuf élèves précisent qu'il s'agit de l'absorbance d'une substance, d'un soluté ou d'une solution, cinq ne précisent rien et une élève attribue l'absorbance aux « rayons émis par la substance ». La conceptualisation de la notion de grandeur en physique-chimie est un enjeu de l'apprentissage. Le discours écrit de l'élève 34 reflète cette difficulté d'apprentissage par les combinaisons variées du terme « absorbance » :

34 : « On réalise une spectroscopie pour obtenir l'absorbance donc la concentration de la substance étudiée. Le spectrophotomètre UV-visible permet de déterminer l'absorbance de la cuve contenant une solution colorée et le photomètre permet de connaître l'intensité des rayons transmis. Avec la loi de Beer-Lambert, on calcule l'absorbance ».

De même l'expression de la notion de dosage par étalonnage est approximative : les deux grandeurs à prendre en compte sont l'absorbance et la concentration de la substance mais quelques élèves ne le mentionnent pas ou se trompent de grandeurs d'étude, par exemple :

18 : « [...] obtenir l'absorbance d'une substance par une série de lambda. Absorbance proportionnel à la concentration ».

32 : « La spectroscopie est utilisé pour obtenir les absorbances des substances avec une série de longueur d'onde ».

La proposition de l'élève 13 est concise mais reste pertinente : « mesurer l'absorbance avec un spectrophotomètre et utiliser la relation $A = k.c$ pour la concentration ». Pour le document 4 qui se caractérise par le registre graphique, le repérage porte majoritairement sur les mots du titre ou la citation entière du titre. Le repérage et la reformulation de l'ensemble des productions évoquent le spectre d'absorption, voire le domaine du visible. L'idée d'utiliser ces spectres d'absorption pour caractériser une espèce chimique n'apparaît pas. L'élève 3 évoque la détermination des couleurs.

L'analyse des écrits des élèves sur la fiche de préparation de l'AE2 conduit à des conclusions similaires à celle pour l'AE1 : repérage et reformulation sont mis en relation de manière partielle et cette

stratégie d'exploitation des médias semble être automatisée chez quelques élèves dont l'engagement cognitif est perceptible par le développement des propositions. Le format de la fiche où les élèves doivent compléter des cases exerce peut-être une influence sur l'absence de phrases dans les reformulations de beaucoup d'élèves. L'accès au sens est donc plus délicat pour évaluer leur appropriation des contenus. Comme pour l'AE1, ces tâches de repérage et de reformulation montrent que la manière d'exprimer une notion de physique-chimie pour faire sens est caractéristique de l'approche intégrée conceptuelle bilingue. Elles permettent d'accéder à la façon de conceptualiser un objet de physique ou de chimie à travers la langue du domaine de spécialité. Faire prendre conscience aux élèves de l'importance du choix des termes spécialisés et de la manière de les combiner les uns avec les autres pour nommer, décrire, expliquer un fait de physique les aiderait à préciser leur pensée et à structurer leurs savoirs.

V.3.3. Énoncés-cible des élèves, AE2

L'activité expérimentale AE2 a lieu en séance 6. Les pages restantes de l'énoncé sont distribuées et comme pour l'AE1, des échanges au sein de la classe sont guidés par l'enseignant pour que les élèves rappellent les idées générales du contexte et des documents. Ensuite, les élèves effectuent le travail demandé à la partie 1 (tableau à compléter par analogie) pendant quelques minutes et la correction est entreprise par l'enseignant qui veille à la gestion du temps. Les élèves réalisent alors en binômes les tâches de la partie 2 : au bout d'environ une heure quinze consacrée à cette partie, les élèves ont mis en œuvre les deux protocoles, ont exploité leurs mesures pour communiquer sur la feuille polycopiée les résultats obtenus et ont rangé le matériel. Il leur reste quinze minutes pour réaliser la dernière partie avec la question 9. Avant que les élèves commencent à effectuer la tâche, l'enseignant synthétise très brièvement la démarche qui a été mise en place par les élèves en deux étapes : détection par analyse spectrale dans l'UV-visible et utilisation d'une courbe d'étalonnage pour déterminer la concentration de l'espèce colorée.

Treize énoncés-cible sont produits par les élèves : leur transcription à l'identique et leur traitement en unités sémantiques de référence constituent l'annexe V.3.3 ; l'énoncé-cible de référence vise à expliquer comment les scientifiques identifient le dioxyde de carbone dans l'atmosphère et comment il.elle.s mesurent sa concentration pour en connaître son évolution. Les contenus indiquent que le résumé présenté par l'enseignant a très probablement eu une influence sur les productions des élèves qui ont fait le travail car leur énoncé est souvent structuré en deux idées (identification et dosage du dioxyde de carbone).

Unités sémantiques attendues dans l'énoncé-cible	Fréquence pour N=13
Spectres d'absorption	4
Dans le domaine de l'infrarouge	3
Détectent le CO ₂ dans l'atmosphère	4
Déterminent la concentration en CO ₂	5
Dosage par spectroscopie infrarouge d'absorption	3
En exploitant la loi de Beer-Lambert	2
Relation entre absorbance et concentration de CO ₂	1
Courbe d'étalonnage	5
Valeurs connues de concentration en CO ₂	6

Tableau 36. Grille d'analyse des énoncés-cible des élèves en binôme, pour la question 9 de l'AE2

L'identification du dioxyde de carbone atmosphérique et la détermination de sa concentration sont souvent exprimées avec la terminologie ou la phraséologie spécifique autour de « analyse spectrale », « spectres d'absorption », « spectres infrarouges », « courbe d'étalonnage », « étalonnage » et « déterminer la concentration ». Contrairement aux énoncés de l'AE1 où les élèves explicitent la comparaison entre protocole en classe et protocole par les chercheur.e.s en télédétection, les énoncés-cible expliquent davantage la démarche menée : les notions de physique sont alors mobilisées et contextualisées avec l'activité des chercheur.e.s. Des élèves évoquent des situations expérimentales où il existe des « atmosphères de moins en moins chargées en CO₂ », où est déterminée la « concentration en CO₂ dans la couche d'ozone », où est mesurée « la concentration de diverses molécules de l'atmosphère qui sont connues pour en déterminer d'autres à l'aide de spectres infrarouges et de leurs spectres d'absorption » et où les scientifiques « composent les lambda max obtenues avec d'autres Lambda max pour savoir la composition ». Il est difficile pour l'ensemble des élèves de produire un énoncé cohérent et pertinent d'un point de vue scientifique. Néanmoins, les énoncés comportent des unités sémantiques semblables à celles que les élèves ont pu repérer et reformuler via la fiche d'exploitation. Par conséquent, la praxéologie intégrée disciplinaire de référence paraît plus accessible dans le cas de l'AE2 que de l'AE1.

Ceci peut s'interpréter en invoquant la sélection des médias pour lesquels les textes techniques à lire en anglais sont plus courts que ceux de l'AE1 et qui véhiculent des contenus plus proches des savoirs enseignés en cours de physique-chimie : l'analogie semble avoir été davantage à la portée des élèves en regard des analyses des énoncés-cible pour l'AE1 et l'AE2.

Synthèse du V.3. Volet 2 de la séquence : critère de concentration en dioxyde de carbone atmosphérique

Le deuxième critère de la dimension du //réchauffement climatique// est appréhendé dans la séquence à travers la conception de la fiche de préparation de l'activité expérimentale AE2 et de son énoncé : le thème d'étude de l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère développe les concepts de physique-chimie dans le domaine de la spectroscopie pour identifier une espèce chimique et déterminer sa concentration par dosage par étalonnage. L'investigation par analogie menée par les élèves repose, comme pour l'AE1, sur l'exploitation des médias en anglais qui traitent du domaine source et du domaine cible et sur la dialectique média-milieu pour que la mise en œuvre d'une succession de tâches (dont la réalisation de protocoles expérimentaux) conduise les élèves à expliquer comment les scientifiques identifient le dioxyde de carbone dans l'atmosphère terrestre et comment il.elle.s mesurent sa concentration atmosphérique pour en connaître son évolution. L'analyse des productions des élèves issues du repérage et de la reformulation pour chaque média de l'AE2 et du type de tâche de référence montre que les élèves parviennent plus facilement à employer la terminologie et la phraséologie spécifiques à la physique-chimie, pour le domaine d'étude concerné, comparativement aux résultats obtenus pour l'AE1. Les difficultés à exprimer rigoureusement à travers la langue française les concepts mis en jeu et à restituer, par un discours à caractère explicatif à l'écrit, la démarche expérimentale construite sur ces concepts, sont perceptibles.

Les deux séances d'une heure qui suivent la séance de TP autour de l'AE2 (séances 7 et 8) permettent à l'enseignant complice de mener la correction des différents exercices et activités réalisés dans le cadre du chapitre 8 sur la spectroscopie (et en particulier de corriger l'AE2) ainsi que de poursuivre avec le chapitre 9 « Transferts thermiques : système Terre-Atmosphère ». L'énoncé de la deuxième activité documentaire AD2 est distribué à la fin de la séance 8 ; les élèves la réalisent hors du temps scolaire, « en devoir à la maison ». Les travaux des élèves sont recueillis à la séance 9.

V.4. Volet 3 de la séquence : critère de bilan radiatif

V.4.1. Emission de rayonnement par un corps à une température donnée, AD2

V.4.1.1. Conception de l'énoncé de l'AD2

L'énoncé de la deuxième activité documentaire (*Temperature and emission of radiation*) est composé de trois sections : le contexte, les documents (cf. annexe V.4.1.1) et le travail à réaliser. Il est conçu sur le même principe et avec les mêmes objectifs que l'énoncé de l'AD1 compte-tenu de l'approche intégrée conceptuelle bilingue visée. Ainsi, les élèves sont invités à construire leur lexique (consigne 1),

à répondre à trois questions préliminaires (2.1, 2.2 et 2.3)⁹⁴ puis à reformuler la question investigatrice du contexte (3.1 - *How to explain that the Earth's surface converts incident solar energy into emitted energy as infrared radiation ?*) et à y répondre (3.2).

Le contexte est présenté en français en raison de la densité des contenus relatifs au thème d'étude et de la technicité des propos (extrait du rapport scientifique 2013 du GIEC) : il vise aussi à fournir le vocabulaire spécialisé à l'élève pour donner du sens à la question investigatrice, à la reformuler et à y répondre. D'ailleurs la terminologie spécifique (énergie, rayonnement) et les expressions idiomatiques de spécialité (énergie solaire incidente, température moyenne à la surface) qui constituent un enjeu de l'activité apparaissent en gras.

Trois documents sont proposés dans l'énoncé ajusté par rapport à celui qui a été présenté aux élèves lors de l'année N. La sélection du premier document (*Document 1 : Radiation and temperature*) repose sur les critères décrits au chapitre IV.2.4. L'aménagement consiste à conserver uniquement le registre en langue naturelle anglaise et à adjoindre deux autres médias : un document (*Document 2 : Un corps noir*) qui définit en français, en une phrase, ce qu'est un corps noir et un document (*Document 3 : Spectra of blackbody radiation versus wavelength for different temperatures*) où sont représentés des spectres d'émission de rayonnement d'un corps noir accompagné d'un commentaire « descriptif ». La coordination des registres au cœur de la réflexion pour actualiser l'AD2 est envisagée comme une stratégie indispensable à la mise en œuvre de la dialectique média-milieu pour que l'élève réussisse les tâches. La praxéologie de référence pour le type de tâche qui consiste à expliquer comment la surface terrestre convertit l'énergie solaire incidente en une énergie émise sous forme de rayonnement infrarouge, met en jeu la même technique de référence que pour l'AD1 (Repérer les unités sémantiques et les termes spécifiques dans les médias pertinents puis reformuler de l'anglais au français les unités sémantiques et les termes repérés pour répondre à l'une des questions préliminaires et à la question investigatrice). Le discours reformulé doit contenir des unités sémantiques qui expliquent le phénomène d'absorption et d'émission de rayonnement par la surface terrestre, au niveau macroscopique (absorption ; changement du type de rayonnement, solaire en infrarouge – contexte ; émission de rayonnement par un corps noir de température supérieure à zéro Kelvin – documents 1 et 2 ; émission de rayonnement dans le domaine de l'infrarouge car la température de la surface terrestre est d'environ 15°C – contexte et document 3) et au niveau

⁹⁴ Questions préliminaires de l'AD2 : « 2.1. D'après les documents, à quelle condition un objet ou corps peut-il émettre de l'énergie ? Justifier en citant des informations extraites du ou des documents. 2.2. Quel est le mode de transfert de cette énergie émise par un corps ? Justifier en citant des informations extraites du ou des documents. 2.3. La température moyenne à la surface du globe étant proche de 15 °C, qu'en déduire sur le rayonnement émis par la surface terrestre ? Justifier en citant des informations extraites des documents. »

microscopique (les mouvements de vibration et rotation des électrons, atomes, molécules leur confèrent la qualité de sources de rayonnement – document 1). La théorie de référence est constituée des connaissances de physique-chimie sur le rayonnement et les spectres (en particulier issues des chapitres et des activités étudiées lors de la séquence), des connaissances des registres sémiotiques employés (spectres d'émission et textes) et du lexique spécialisé (termes et phraséologie) en L1 et L2.

V.4.1.2. *Énoncés-cible, AD2*

Quatorze travaux sont recueillis (beaucoup d'élèves n'ont pas réalisé l'activité) ; l'analyse porte sur la reformulation de la question investigatrice et la réponse apportée (énoncé-cible). Les douze productions des élèves analysées (deux cas de productions identiques ne sont pas traités) sont transcrites dans l'annexe V.4.1.2.

Neuf reformulations des questions investigatrices de l'anglais au français sont recevables sur les douze proposées (3 ; 24 ; 4 ; 8 ; 10 ; 14 ; 15 ; 31 ; 33) même si l'élève 33 utilise le terme de rayons infrarouges. L'élève 4 utilise le verbe transforme au lieu de convertit. Le procédé de nominalisation omniprésent dans la question en anglais présente un intérêt pour évaluer comment les élèves procèdent à la recherche d'équivalent : le passage le plus délicat pour produire le message d'arrivée concerne l'unité sémantique « *emitted energy as infrared radiation* / énergie émise sous forme de rayonnement infrarouge » : elle est présente dans le contexte de l'AD2 et est repérée par la majorité des élèves. L'élève 23 ne la traite pas, l'élève 12 passe sous silence le terme équivalent à *emitted* et l'élève 8 emploie l'expression « en émissions d'énergie en rayonnement infrarouge ». L'automatisation de la technique de reformulation lors des activités construites sur l'approche conceptuelle bilingue peut avoir fait ses preuves mais les élèves peuvent aussi avoir disposé d'un traducteur en ligne (ou de toute autre ressource) puisque l'AD2 est réalisée hors du temps scolaire. Il se peut aussi que la présence du contexte en français qui fournit la phraséologie à utiliser dans la question reformulée et le fait que la question en anglais soit posée juste après le contexte induisent une proposition correcte des élèves.

Pour les énoncés-cible de l'AD2, aucun ne totalise les unités sémantiques attendues (situation identique aux autres AD et AE). Les élèves 23, 24, 34 et 15 parviennent à évoquer l'absorption de rayonnement solaire par la surface terrestre et l'émission de rayonnement infrarouge. L'échelle microscopique n'est abordée que dans l'énoncé-cible de l'élève 4. Le repérage effectué par les élèves 34 et 15 est probant car le transcodage de l'anglais au français ou la citation intralangue les conduit à

employer des structures syntaxiques semblables à l'énoncé-source provenant des différents médias (contexte et documents)⁹⁵ :

34 : « Un objet qui a une certaine température peut émettre de l'énergie. L'énergie est transmise en onde, elle peut être absorbée, émise et reflétée. La surface terrestre absorbe l'énergie solaire mais une autre partie est reflétée dans l'espace. L'énergie solaire absorbée par la surface de la Terre est transformée en chaleur et est émise sous la forme d'un rayonnement infrarouge ».

15 : « Un objet ayant une certaine température peut réfléchir, émettre ou absorber de l'énergie. Or la surface de la Terre a une température de 15°C permettant l'absorption, l'émission et la réflexion des rayons solaires. On sait que la température de 15°C permet un flux d'énergie se situant dans la bande infrarouge. L'énergie solaire est alors transformée en chaleur sensible, en chaleur latente, en énergie potentielle et en énergie cinétique avant d'être émise par infrarouge ».

L'élève 34 raisonne avec le terme « reflétée » au lieu de « réfléchi » et semble juxtaposer les unités sémantiques transcodées ou citées, alors que l'élève 15 emploie des connecteurs logiques (or, alors) ce qui confère à sa réponse une valeur explicative. La présence de tels marqueurs de discours est décelable dans les énoncés-cible des élèves 4 et 24 :

4 : « La surface de la Terre absorbe l'énergie lumineuse transmise par le soleil, ce qui augmente la température ce qui fait vibrer ses électrons et provoque l'émission d'un rayonnement IR ».

24 : « L'énergie solaire incidente est absorbé par le sol qui a une température ambiante de 15°C, or pour cette température les rayonnements émis sont dans le domaine de l'infrarouge. Ainsi l'énergie solaire incidente est convertie en infrarouge ».

Une relation logique, de causalité est établie entre les unités sémantiques par l'emploi de « ce qui, or, ainsi » ; l'élève 23 induit aussi une relation de temporalité (« puis ») en plus de la relation de causalité (« due au ») :

23 : « Cette conversion est due au rayonnement infrarouge de la surface terrestre (~15°C) qui absorbe l'énergie solaire incidente et la convertit puis l'émet en rayonnement infrarouge ».

Cette réflexion sur l'usage de connecteurs est explicitée par Viennot (2006[1996], p.122-123) qui attribue différents « statuts » à ce type de marqueurs (statut logique pour « donc », intermédiaire pour « alors » et chronologique pour « ensuite ») et qui précise : « Le temps imprègne les formulations explicatives communes. ». La structure cohérente des productions 4 et 24 et la pertinence des unités

⁹⁵ Par exemple, le repérage proviendrait du document 1 (« Unless it has a temperature of absolute zero (273°C) an object reflects, absorbs, and emits energy »), du contexte (« L'énergie [...] est transformée en chaleur sensible, chaleur latente [...] avant d'être émise sous forme de rayonnement infrarouge », « La température [...] étant proche de 15 °C (288 K), le flux principal d'énergie sortant se situe dans la bande infrarouge du spectre. »)...

sémantiques mobilisées en font des énoncés-cible caractéristiques de la praxéologie intégrée disciplinaire de référence.

Les énoncés qui laissent penser que l'approche intégrée conceptuelle bilingue n'a pas été mise en œuvre s'expliquent par différentes raisons. Par exemple, la production de l'élève 31 peut être issue de l'influence de la vidéo introductive de la séquence (« objets nous entourant », « ondes électromagnétiques »). L'élève 33 construit son raisonnement sur la température du Soleil ce qui est un obstacle à la construction d'un énoncé-cible pertinent d'un point de vue des savoirs visés. L'élève 23 formule sa réponse en une seule phrase, ce qui rend difficile la mise en place d'un raisonnement où les unités sémantiques sont articulées. L'élève 12 ne parvient pas à développer son explication qui est fondée exclusivement sur la relation causale entre chaleur, infrarouge et thermique (12 : « L'énergie solaire émet de la chaleur donc des rayonnements infrarouges puisque le rayonnement infrarouge est un rayonnement thermique »). Si les élèves ne sont pas invités à se relire pour exercer une vigilance conceptuelle, l'énoncé-cible comme celui de l'élève 10 n'a pas beaucoup de sens : l'élève 10 formule qu'une énergie est une température et qu'une énergie émet une énergie. Utiliser des connecteurs logiques ne valide pas d'emblée son énoncé-cible :

10 : « La quantité de radiation émise par un objet dépend avant tout de sa température, donc l'énergie solaire étant une température plutôt haute, elle convertit et émet donc une énergie dans le domaine des infrarouges ».

Enfin, la production de l'élève 8, même si elle est incomplète et imprécise, révèle que l'élève met en relation les différents registres sémiotiques et construit son raisonnement à partir de l'unité textuelle sur l'énergie solaire et à partir de la figure du document 3 où les valeurs de longueurs d'onde et de température sont fournies : « L'énergie solaire qui fait chauffer la Terre lui donne une certaine longueur d'onde en fonction de la température, et cette longueur d'onde étant d'environ $10\ \mu\text{m}=10000\text{nm}$; $10000\text{nm}=\text{IR}>\text{lumière visible}$ ».

A travers l'activité documentaire AD2, le processus dialectique média-milieu dans le cadre de l'approche intégrée semble accessible aux élèves pour conceptualiser, à un niveau de formulation à l'échelle macroscopique, l'émission de rayonnement infrarouge par la surface terrestre. La sélection des médias avec divers registres sémiotiques et le choix de les présenter soit en anglais soit en français est peut-être un facteur favorable à la mise en place de cette dialectique et à l'appropriation des contenus de physique-chimie par reformulation transcodique. La conception de l'énoncé de la deuxième activité documentaire fait tendre « la densité des contenus et l'opacité de la langue » vers un équilibre.

Au cours de la séance 9 où les travaux des élèves pour l'AD2 ont été relevés, l'enseignant complice développe les contenus du chapitre 9 (transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques, notion de

système, transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement.) Ceux-ci sont mobilisés à travers l'activité expérimentale AE3 qui traite, par une approche intégrée, des bilans radiatifs dans le cas de la planète Terre, conformément au troisième volet de la séquence centré sur le dernier critère du concept de //réchauffement climatique//.

V.4.2. Bilan d'énergie pour le système Terre-atmosphère, AE3

La troisième activité expérimentale a lieu lors de la séance 10. Elle est proche de celle qui a été co-construite avec l'enseignant complice et mise en œuvre l'année N. Sa particularité est qu'elle est conçue pour une durée d'une heure car elle correspond à ce que l'enseignant complice appelle « le fil rouge » du TP : l'utilisation de maquettes de maison pour étudier l'augmentation de la température de l'air intérieur chauffé par une résistance thermique au cours du temps implique que le chauffage soit déclenché dès le début de la séance de TP. En effet, le régime permanent est atteint lorsque la température de l'air chauffé est constante, au bout d'une durée d'au moins 45 minutes. C'est pourquoi les élèves travaillent la première heure sur une autre activité qui traite du transfert d'énergie par conduction thermique entre deux matériaux de conductivités différentes. Dans le cadre de la recherche menée, deux écueils se présentent. D'une part, peu d'élèves ont rendu leur fiche de préparation et sur les vingt-six fiches recueillies, huit élèves ont fait sérieusement le travail. D'autre part, la modalité d'organisation de la séance a laissé peu de temps aux élèves pour produire leur énoncé-cible : cinq productions sont recueillies. Par conséquent, la conception de l'énoncé de l'AE3, disponible en annexe V.4.2, est présentée dans les grandes lignes de manière à cibler les résultats obtenus à partir du corpus de données très réduit.

Sur le même principe de conception des activités expérimentales AE1 et AE2, l'activité expérimentale AE 3 (*Earth-Atmosphere : energy budget / Terre-Atmosphère : bilan d'énergie*) est construite autour de quatre sections : le contexte, les documents, le matériel et le travail à réaliser. Elle repose sur l'analogie entre transferts thermiques conducto-convectifs dans une maison (domaine source) et transferts thermiques radiatifs pour le système {Terre-Atmosphère} (domaine cible). Le contexte est présenté en français pour introduire la notion de flux radiatif qui n'est pas explicitement un savoir à enseigner au programme de physique-chimie pour la classe de terminale scientifique. Comme pour l'activité documentaire AD2, un extrait du rapport du GIEC est proposé pour permettre aux élèves de s'approprier la phraséologie spécifique *a priori* inconnue des élèves avant de commencer l'activité. La question investigatrice posée est : *How do IPCC scientists use balance energy to explain Global Warming and the rising planet temperature? / Comment les scientifiques du GIEC utilisent-ils l'équilibre énergétique pour expliquer le réchauffement climatique et l'augmentation de la température de la*

planète ? Quatre documents sont proposés aux élèves : deux en anglais traitent du domaine cible et deux en français traitent du domaine source.

Le premier document (*Document 1: Energy balance*) met en jeu la coordination des registres graphique et en langue naturelle anglaise : le texte très court de trois phrases commente le bilan d'énergie schématisé en termes d'unités d'énergie. Pour le schéma, la terminologie spécifique (*reflected, absorbed, emitted*) est censée être connue des élèves. La signification des flèches ondulées sur le schéma est accessible aux élèves grâce à la mise en relation avec le texte : les flèches s'interprètent en termes de rayonnement électromagnétique (*radiation*) qui transfère de l'énergie ou en termes de flux d'énergie (*energy in, energy out*). Le fait que l'AD2 ait permis d'aborder l'émission de rayonnement infrarouge par la surface terrestre peut être mis en relation avec l'exploitation du schéma du document 1 (flux d'énergie sortant de la surface terrestre). Le document 2 est un extrait du rapport de l'IPPC sur la manière d'établir un bilan d'énergie. La version française de cet extrait correspond en partie au contexte de l'AD2 qui a servi au repérage d'unités sémantiques dans la production de l'énoncé-cible. Néanmoins le concept visé est nouveau pour les élèves : les notions de flux d'énergie entrant et sortant (*incoming, outgoing energy, the main outgoing energy flux*), de pertes et de gains d'énergie (*gains of, losses of*) sont *a priori* inconnues des élèves. Le procédé de nominalisation caractéristique de l'anglais scientifique est omniprésent, ce qui complexifie le traitement des informations. Si ce document semble exiger un effort cognitif important de la part de l'élève, sa mise en relation avec le document 1 et ses connaissances de physique-chimie sur les transferts thermiques est un objectif visé (enjeu de l'approche intégrée conceptuelle bilingue).

Le document 3 (Résistance thermique des parois d'une maison) définit les concepts de puissance électrique et de résistance thermique que l'élève doit mobiliser pour raisonner par analogie. Enfin le document 4 (Caractéristiques de différents matériaux utilisés dans l'isolation du bâtiment) composé d'un tableau de données et d'un texte permet à l'élève de s'approprier le concept de conductivité thermique d'un matériau.

L'élève réalise une succession de tâches dans la première partie, comme pour les activités AE2 et AE3. Le guidage de l'enseignant pendant la séance leur permet de les effectuer progressivement et de parvenir à déduire de leur démarche quel est le meilleur isolant thermique parmi les quatre matériaux différents utilisés dans les quatre maquettes de maison. Le tableau fondé sur le raisonnement par analogie de la deuxième partie (consigne 7) est rempli et corrigé en classe. Les deux dernières tâches concernent la reformulation de la question investigatrice et sa réponse. Les productions recueillies sont présentées ci-après :

Reformulation de la question investigatrice et réponse, AE3
<p>3 : <i>Comment les scientifiques de l'IPCC utilisent le transfert thermique pour expliquer le réchauffement climatique et l'augmentation de la température de la planète ?</i></p> <p>Ils se servent d'expériences thermiques pour comprendre les transferts d'énergies dans différents milieux pour expliquer le réchauffement climatique. Ainsi grâce aux mesures ils peuvent observer l'augmentation de la température de la planète et donc expliquer les causes de ce réchauffement.</p>
<p>11 : <i>Comment les chercheurs de l'IPCC utilisent l'équilibre énergétique afin d'expliquer le réchauffement climatique et l'augmentation de la température ?</i></p> <p>En connaissant les énergies reçues, émises et absorbées, les chercheurs de l'IPCC peuvent savoir si la température dans l'atmosphère a augmenté ou baissé.</p>
<p>10 : <i>Comment les scientifiques IPCC utilisent-ils l'équilibre énergétique pour expliquer le réchauffement climatique et la hausse de température de la Terre ?</i></p> <p>S'il y a équilibre des énergies, donc que total energy in=total energy out, ça signifie qu'une augmentation de la température de la terre traduirait</p>
<p>15 : <i>Comment les scientifiques utilisent la balance énergétique pour expliquer le réchauffement climatique et l'augmentation de la température de la planète ?</i></p> <p>Avec l'exemple de la maison, nous avons pu voir qu'il existe une phase de gain et de stockage de l'énergie avant que les échanges thermiques se stabilisent. Il est possible que la Terre soit dans une phase de gain d'énergie. De plus l'activité humaine influe sur cette température.</p>
<p>30 : <i>Comment les scientifiques IPCC utilisent-ils l'équilibre énergétique pour expliquer le réchauffement climatique ?</i></p> <p>Suite aux activités humaines, il a de plus en plus de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ainsi l'atmosphère isole mieux la chaleur émise par la surface terrestre entraînant ainsi une augmentation de la température globale de la Terre.</p>

Tableau 37. Reformulation de la question investigatrice et énoncés-cible pour cinq élèves, AE3

Les reformulations proposées par l'ensemble des élèves, à l'exception de l'élève 30 (qui n'intègre pas l'idée de température dans sa question), reprennent les quatre unités sémantiques de la question en anglais (scientifique, équilibre énergétique, expliquer le réchauffement climatique, augmentation de la température de la Terre). L'intérêt de l'approche intégrée conceptuelle bilingue réside dans le transcodage de l'unité *energy balance*⁹⁶ : l'AE3 précise la différence de signification des termes *balance* et *budget*. Dans les deux cas, la conceptualisation porte sur l'identification des flux d'énergie mis en jeu dans le transfert radiatif. *Balance* cible l'état d'équilibre dynamique du système Terre-atmosphère et *budget* concerne l'établissement d'un bilan d'énergie pour un système à l'état d'équilibre ou non. A part l'élève 3 qui emploie l'équivalent « transfert thermique », les quatre autres élèves utilisent l'équivalent français, acceptable au niveau de la classe de terminale scientifique.

Les énoncés-cible des élèves présentent des caractéristiques communes à ceux des activités AE1 et AE2 : lexique scientifique non spécialisé (3 : « d'expériences thermiques », « grâce aux mesures », « observer »), unités sémantiques transcodées par repérage mais qui ne font pas sens au sein de l'explication (11 : « En connaissant les énergies reçues, émises et absorbées » ; 10 : « équilibre des

⁹⁶ La question du contexte de l'énoncé emploie *balance energy* : en classe l'enseignant précise que l'ordre des mots n'a pas d'importance pour cette expression.

énergies, donc que *total energy in = total energy out* »), mobilisation de connaissances qui ne contribuent pas à expliquer le fait de physique concerné (l'élève 30 utilise l'argument sur la concentration des gaz à effet de serre). Le raisonnement par analogie qui fait partie de la technique de référence pour les AE est décelable dans la réponse des élèves 15 (« avec l'exemple de la maison ») et 30 (« isole »). Les contenus de physique de cette troisième activité expérimentale n'ont pas été enseignés avant sa réalisation, ce qui rend difficile la conceptualisation en termes de bilans radiatifs et d'autant plus par une approche intégrée et pour une séance où deux activités expérimentales distinctes sont proposées aux élèves. De plus, l'analogie effectuée présente des limites dont l'explication ne fait pas partie du programme de physique-chimie de terminale scientifique (les flux radiatifs sont absents des savoirs à enseigner et l'enseignement de la notion de flux thermique a lieu dans une séance postérieure à la séance de l'AE3).

Ce type d'énoncé qui repose sur l'approche intégrée conceptuelle bilingue devrait sans doute être envisagé dans une séance de TP après enseignement complet sur les transferts thermiques et les bilans d'énergie.

Synthèse du V.4. Volet 3 de la séquence : critère de bilan radiatif

Le troisième volet de la séquence cible la dimension du concept de //réchauffement climatique// par le critère de bilan radiatif. L'activité documentaire AD2 a pour objectif la conceptualisation de l'émission de rayonnement infrarouge par la surface terrestre. Elle est conçue d'une manière analogue à l'AD1 pour favoriser la mise en œuvre de l'approche intégrée conceptuelle bilingue par les élèves, à travers la dialectique média-milieu, le repérage et la reformulation. Les énoncés-cible sont produits par les élèves en dehors du temps scolaire, ce qui nuance l'analyse des productions recueillies : les élèves restituent l'idée que la surface terrestre convertit le rayonnement solaire en rayonnement infrarouge. Quelques énoncés-cible permettent d'expliquer ce fait de physique au niveau macroscopique, à l'aide d'un raisonnement sur la relation entre température du corps et émission de rayonnement. La coordination des registres et le repérage des unités sémantiques dans les médias sont décelables dans certaines productions. Le contenu de physique de l'AD2 peut servir à interpréter le bilan de flux d'énergie pour la surface terrestre qui est schématisé dans le document de l'AE3. La mise en œuvre de cette activité expérimentale est fastidieuse pour des raisons liées aux modalités d'organisation de la séance de TP pour laquelle les contraintes de matériel (maquettes de maison) obligent l'enseignant complice à faire mener de front aux élèves deux activités différentes. Le corpus s'en trouve réduit à cinq énoncés-cible. Les résultats obtenus corroborent, malgré tout, les conclusions formulées à partir des analyses des énoncés-cible des autres activités expérimentales AE1 et AE2.

V.5. L'état des possibles

V.5.1. Co-construction d'une séquence intégrée conceptuelle bilingue en trois volets

Le travail collaboratif avec l'enseignant complice est mené une deuxième fois avec la mise en œuvre de la séquence aménagée, conformément au modèle épistémologique de référence. Dans une démarche de faisabilité :

« Nous dirons plutôt que, sans exclure l'émergence du neuf par la créativité pédagogique, on peut raisonnablement prétendre avoir fait, à un moment donné, dans un contexte donné, le tour d'horizon essentiel des possibles et des impossibles. » (Astolfi, 1993, p.9)

Grâce à la recherche-action collaborative, « les impossibles » de l'année N sont traités comme des « problèmes à résoudre ». Des « moyens d'anticiper les productions possibles » (*ibid.*) sont mis en place l'année suivante autour des mêmes question et hypothèse de recherche. Chercher à savoir comment la langue anglaise et les contenus de physique-chimie peuvent jouer de concert au cours d'une séquence qui vise les mécanismes physiques du réchauffement climatique a conduit à ajuster le prototype de séquence toujours structuré en trois volets.

La mise à l'épreuve de l'hypothèse permet de conclure à la pertinence de l'enchaînement des savoirs à enseigner au programme de physique-chimie de la classe de terminale scientifique en cours standard, selon les trois critères de la dimension du //réchauffement climatique//. Commencer par traiter le rayonnement électromagnétique en tant qu'onde permet de cibler l'approche du phénomène d'un point de vue de la physique radiative et d'étudier les phénomènes d'interaction entre le rayonnement et l'atmosphère. L'enseignant complice aménage son cours et intègre la terminologie spécifique en anglais pour affirmer l'approche intégrée conceptuelle bilingue. Recourir à la vidéo en anglais sur le spectre électromagnétique et les sources de rayonnement nécessite de sélectionner les extraits visionnés pour permettre à l'élève de repérer et traiter les unités sémantiques adéquates. L'expertise exercée par l'enseignant.e sur ce choix de contenu est primordiale, de même que l'anticipation des modalités du visionnage. Les sous-titres intralignes permettent aux élèves de s'affranchir des difficultés liées à la compréhension audio-visuelle en langue mais les arrêts sur images se réfléchissent en lien avec le découpage en unités sémantiques pour éviter aux élèves de recopier ou traduire mot à mot toutes les informations du média. Les contenus des activités documentaire AD1 et expérimentale AE1 au sein du premier volet de la séance préparent les élèves à travailler le domaine de la spectroscopie (et de la détection de rayonnement) pour appréhender le rôle du dioxyde de carbone atmosphérique et de l'augmentation de sa concentration dans le réchauffement climatique au cours de l'AE2, ce qui constitue le deuxième critère du //réchauffement climatique//. Enfin, les savoirs à enseigner au programme de physique-chimie relatifs aux transferts et bilans d'énergie, plus

exigeants d'un point de vue cognitif, viennent en fin de séquence avec le dernier volet conçu sur le critère de bilan radiatif du //réchauffement climatique//. Ils sont mis en relation avec les phénomènes d'interaction rayonnement-matière étudiés grâce aux deux premiers volets de la séquence. Les analogies effectuées au cours des activités expérimentales révèlent que le troisième volet semble plus artificiel par rapport aux notions à enseigner au programme (flux et bilan radiatifs ne font pas partie du programme à la différence du flux thermique). Actuellement, le bilan d'énergie pour le système Terre-Atmosphère est explicitement indiqué comme contenu au programme d'enseignement de spécialité physique-chimie pour la classe de terminale (bulletin officiel spécial n°8 du 25 juillet 2019).

Alors que l'enseignant complice mentionne plusieurs fois au cours des modules de co-construction (cf. chapitre IV) qu'il n'est pas à l'aise avec cette partie du programme, lors de la deuxième expérimentation et ce, malgré les aménagements des activités proposées et une temporalité différente de l'année précédente, il réutilise les cours de l'année N et déroule la séquence à son aise par une approche intégrée. La recherche-action collaborative et le processus itératif éprouvé sur les deux années contribuent à développer aussi bien les savoirs d'action que les savoirs savants. Intégrer l'anglais en cours standard de physique-chimie exige un temps de préparation conséquent mais le travail entrepris permet à l'enseignant complice d'ancrer une pratique intégrée dans l'exercice de son métier de l'année N à l'année N+1.

V.5.2. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence et explication d'un fait de physique

Dans cette recherche, l'évaluation de la prédictibilité praxéologique (hypothèse de recherche) s'est effectuée par la constitution de différents types de corpus de données qui dépendent de la nature de l'activité proposée à l'élève. Les outils méthodologiques ont été élaborés en tenant compte de l'ancrage de l'étude sur le terrain : la fiche d'exploitation de la vidéo, la fiche de préparation de l'activité expérimentale et l'énoncé d'activité documentaire se sont révélés être un moyen efficace pour recueillir les traces de la technique de référence de repérage et de reformulation effectuée par l'élève. Il a néanmoins été montré que la réalisation de l'exploitation des médias en dehors du temps scolaire a une influence sur les productions des élèves. Faire découvrir les médias aux élèves pendant la séance nécessite d'y consacrer du temps et de prendre en compte le souci de gestion de ce temps, fréquent pour un.e enseignant.e, en particulier pour les activités expérimentales. De plus, comme il l'a été mentionné, le format de la fiche avec des encadrés a peut-être exercé une influence sur l'absence de rédaction pour plusieurs élèves.

La praxéologie de référence qui implique que l'élève produise un énoncé-cible a révélé que la production d'écrit en français peut le/la mettre en difficulté. Dès l'analyse des premières productions en début de séquence et jusqu'aux dernières recueillies en fin de séquence, le recours à la phraséologie

spécifique pour exprimer une notion de physique-chimie n'a pas été systématique. Un enjeu remarquable de l'approche intégrée conceptuelle bilingue semble résider dans ce travail d'expression des notions à travers la langue. En effet, cet enjeu s'est concrétisé à travers les différences analysées des productions d'élèves qui emploient un « lexique non terminologique » appliqué en sciences (Rinck, 2003, p.438) où les mots comme mesures, données, résultats sont souvent employés. Les élèves ne parviennent pas aisément à expliquer un fait de physique en articulant les unités sémantiques adéquates pour mobiliser les concepts disciplinaires visés. Les entraîner à reconnaître et réinvestir la phraséologie spécifique en anglais comme en français apparaît alors comme une piste pour développer leur appropriation d'un concept. Rinck (*ibid.*) précise cette idée « dans une perspective didactique » :

« Les patrons lexicaux fondés sur des associations privilégiées de termes (ou collocations) trouvent ainsi leur place, comme faire une hypothèse ou on peut supposer que (Drouin, 2007 ; Gledhill, 2000 ; Tutin 2007 ; Williams, 1999). Le lexique est donc traité plus largement à travers une approche phraséologique (Pecman, 2004 ; Howarth, 1996) qui montre l'importance des mots grammaticaux dans l'analyse lexicale. Les entrées sémasiologiques, par les formes, et onomasiologique, par contenus notionnels ou fonctions rhétoriques, sont jugées complémentaires dans une perspective didactique. » (Rinck, 2003, p.438)

La conception des énoncés et des fiches de la séquence, en termes de tâches liées à la mise en place de la technique de référence a pour but de favoriser ce travail de mobilisation voire de construction de connaissances (cf. chapitre I.3.1, Beacco et al., 2016, p.20). Les différentes analyses des productions des élèves par cette entrée terminologique et phraséologique du spécialisé ont ainsi permis de mettre en évidence certaines des difficultés conceptuelles en fonction du domaine d'étude concerné : par exemple, comme l'ont repéré Ekborg et Areskoug dans leur recherche (2006), les termes de « rayons », « rayonnement », « lumière » et « chaleur » peuvent être utilisés sans distinction réfléchie par les élèves. Ce cas rappelle pourquoi lors des analyses, l'expression « vigilance conceptuelle » a pu être employée.

Les résultats issus de cette recherche autour du processus dialectique média-milieu font également émerger une réflexion sur la distinction entre information et donnée informationnelle⁹⁷ : l'information dépend du sujet et de son projet (une information pour une personne n'en est pas une pour une autre) alors que la donnée informationnelle est accessible pour tout le monde. Le terme « informations » utilisé au cours de ce travail de recherche mériterait d'être remplacé par celui de données informationnelles. Lors des analyses sur le repérage opéré par les élèves, il a d'ailleurs été observé que les unités sémantiques relevées ne sont pas toujours pertinentes : l'élève ne parvient pas à

⁹⁷ Réseau Canopé 2008-2017 ; <https://www.reseau-canope.fr/savoirscdi/chercher/dictionnaire-des-concepts-info-documentaires/i/information.html>

sélectionner la donnée du média en fonction de la tâche à effectuer. Toute la réflexion autour de la dialectique média-milieu conforte l'idée précisée au chapitre II sur le fait que l'approche intégrée conceptuelle bilingue a enrichi l'anglais des sciences et le français des sciences de l'élève : savoirs langagiers, disciplinaires, scientifiques, experts sont bien des aspects différents que peut prendre le savoir disponible. A ce titre, lorsqu'il analyse des descripteurs du Cadre européen commun de référence pour les langues au sujet des compétences en réception en langue étrangère, Puren (2017) indique

« qu'il existe un niveau de compétence langagière à partir duquel on comprend plus facilement les interventions qui concernent son domaine de spécialité, que celles qui portent sur des domaines inconnus. »

Développer conjointement des habiletés en langue et dans la discipline est un atout pour préciser ses connaissances : le type de tâche où l'élève explique un fait de physique devrait contribuer à le rendre plus à l'aise pour « lever les implicites en physique » (Viennot, 1982) d'autant plus lorsque la production d'énoncé-cible est issue de médias authentiques à caractère vulgarisé, puisque l'étude menée a montré que le discours véhiculé dans le média est un facteur d'influence sur les productions des élèves.

Lors de la séquence, les élèves ont mis plusieurs fois en œuvre l'approche intégrée conceptuelle bilingue. Il aurait été intéressant de mettre en place un suivi longitudinal de l'élève pour estimer l'évolution de ces aptitudes et stratégies au cours de l'exploitation des médias par la dialectique média-milieu. Interroger ce que signifie comprendre un texte en termes de « rapport entre le contenu cognitif et la base de connaissances du lecteur » (Duval, 2007, p.349) a déjà été initié d'un point de vue de la recherche lors de la sélection des médias présentée à plusieurs reprises en termes de contenus, langue L2 et intérêt pour la séquence. L'approche intégrée conceptuelle bilingue pourrait alors s'inscrire dans les recherches autour de la littéracie scientifique. Dans leur article sur la lecture et la compréhension de textes scientifiques par des élèves de CM2, Marin et al. (2007) rappellent les sources possibles de difficultés à lire un texte scientifique à caractère descriptif ou explicatif :

« Mais alors que l'univers référentiel du texte narratif mobilise surtout des inférences d'intentionnalité qui réactualisent des structures de connaissances constituées principalement d'actions et d'événements de la vie quotidienne ou s'y rapportant, les textes scientifiques évoquent des univers peu familiers aux lecteurs. Lors de la lecture de textes scientifiques sont requis des types d'inférences renvoyant principalement à la causalité du monde physique, plus complexe à traiter que la causalité intentionnelle (Denhière & Baudet, 1992 ; Legros et al., 1998). » (Marin et al., 2007, p.120)

La notion d'inférence élaborative (relative aux connaissances du/de la lecteur.trice) et de liaison (propre au texte lu) issue des recherches sur la compréhension de textes scientifiques (*ibid.*, p.121)

pourrait enrichir la réflexion sur l'approche intégrée conceptuelle bilingue et la praxéologie intégrée disciplinaire de référence.

Synthèse du chapitre V. Approche intégrée conceptuelle bilingue des mécanismes de l'effet de serre et du réchauffement climatique

Le chapitre V développe le protocole ajusté et le prototype de la séquence actualisé suite à la première mise en œuvre de la séquence co-construite par l'enseignant complice (V.1). La structure en trois volets de la séquence est conservée pour que la dimension du //réchauffement climatique// soit appréhendée à travers les trois critères définis dans le modèle épistémologique de référence. Le protocole de recherche se déroule également en deux étapes. Les énoncés d'activités documentaires (AD1, AD2) sont aménagés pour mieux cibler la technique de référence que l'élève met en œuvre au cours de l'exploitation des médias. Le support vidéo (V1) est introduit au début de la séquence et une fiche d'exploitation est conçue pour recueillir les productions des élèves avec le même objectif. Pour les activités expérimentales (AE1, AE2, AE3), une fiche de préparation est communiquée aux élèves qui la remplissent en amont à partir des documents de l'énoncé : les productions issues du repérage et de la reformulation sont analysées de même que les énoncés-cible réalisés en réponse à la question investigatrice des AE. Les premières séances de la séquence traitent du critère de globalité du //rc// (V.2) : la vidéo V1 sur le spectre électromagnétique et les sources de rayonnement, l'activité documentaire AD1 sur l'interaction rayonnement-atmosphère et l'activité expérimentale AE1 sur la détection de rayonnement guident la présentation de la recherche en termes de conception d'énoncé et d'analyse de productions d'élèves. C'est ensuite le critère de concentration en dioxyde de carbone atmosphérique qui structure la démarche de recherche (V.3) pour présenter la deuxième activité expérimentale autour de l'identification et du dosage d'une espèce chimique par spectrophotométrie. Enfin, le critère de bilan radiatif du //rc// est analysé (V.4) en termes de savoirs disponibles de l'élève par l'analyse des énoncés-cible de l'AD2 sur l'émission de rayonnement et l'AE3 sur le bilan d'énergie pour le système Terre-Atmosphère. La recherche de régularités et de singularités au niveau des résultats à travers l'ensemble des activités proposées aux élèves et la mise en évidence d'écueils et de difficultés tant au niveau méthodologique qu'au niveau de la conception des activités (V.5) contribuent à explorer ce que permet l'approche intégrée conceptuelle bilingue pour l'enseignement et l'apprentissage de la physique-chimie en classe de terminale.

Conclusion

La recherche-action collaborative avec l'enseignant de physique-chimie complice (Desgagné et al., 2001) d'une classe de terminale scientifique a été présentée dans le cadre d'une démarche de faisabilité (Astolfi, 1993). Elle a permis d'explorer une manière d'intégrer la langue anglaise dans un cours de physique-chimie standard (hors des sections européennes, binationales, internationales) grâce à la mise en œuvre d'une séquence co-construite avec l'enseignant et qui vise l'appropriation de savoirs disciplinaires sur les mécanismes physiques du réchauffement climatique.

Cette exploration a pris forme à partir d'une réflexion étayée par une revue de littérature sur l'enseignement bilingue d'une discipline autre que la langue vivante étrangère et portée par l'idée de définir une approche intégrée d'une langue cible et de contenus spécifiques à une matière (chapitre I), dans le cas de l'anglais et de la physique-chimie. Un modèle épistémologique de référence est alors élaboré. Il est fondé sur l'écologie du concept de réchauffement climatique, la dialectique média-milieu (Chevallard, 1991, 1994, 2007) et la praxéologie de référence. Trois critères (Depecker, 2002) caractérisant la dimension du concept de //réchauffement climatique// a conduit à une ébauche de la séquence construite en trois volets (critère de globalité, de concentration en dioxyde de carbone atmosphérique et de bilan radiatif) et qui met en jeu l'approche intégrée conceptuelle bilingue (chapitre II). Cette ébauche a été proposée à l'enseignant complice après avoir mis en place un travail collaboratif à partir d'observation et d'analyse de deux séances de cours de DNL physique-chimie en anglais qu'il a réalisées en classe de seconde (chapitre III). Des modules de co-construction ont alors contribué, après négociations et partage de cultures de savoir savant et de savoir d'action, à la mise en œuvre de la séquence co-construite (chapitre IV).

Une hypothèse, au sens de prédictibilité praxéologique, a été formulée. Elle repose sur la praxéologie intégrée disciplinaire de référence : HR - Si l'anglais est intégré à des activités documentaires (AD) et expérimentales (AE) proposées à l'élève où des supports d'informations sont exploités pour en extraire des contenus pertinents d'un point de vue de l'investigation à mener (dialectique média-milieu), alors la production de l'élève pour expliquer un fait de physique (type de tâche de référence) sera construite à partir de stratégies de repérage, d'inférence et d'analogie (technique de référence) où les deux langues (reformulation) jouent un rôle dans la mobilisation des concepts de physique-chimie visés (technologie de référence). Le protocole de recherche a consisté à concevoir des énoncés d'activités où l'élève doit recourir à la praxéologie intégrée disciplinaire de référence pour répondre à une question investigatrice par un énoncé-cible. L'analyse de ces productions a permis de déterminer un premier état du possible et d'envisager une deuxième expérimentation.

Ainsi, grâce à un protocole ajusté et un prototype de séquence actualisé, des précisions sur la manière d'intégrer la langue anglaise et les contenus de physique-chimie en cours standard ont été présentées (chapitre V). Une expertise disciplinaire et didactique pour concevoir les énoncés d'activités est nécessaire : la sélection des médias en anglais et la formulation des consignes pour que l'élève réalise des tâches spécifiques de l'approche intégrée conceptuelle bilingue conditionnent la qualité des productions des élèves et l'intérêt de leur faire conceptualiser à travers les deux langues les objets de savoir de la physique-chimie :

« En se plaçant dans un cadre plus large que le cadre strict de la langue — auquel nous reviendrons par la suite — il est possible de penser que toute science est un phénomène du type « traduction ». En effet il s'agit de traduire d'un langage dans un autre. La reformulation est un processus permanent du cerveau humain. L'Homme n'apprend, ne s'exprime, et n'agit que sur la base de quantités innombrables de reformulations successives. Celles-ci lui permettent des approximations successives qui lui permettront à leur tour d'approcher une certaine vérité. C'est une certaine image de « vérité » que donne la science ou le langage scientifique. » (Loffler-Laurian, 1984, p.111)

Quelques-uns des résultats de la recherche menée lors des années N et N+1 ont été présentés, à travers ce prisme de la reformulation et du langage scientifique, de la vigilance conceptuelle et de la littéracie scientifique, à des enseignant.e.s de physique-chimie volontaires, dans le cadre d'un dispositif de formation continue, lors de l'année N+2. Une intervention conjointe avec l'enseignante d'anglais de la classe de terminale scientifique qui a « vécu » la séquence visait à tisser des liens entre les deux disciplines : approche par tâche et perspective actionnelle, stratégies de repérage et d'inférence du sens d'un message en L2, mobilisation de la L1 et de ses connaissances en physique-chimie pour reformuler un énoncé à caractère scientifique véhiculé en L2. Des activités de groupes sur l'exploitation des documents en anglais utilisés au cours de la recherche et l'utilisation des fiches d'exploitation de vidéo ou de préparation des activités expérimentales ont été proposées. Les réponses des participant.e.s au questionnaire-bilan de la formation ont révélé une adéquation des contenus de la formation avec les attentes et besoins formulés par l'ensemble des enseignant.e.s présent.e.s, en particulier celles et ceux qui exercent en section technologique et ont en charge l'enseignement technologique en langue vivante (ETLV). L'approche intégrée conceptuelle bilingue semble y avoir sa place.

Bibliographie

- Acikalin, F. S. (2013). Middle school students' conceptions of environmental issues. *International Journal of New Trends in Arts, Sports & Science Education*, 4(2), 23-27.
- ADEME, Boy, D. et RCB Conseil. (2018). Les représentations sociales de l'effet de serre et du changement climatique, 57 pages.
- ADEME. (2011). La lettre ADEME & vous - *Stratégie & études*, 28, 1-7.
- Aden, J., et Peyrot, M. (2009). Les DNL ou les enjeux d'un Enseignement Transculturel des Disciplines. *Les langues modernes*, 103(3), 17-27.
- Allen, M.R., O.P. Dube, W. Solecki, F. Aragón-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, et K. Zickfeld, (2018). Framing and Context. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Altet, M., Desjardins, J., Étienne, R., Paquay, L., et Perrenoud, P. (2013). *Former des enseignants réflexifs. Obstacles et résistances*. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Andersson, B. et Wallin, A. (2000). Students' understanding of the greenhouse effect, the societal consequences of reducing CO₂ emissions and the problem of ozone layer depletion. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1096-1111.
- Arrhénius, S. (1896). XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(251), 237-276. doi: 10.1080/14786449608620846
- Astolfi, J.-P. (1993). Trois paradigmes pour les recherches en didactique. *Revue française de pédagogie*, (103), 5-18.
- Bachelard, G. (2011) [1938]. La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance. Vrin.
- Bailly, D., Caillot, C., et Ibañez, R. (2008). Support vidéo-didactique et opérations d'apprentissage de langue étrangère (anglais). *Psycholinguistique et didactique des langues étrangères : travaux du GEPED en hommage à Danielle Bailly*, 201-234.
- Ballard, Michel. 2003. *Versus : la version réfléchie, repérages et paramètres*. Paris : Ophrys.
- Bard E. (2004). Neuf clés pour comprendre l'effet de serre. *Les dossiers de la recherche*, 17, 8-13.

- Beacco, J. C. (2007). *L'approche par compétences dans l'enseignement des langues - Ebook : Enseigner à partir du Cadre commun de référence pour les langues* : Didier.
- Beacco, J. C., Fleming, M., Goullier, F., Thürmann, E., et Vollmer, H. (2016). *Les dimensions linguistiques de toutes les matières scolaires : Guide pour l'élaboration des curriculums et pour la formation des enseignants*. Council of Europe.
- Boon, H. (2014). Teachers and the Communication of Climate Change Science: A Critical Partnership in Australia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 1006-1010. doi :10.1016/j.sbspro.2014.01.336
- Boon, H. J. (2010). Climate Change? Who Knows? A Comparison of Secondary Students and Pre-service Teachers. *Australian Journal of Teacher Education*, 35(1), 104-120. doi :10.14221/ajte.2010v35n1.9
- Bord, R. J., Fisher, A., et O'Connor, R. E. (1998). Public perceptions of global warming United States and international perspectives. *Climate Research*, 11(1), 75-84. doi :10.3354/cr011075
- Boughedaoui, M. (1997). Contribution à l'amélioration de la compréhension et de la traduction des adjectifs composés en classe de langue de spécialité. *ASp*, (15-18),1-18, mis en ligne le 06 mars 2013, consulté le 30 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/asp/3383> ;(doi : 10.4000/asp.3383
- Boyes, E., et Stanisstreet, M. (1992). Students' perceptions of global warming. *International Journal of Environmental Studies*, 42(4), 287-300. doi :10.1080/00207239208710804
- Boyes, E., et Stanisstreet, M. (1993). The 'Greenhouse Effect': children's perceptions of causes, consequences and cures. *International Journal of Science Education*, 15(5), 531-552. doi :10.1080/0950069930150507.
- Boyes, E., et Stanisstreet, M. (1994). The ideas of secondary school children concerning ozone layer damage. *Global Environmental Change*, 4(4), 311-324. doi :10.1016/0959-3780(94)90031-0
- Boyes, E., et Stanisstreet, M. (1997a). Children's Models of Understanding of Two Major Global Environmental Issues (Ozone Layer and Greenhouse Effect). *Research in Science & Technological Education*, 15(1), 19-28. doi :10.1080/0263514970150102
- Boyes, E., et Stanisstreet, M. (1997b). The Environmental Impact of Cars: children's ideas and reasoning. *Environmental Education Research*, 3(3), 269-282. doi :10.1080/1350462970030302
- Boyes, E., et Stanisstreet, M. (1998). High School Students' Perceptions of How Major Global Environmental Effects Might Cause Skin Cancer. *The Journal of Environmental Education*, 29(2), 31-36. doi :10.1080/00958969809599110
- Breton, J. L. (2009). Tous professeurs de langue? *Les Langues Modernes*, 103(3), 28-34.
- Bueno Hernández, Y. A. (2012). Teaching Science in English through Cognitive Strategies. *GIST – Education and Learning Research Journal*, (6), 129–146.

- Buffon, G.-L. L. de (1935). Œuvres complètes de Buffon. Tome III. Histoire des minéraux. Époque de la nature. Édition revue par M.-A. Richard. Paris: Pourrat Frères.
- Bybee, R., McCrae, B., & Laurie, R. (2009). PISA 2006: An assessment of scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(8), 865-883.
- Calixto, R. (2018). El cambio climático en las representaciones sociales de los estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 20(1), 122-132. doi : 10.24320/redie.2018.20.1.1443
- Callendar, G. S. (1938). The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 64(275), 223-240. doi :10.1002/qj.49706427503
- Cantero Garcia, V. (2008). El aprovechamiento de la "integrabilidad" en el proceso de transferencias lingüísticas de la L1 a L2 o cómo potenciar la interactividad de las lenguas en los procesos comunicativos del modelo educativo bilingüe. *Didáctica. Lengua y Literatura*, 20, 37-60. <https://revistas.ucm.es/index.php/DIDA/article/view/DIDA0808110037A>
- Casabianca D. de. (2013). « Climats », dans *Dictionnaire Montesquieu* [en ligne], sous la direction de Catherine Volpilhac-Auger, ENS de Lyon, septembre 2013. URL : <http://dictionnaire-montesquieu.ens-lyon.fr/fr/article/1376426390/fr>, consulté le 29 Septembre 2018
- Castela, C. (2008). Travailler avec, travailler sur la notion de praxéologie mathématique pour décrire les besoins d'apprentissage ignorés par les institutions d'enseignement. *Recherches en didactique des mathématiques*, 28(2), 135-182.
- Castela, C. (2017). Démocratie et didactique. Actes du séminaire national de l'ARDM.
- Causa, M. (1996). L'alternance codique dans le discours de l'enseignant. Entre transmission de connaissances et interaction. *Les Carnets du Cediscor. Publication du Centre de recherches sur la didacticité des discours ordinaires*, (4), 111-129. <https://journals.openedition.org/cediscor/404>
- Causa, M. (2009). Enseignement d'une LE et d'une DNL : mettre en place une « compétence discursive » dans la production écrite de niveau avancé. *Synergies Roumanie*, 4, 179-188.
- CCNUCC. (1992). *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*. (Publication FCCC/INFORMAL/84). <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf>
- Chaplier, C. (2013). Des cours de sciences en anglais à l'EMILE : état des lieux, réflexion et recommandations. *Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité - Cahiers de l'APLIUT*, 32(3), 57-79. doi : 10.4000/apliut.3867
- Chaplier, C. (2017). *L'anglais des sciences : un objet didactique hybride*. L'Harmattan.
- Chevallard, Y., & Johsua, M. A. (1991). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage.

- Chevallard, Y. (1994). Les processus de transposition didactique et leur théorisation. *La transposition didactique à l'épreuve*, 135-180.
- Chevallard Y. (1998) Analyse des pratiques enseignantes et didactiques des mathématiques : L'approche Anthropologique. La notion d'organisation praxéologique. Analyse des pratiques enseignantes et didactiques des mathématiques. Actes de l'Université d'été de didactique de La Rochelle, 119-140.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, 19(2), 221-266. <https://revue-rdm.com/1999/l-analyse-des-pratiques/>
- Chevallard, Y. (2007). Éducation & didactique : une tension essentielle. *Éducation & didactique*, 1(1), 9-28. doi:10.4000/educationdidactique.61
- Chevallard, Y. (2007). Passé et présent de la théorie anthropologique du didactique. Conférence plénière au premier congrès international sur la théorie anthropologique du didactique. Dans L. Ruiz-Higueras, A. Estepa, & F. Javier García (dir.), *Sociedad, Escuela y Matemáticas. Aportaciones de la Teoría Antropológica de la Didáctica* (pp. 705-746). Universidad de Jaén.
- Chevallard, Y., et Bosch, M. (2020). Didactic Transposition in Mathematics Education. Dans S. Lerman (dir.), *Encyclopedia of Mathematics Education* (pp. 214-218). Cham: Springer International Publishing
- Christiansen, F. V., et Rump, C. (2008). Three Conceptions of Thermodynamics: Technical Matrices in Science and Engineering. *Research in Science Education*, 38(5), 545-564. doi : 10.1007/s11165-007-9061-x
- Clas, A. (1994). Collocations et langues de spécialité. *Meta*, 39(4), 576-580. doi :10.7202/002327ar
- Colin, P. (1999). *Deux modèles dans une situation de physique : le cas de l'optique. Difficultés des étudiants, points de vue des enseignants et propositions pour structurer des séquences d'enseignement* [Thèse de doctorat]. Université Denis Diderot Paris 7.
- Colin, P. et Tran Tat, N. (2011). Difficile compréhension de l'effet de serre : comment concevoir un parcours d'enseignement-apprentissage au lycée?. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (4), 109-138.
- Conseil de l'Europe. (2001). *Cadre européen commun de référence pour les langues : apprendre, enseigner, évaluer*. <https://rm.coe.int/16802fc3a8>
- Conseil de l'Europe. (2018). *Cadre européen commun de référence pour les langues : apprendre, enseigner, évaluer – Volume complémentaire*. <https://rm.coe.int/cecr-volume-complementaire-avec-de-nouveaux-descripteurs/16807875d5>

- Cook, V. (2012). Some key issues for SLA research. Dans L. Pedrazzini, A. Nava (dir.), *Learning and Teaching English: Insights from Research*. Italy: Polimetrica Publisher. <http://www.viviancook.uk/Writings/Papers/KeyIssues.htm>
- Cook, V., et Singleton, D. (2014). Key Topics in Second Language Acquisition: Multilingual Matters.
- Coppé S. et Tiberghien A. (2013). Conception d'une formation de formateurs. In A. Tiberghien et S. Coppé (éd.), *Elements of collaborative teacher development and teacher resources: France, Report for European commission S-TEAM project (FP7)*. Trondheim : NTNU, p. 70-81.
- Coray (1800). *Traité d'Hippocrate Des Airs, des eaux et des lieux ; traduction nouvelle, avec le texte grec collationné sur deux manuscrits, des notes critiques, historiques et médicales, un discours préliminaire, un tableau comparatif des vents anciens et modernes, une carte géographique, et les index nécessaires*. Paris: Baudelot et Eberhart.
- Costa, F. (2009). ICLHE/CLIL at the tertiary level of education: State-of the art. *Studies About Languages (Kalbu Studijos)*, 15, 85-88.
- Coste, D. (2003). Construire des savoirs en plusieurs langues. Les enjeux disciplinaires de l'enseignement bilingue. Santiago de Compostelle. http://www.adeb.asso.fr/archives/problematique/dnl/Coste_Santiago_oct03.pdf.
- Coyle, D. (2006). Content and language integrated learning – motivating learners and teachers. *The Scottish Language Review*, 13, 1–18.
- Coyle, D., Hood, P., et Marsh, D. (2010). *CLIL: Content language integrated learning*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. Dans G. Norman, S. K. Abelle (dir.), *Handbook of research on science education, volume II* (pp. 529-556). Routledge.
- Crowder, S (2009) *Climate Change in the Media and Public Perceptions of it: Investigating the differences between Tabloid and Broadsheet Newspapers*. [Dissertation] http://clock.uclan.ac.uk/2622/1/Full_PDF_dissertation.pdf en ligne juillet 2019
- Dalton-Puffer, C. (2013). A construct of cognitive discourse functions for conceptualising content-language integration in CLIL and multilingual education. *European Journal of Applied Linguistics*, 1(2), 216-253. doi :10.1515/eujal-2013-0011
- de Groot, A. M. B. (1995). Determinants of bilingual lexicosemantic organisation. *Computer Assisted Language Learning*, 8(2-3), 151-180. doi :10.1080/0958822940080204
- Delisle, J. (1993). *La traduction raisonnée*. Presses de l'Université d'Ottawa.
- Demeritt, D. (2001). The Construction of Global Warming and the Politics of Science. *Annals of the Association of American Geographers*, 91(2), 307-337. doi :10.1111/0004-5608.00245

- Depecker, L. (2002). *Entre signe et concept : éléments de terminologie générale*. Presses Sorbonne Nouvelle.
- Desgagné, S. (1998). La position du chercheur en recherche collaborative : illustration d'une démarche de médiation entre culture universitaire et culture scolaire. *Recherches qualitatives*, 18, 77-105.
- Desgagné, S. (2001). La recherche collaborative : nouvelle dynamique de recherche en éducation. Dans M. Anadón (dir.), *Nouvelles dynamiques de recherche en éducation* (pp. 51-76). Presses de l'Université Laval.
- Desgagné, S., Bednarz, N., Lebus, P., Poirier, L., et Couture, C. (2001). L'approche collaborative de recherche en éducation : un rapport nouveau à établir entre recherche et formation. *Revue des sciences de l'éducation*, 27(1), 33-64.
- Dessler, A. E. (2016). *Introduction to modern climate change*. Cambridge University Press.
- Dessus, B., Laponche, B. (2014). Forçage radiatif et PRG du méthane dans le rapport AR5 du GIEC. *Les cahiers de GLOBAL CHANCE*, 35, 64-74.
- De Vecchi, G. et Giordan, A. (2002). *L'enseignement scientifique, comment faire pour que ça marche ?*. Delagrave, rééd. augmentée.
- Develay, M. (1996). *Donner du sens à l'école*. ESF éditeur.
- Dister, A., & Simon, A. C. (2008). La transcription synchronisée des corpus oraux. Un aller-retour entre théorie, méthodologie et traitement informatisé. *Arena Romanistica*, 1(1), 54-79.
- Dorier, J. L. (2012). La démarche d'investigation en classe de mathématiques : quel renouveau pour le questionnement didactique ?. Dans Calmettes, B. (dir.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation. Références, représentations, pratiques et formation* (p.59-78). L'Harmattan.
- Dove, J. (1996). Student Teacher Understanding of the Greenhouse Effect, Ozone Layer Depletion and Acid Rain. *Environmental Education Research*, 2(1), 89-100. doi :10.1080/1350462960020108
- Doyle, J. (2007). Picturing the Clima(c)tic: Greenpeace and the Representational Politics of Climate Change Communication. *Science as Culture*, 16(2), 129-150. doi :10.1080/09505430701368938
- Drechsler, M., et Van Driel, J. (2008). Experienced Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Teaching Acid-base Chemistry. *Research in Science Education*, 38(5), 611-631. doi :10.1007/s11165-007-9066-5
- Duband, L. (2015). Space cryocooler developments. *Physics Procedia*, 67, 1-10.
- Duband, L. (2015). Space cryocooler developments. *Physics Procedia*, 67, 1-10.
- Duit, R. et Treagust, D.F. (1998). Learning in science- from behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. Fraser and K Tobin (dir.), *International handbook of science education, Part 1*. (pp.3-25). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Dufour, L. (1948). L'œuvre météorologique de T. -A. Mann, *Ciel et Terre*, 64, 1-15.

- Dufresne, J. L., et Treiner, J. (2011). L'effet de serre atmosphérique : plus subtil qu'on ne le croit !, *La météorologie*, 72, 31-41.
- Dupin, J. J., et Johsua, S. (1994). Analogies et enseignement des sciences : une analogie thermique pour l'électricité. *Didaskalia*, 3(1), 9-26.
- Duverger, J. (2008). Interculturalité et enseignement de DNL dans les sections bilingues (ou les apports possibles des DNL en matière d'interculturalité). *Tréma*, (30), 31-38.
- Duverger, J., Beacco, J. C., Causa, M., Cavalli, M., Demarthy-Warzee, J., Gajo, L., et Vigner, G. (2011). Enseignement bilingue—Le professeur de «discipline non linguistique»—Statut, fonctions, pratiques pédagogiques. C. Beacco.—Paris: ADEB.
- Ekborg, M. et Areskoug, M. (2006). How student teachers' understanding of the greenhouse effect develops during a teacher education programme. *Nordic Studies in Science Education*, 2(3), 17-29.
- Ellis, R. (2003). *Task-based Language Learning and Teaching*. Oxford: Oxford University Press 2003.
- Ereaut, G. et Segnit, N. (2006). Warm words: How we are telling the climate story and can we tell it better.
- Escudé, P. et Gajo, L. (2016). Troisième partie. Axe 3. Langue unique ou modélisation du contact des langues dans l'université mondiale?. Dans S.Borg et al. (dir.) *L'Université en contexte plurilingue dans la dynamique numérique* (p. 161- 166). Editions des archives contemporaines.
- Eurydice (2005). Chiffres clés de l'enseignement des langues à l'école en Europe. http://www.eurydice.org/Doc_intermediaires/indicators/fr/frameset_key_data.html
- Eurydice (2006). L'enseignement d'une matière intégré à une langue étrangère (EMILE) à l'école en Europe. Brussels: Eurydice European Unit.
- Eurydice (2017). Chiffres clés de l'enseignement des langues à l'école en Europe. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/73ac5ebd-473e-11e7-aea8-01aa75ed71a1/language-fr/format-PDF>
- Fabiani, J. (2006). À quoi sert la notion de discipline ? In Boutier, J., Passeron, J., & Revel, J. (Eds.), *Qu'est-ce qu'une discipline ?* Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales. doi :10.4000/books.editionsehess.20081
- Fisher, B. W. (1998). Australian Students' Appreciation of the Greenhouse Effect and the Ozone Hole. *The Australian Science Teachers Journal*, 44(3), 46-55.
- Foote, Eu. (1856). Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays. In *The American Journal of Science and Arts*, Second series vol. 22, art. 31, 382-383 New Haven:editors. New York: G.P Putnam & Co. E. Hayes, Printer
- Forster Vosicki, B. (2015). Vers une approche institutionnelle de la question du plurilinguisme à l'université. Dans X. Gradoux, J.Jacquin et G. Merminod (dir.), *Agir dans la diversité des langues. Mélanges en l'honneur d'Anne-Claude Berthoud* (p. 283-298). De Boeck.

- Fourier, J. (1824). *Remarques générales sur les Températures du globe terrestre et des espaces planétaires*. In *Annales de chimie et de physique*, Gay-Lussac, Arago. Tome vingt-septième. Paris: Crochard, 136-167.
- Francis, C., Boyes, E., Qualter, A., et Stanisstreet, M. (1993). Ideas of elementary students about reducing the “greenhouse effect”. *Science Education*, 77(4), 375-392. doi :10.1002/sce.3730770403
- Fresso, J.-B., et Locher, F. (2015). L’agir humain sur le climat et la naissance de la climatologie historique, XVIIe-XVIII siècles. *Revue d’histoire moderne & contemporaine*, 62-1(1), 48-78. doi :10.3917/rhmc.621.0048
- Gajo, L. (2007). Enseignement d’une DNL en langue étrangère : de la clarification à la conceptualisation. *Tréma*, (28), 37-48. doi : 10.4000/trema.448
- Gajo, L. (2009). De la DNL à la DdNL : principes de classe et formation des enseignants : Enseignants de DNL et de LV : à armes égales?. *Les langues modernes*, 103(4), 15-24.
- Gaonac'h, D. (1990). Lire dans une langue étrangère : approche cognitive. *Revue française de pédagogie*, (93), 75-100.
- Gaonac'h, D. (1990). Lire dans une langue étrangère : approche cognitive. *Revue française de pédagogie*, (93), 75-100.
- García-Rodeja Gayoso, I. et Lima de Oliveira, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos sección investigación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 0195-218.
- Garnier, C. et Sauvé, L. (1999). Apport de la théorie des représentations sociales à l’éducation relative à l’environnement—Conditions pour un design de recherche. *Éducation relative à l’environnement : Regards-Recherches-Réflexions*, 1, 65-77. doi : 10.4000/ere.7204
- Gauthier, C., Bissonnette, S., Richard, M., et Castonguay, M. (2013). *Enseignement explicite et réussite des élèves : la gestion des apprentissages*. Pearson
- Gentilhomme, Y. (1982). Lecture d'un texte scientifique : introduction. *Pratiques*, 35(1), 100-115.
- Gerolimich, S. (2009). Comprendre et reformuler des textes en langue inconnue. *Cahiers de praxématique*, (52), 109-132.
- GIEC (2013). *Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques*. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d’évaluation du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge, United Kingdom, New York, NY, USA: Cambridge University Press. 1535 p.
- GIEC, 2014a: Annexe II: Glossaire [Mach, K. J., S. Planton et C. von Stechow (dir. publ.)], *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième

- Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, R. K. Pachauri et L. A. Meyer (dir. publ.)]. GIEC, Genève, Suisse, p. 131-145.
- GIEC, 2014b: *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.
- GIEC, 2018: Annexe I: Glossaire [Matthews, J.B.R. (éd.)]. Dans: Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté [Publié sous la direction de V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor et T. Waterfield]. Sous presse.
- Gledhill, C. (2000). *Collocations in Science Writing*. Tübingen, Gunter Narr Verlag.
- Grosjean, F. (2015). *Parler plusieurs langues: le monde des bilingues*. Albin Michel.
- Groves, F. H., et Pugh, A. F. (1999). Elementary Pre-Service Teacher Perceptions of the Greenhouse Effect. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 75-81. doi :10.1023/A:1009433705790
- Guillamón-Suesta, F., et Renau Renau, M. L. (2015). A critical vision of the CLIL approach in secondary education: A study in the Valencian Community in Spain. *Latin American Journal of Content & Language Integrated Learning*, 8(1), 1-12. doi :10.5294/5037
- Harwell, S. H. (2003). *Teacher professional development: It's not an event, it's a process*. CORD.
- Hartwell, L. M. (2016). *L'anglais de spécialité: des structures linguistiques à l'apprentissage d'une langue fortement codée*. [Rapport de synthèse pour HDR] <https://publications.ut-capitole.fr/id/eprint/32818/>
- Hilton, H. (2002). Modèles de l'acquisition lexicale en L2 : où en sommes-nous ? *ASp*. (35-36). [en ligne]. doi : [10.4000/asp.1668](https://doi.org/10.4000/asp.1668)
- Hirn-Chaine, C. (1998). *Transformations d'intentions didactiques par les enseignants: Le cas de l'optique élémentaire en classe de quatrième*. [Thèse d'état] Université Denis Diderot Paris 7).
- Humbley John. La terminologie dans les langues de spécialité. Monique Memet, Michel Petit. *L'anglais de spécialité en France. Mélanges en l'honneur de Michel Perrin*, GERAS - Université Victor-Segalen Bordeaux 2, pp.47-53, 2001.
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin,

- G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge, United Kingdom, New York, NY, USA: Cambridge University Press. 1535 p.
- IPCC (2018). Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press
- Jäppinen, A.-K. (2005). Thinking and Content Learning of Mathematics and Science as Cognitional Development in Content and Language Integrated Learning (CLIL): Teaching Through a Foreign Language in Finland. *Language and Education*, 19(2), 147-168. doi :10.1080/09500780508668671
- Jeffries, H., Stanisstreet, M., et Boyes, E. (2001). Knowledge about the 'Greenhouse Effect': Have college students improved? *Research in Science & Technological Education*, 19(2), 205-221. doi :10.1080/02635140120087731
- Jodelet, D. (2003). 1. Représentations sociales : un domaine en expansion. In *Les représentations sociales* (pp. 45-78). Paris cedex 14: Presses Universitaires de France.
- Keeling, C. D., Bacastow, R. B., Bainbridge, A. E., Ekdahl Jr, C. A., Guenther, P. R., Waterman, L. S., & Chin, J. F. S. (1976). Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii. *Tellus*, 28(6), 538-551. doi :10.3402/tellusa.v28i6.11322
- Khalid, T. (2003). Pre-service High School Teachers' Perceptions of Three Environmental Phenomena. *Environmental Education Research*, 9(1), 35-50. doi :10.1080/13504620303466
- Kılınc, A., Stanisstreet, M. & Boyes, E. (2008). Turkish Students' Ideas about Global Warming. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3(2), 89-98.
- Kind, P. E. R., et Osborne, J. (2017). Styles of Scientific Reasoning: A Cultural Rationale for Science Education? *Science Education*, 101(1), 8-31. doi :10.1002/sce.21251
- Koulaidis, V., & Christidou, V. (1999). Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education*, 83(5), 559-576. doi :10.1002/(SICI)1098-237X(199909)83:5<559::AID-SCE4>3.0.CO;2-E
- Kump, L. R., Kasting, J. F., & Crane, R. G. (2010). *The earth system (3rd ed)*. San Francisco: Prentice Hall.
- Kyrölä, E., Tamminen, J., Leppelmeier, G. W., Sofieva, V., Hassinen, S., Bertaux, J. L., . . . Vanhellemont, F. (2004). GOMOS on Envisat: an overview. *Advances in Space Research*, 33(7), 1020-1028. doi: 10.1016/S0273-1177(03)00590-8
- Laffont Hélène et Jean-Louis Trouillon, « La recherche en anglais scientifique et la revue ASp : retour sur vingt ans de publications (1993-2012) », *ASp* [En ligne], 63 | 2013, mis en ligne le 07 octobre

- 2014, consulté le 13 août 2021. URL : <http://journals.openedition.org/asp/3331> ; doi : [10.4000/asp.3331](https://doi.org/10.4000/asp.3331)
- Larue, C. (2015). *L'enseignement des mathématiques en anglais langue seconde*. [Thèse d'état]. Université de Bordeaux.
- Lavour, J. M., & Bairstow, D. (2011). Languages on the screen: Is film comprehension related to the viewers' fluency level and to the language in the subtitles?. *International Journal of Psychology*, 46(6), 455-462.
- Lavour, J. M., & Bairstow, D. (2011). Languages on the screen: Is film comprehension related to the viewers' fluency level and to the language in the subtitles?. *International Journal of Psychology*, 46(6), 455-462.
- Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J., . . . Zheng, B. (2018). Global Carbon Budget 2018. *Earth Syst. Sci. Data*, 10(4), 2141-2194. doi :10.5194/essd-10-2141-2018
- Leblanc, S. (2014). Vidéo formation et transformations de l'activité professionnelle. *Activités*, 11(2), 143-171. doi :10.4000/activites.968
- Leblanc, S., Ria, L., et Veyrunes, P. (2013). Analyse vidéo de situations d'enseignement dans le programme du cours d'action. In Veillard, L., & Tiberghien, A. (Eds.), *ViSA : Instrumentation de la recherche en éducation*. Paris : Éditions de la Maison des sciences de l'homme. doi : 10.4000/books.editionsmssh.1959
- Lefrançois, R. (1997). La recherche collaborative : essai de définition. *Nouvelles pratiques sociales*, 10(1), 81-95.
- Leiserowitz, A. A. (2004). Day After Tomorrow: Study of Climate Change Risk Perception. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 46(9), 22-39. doi :10.1080/00139150409603663
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Norwood : Ablex Publishing Corporation.
- Lerat, P. (1995). *Les langues spécialisées*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Leroy, C. (2011). Etude de l'analyse de leur activité par des enseignants débutants comme occasion de développer la réflexivité et la régulation de leur action: mise au point d'une méthodologie et premiers résultats. In Colloque international INRP (Vol. 16, p. 17). Colloque international INRP, 16, 17 et 18 mars 2011 Le travail enseignant au XXIe siècle Perspectives croisées : didactiques et didactique professionnelle
- Lévy-Leblond, J.-M. (2007). Sciences dures et traduction. Entretien réalisé par Michaël Oustinoff. Hermès, *La Revue*, 49(3), 205-211. doi :10.4267/2042/24146
- Lewis, M. (1993). *The lexical approach* (Vol. 1, p. 993). Hove : Language teaching publications.

- L'homme, M. C. (2004). *La terminologie : principes et techniques*. Les Presses de l'Université de Montréal.
- Lijnse, P. (1994). La recherche-développement : une voie vers une "structure didactique" de la physique empiriquement fondée. *Didaskalia (Paris)*, 3, 93-108. doi :10.4267/2042/23205
- Llinares, A., Morton, T., et Whittaker, R. (2012). *The roles of language in CLIL*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Loffler-Laurian, A. M. (1984). Vulgarisation scientifique : formulation, reformulation, traduction. *Langue française*, (64), 109-125.
- Loffler-Laurian, A. M. (1984). Vulgarisation scientifique : formulation, reformulation, traduction. *Langue française*, (64), 109-125.
- Long, M. (1991). Focus on form: A design feature in language teaching methodology. Dans K. Bot, R.B. Ginsberg et C. Kramsch (dir.), *Foreign language research in cross-cultural perspective* (p. 39-52). John Benjamins.
- Lorenzo, F. (2007). An Analytical Framework of Language Integration in L2 Content-based Courses: The European Dimension. *Language and Education*, 21(6), 502-514. doi :10.2167/le708.0
- Lorenzo, F. J., Trujillo Sáez, F., & Vez Jeremías, J. M. (2011). *Educación bilingüe: Integración de contenidos y segundas lenguas*. Madrid : Síntesis.
- Lüdi, G. (2015). 9. Monolingualism and multilingualism in the construction and dissemination of scientific knowledge. In J.-S. Ulrike & J. K. Claire (Eds.), *The Multilingual Challenge* (pp. 213-238). Berlin, München, Boston: De Gruyter Mouton.
- Macaro, E., Curle, S., Pun, J., An, J., & Dearden, J. (2018). A systematic review of English medium instruction in higher education. *Language Teaching*, 51(1), 36-76. doi :10.1017/S0261444817000350
- Mailhos, M. F. (2009). Introduction: Enseigner les DNL. *Langues modernes*, (3), 13-15.
- Maingueneau, D. (2012). Que cherchent les analystes du discours?. *Argumentation et analyse du discours*, (9). doi : 10.4000/aad.1354
- Maitre, J.-P. (2017). L'intégration d'une langue seconde dans l'enseignement des sciences physiques : quels termes pour quels savoirs en tronc commun et discipline non linguistique ? *Éducation & didactique*, 11(1), 81-104. doi :10.4000/educationdidactique.2673
- Mann, T. (1792). Mémoires sur les grandes gelées et leurs effets Mémoires sur les grandes gelées et leurs effets; où l'on essaie de déterminer ce qu'il faut croire de leurs Retours périodiques, & de la gradation en plus ou moins du Froid de notre Globe. Gand : P.F de Goefin.
- Marin, B., Crinon, J., Legros, D., & Avel, P. (2007). Lire un texte documentaire scientifique : quels obstacles, quelles aides à la compréhension?. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (160), 119-131.

- Marin, B., Crinon, J., Legros, D., & Avel, P. (2007). Lire un texte documentaire scientifique : quels obstacles, quelles aides à la compréhension?. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (160), 119-131.
- Marlot, C. et Morge, L. (2016). Des difficultés de mise en œuvre de l'investigation scientifique en classe à la diversité des démarches d'investigation : un nouveau paradigme. Dans Marlot, C. et Morge, L. (dir.), *L'investigation scientifique et technologique. Comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire* (p.67-75). Presses universitaires de Rennes.
- Marsh, D. (2006, March). English as medium of instruction in the new global linguistic order: Global characteristics, local consequences. In *Proceedings of the Second Annual Conference for Middle East Teachers of Science, Mathematics and Computing. Abu Dhabi: METSMaC* (pp. 29-38).
- Masson-Delmotte, V. (2018). Chaque demi-degré supplémentaire compte pour le climat. *La recherche*, 542, 4-9.
- Mayer, V. J. (1995). Using the earth system for integrating the science curriculum. *Science Education*, 79(4), 375-391. doi :10.1002/sce.3730790403
- Mehisto, P. (2012). Criteria for producing CLIL learning material. *Encuentro: revista de investigación e innovación en la clase de idiomas*, 21, 15-33.
- Mehisto, P., Marsh, D., et Frigols, M. J. (2008). *Uncovering CLIL: Content and Language Integrated Learning in Bilingual and Multilingual Education*: Macmillan Education.
- MENJVA (2011). Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie. Classe terminale de la série scientifique (Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011). https://cache.media.education.gouv.fr/file/special_8_men/99/0/physique_chimie_S_195990.pdf
- MENJ (2019). Glossaire d'accompagnement des programmes de chimie au lycée. <https://eduscol.education.fr/document/22834/download>
- Mercier, A. (2008). Pour une lecture anthropologique du programme didactique. *Éducation et Didactique*, (2–1), 7–40. doi :10.4000/educationdidactique.251
- Meyer, O. (2010). Introducing the CLIL-pyramid: Key strategies and principles for quality CLIL planning and teaching. *Basic issues in EFL-teaching and learning*, 295-313.
- Michail, S., Stamou, A. G., et Stamou, G. P. (2007). Greek primary school teachers' understanding of current environmental issues: An exploration of their environmental knowledge and images of nature. *Science Education*, 91(2), 244-259. doi :10.1002/sce.20185
- Michaud, C. (2014). Disciplines non linguistiques en Langues Vivantes Étrangères : quelle prise en compte des effets de contextes pour améliorer les enseignements?. *Contextes et didactiques. Revue semestrielle en sciences de l'éducation*, (5). <https://journals.openedition.org/ced/413>
- Mitterer, H., & McQueen, J. M. (2009). Foreign subtitles help but native-language subtitles harm foreign speech perception. *PloS one*, 4(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007785>

- Mitterer, H., & McQueen, J. M. (2009). Foreign subtitles help but native-language subtitles harm foreign speech perception. *PloS one*, 4(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007785>
- MJENR (2003) B.O. 2003 n°42 du 13 novembre 2003 - Évaluation spécifique organisée pour les candidats aux baccalauréats général et technologique dans les sections européennes ou de langues orientales à compter de la session 2004 - NOR : MENE0302456N - NOTE DE SERVICE N°2003-192 DU 5-11-2003
- Montagne-Macaire, D. (2007). Didactique des langues et recherche-action. Recherches en didactique des langues et des cultures. *Les cahiers de l'Acedle*, 4(4). <https://doi.org/10.4000/rdlc.5071>
- Moore, P., et Lorenzo, F. (2007). Adapting authentic materials for CLIL classrooms: An empirical study. *VIEWZ: Vienna English Working Papers*, 16(3), 28-35.
- Morge, L. (2001). Former sur les aspects pratiques et théoriques des interactions enseignant-élèves en classe de sciences. *Aster*, 32(1), 41-62.
- Morge, L. (2003). Les connaissances professionnelles locales : le cas d'une séance sur le modèle particulaire. *Didaskalia*, 23(1), 101-131.
- Morge, L., & Boilevin, J. M. (2007). Séquences d'investigation en physique-chimie au collège et au lycée. CRDP d'Auvergne.
- Mortureux, M. F. (1995). Les vocabulaires scientifiques et techniques. *Les Carnets du Cediscor. Publication du Centre de recherches sur la didacticité des discours ordinaires*, (3), 13-25. doi : [10.4000/cediscor.463](https://doi.org/10.4000/cediscor.463)
- Mortureux, M. F. (1995). Les vocabulaires scientifiques et techniques. Les Carnets du Cediscor. Publication du Centre de recherches sur la didacticité des discours ordinaires, (3), 13-25. doi : [10.4000/cediscor.463](https://doi.org/10.4000/cediscor.463)
- Mouhot, J.-F. (2012). Du climat au changement climatique : chantiers, leçons et défis pour l'histoire. *Cultures & Conflits*, 88(4), 19-42. doi : [10.4000/conflits.18571](https://doi.org/10.4000/conflits.18571)
- Müller, G. M., et Pantet, J. (2008). Plurilinguisme et construction des savoirs disciplinaires dans l'enseignement universitaire. *Travaux neuchâtelois de linguistique*, (48), 105-124. doi : [10.26034/tranel.2008.2856](https://doi.org/10.26034/tranel.2008.2856)
- Narcy-Combes, J. P. (2006). La didactique de L2 à la croisée des chemins. Recherches en didactique des langues et des cultures. Les cahiers de l'Acedle, (2). <https://journals.openedition.org/rdlc/5746>
- Nation, I. S. P., et Coady, J. (1988). Vocabulary and reading. In R. Carter & M. McCarthy (Eds.), *Vocabulary and language teaching*, 97–110. London: Longman.
- Nation, P. (1990). *Teaching and Learning Vocabulary*. New York : Newbury House Publishers.
- Nikula, T. (2007). Speaking English in Finnish content-based classrooms. *World Englishes*, 26(2), 206-223. doi : [10.1111/j.1467-971X.2007.00502.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-971X.2007.00502.x)
- Nikula, T., et Marsh, D. (1998). Terminological Considerations Regarding Content and Language Integrated Learning. *Bulletin suisse de linguistique appliquée*, 67, 13-18.

- Nuñez Asomoza, A. (2015). Students' Perceptions of the Impact of CLIL in a Mexican BA Program. *Profile: Issues in Teachers' Professional Development*, 17(2), 111-124. doi : 10.15446/profile.v17n2.47065
- O'Neil, C. (1993). *Les enfants et l'enseignement des langues étrangères*. LAL-CREDIF. Hatier.
- Ogborn, J., Kress, G. et Martins, I. (1996). *Explaining science in the classroom*. McGraw-Hill Education (UK).
- Österlind, K. (2005). Concept formation in environmental education: 14-year olds' work on the intensified greenhouse effect and the depletion of the ozone layer. *International Journal of Science Education*, 27(8), 891-908. doi : 10.1080/09500690500038264
- Papadimitriou, V. (2004). Prospective Primary Teachers' Understanding of Climate Change, Greenhouse Effect, and Ozone Layer Depletion. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 299-307. doi : 10.1023/B:JOST.0000031268.72848.6d
- Pekdag, B., & Le Maréchal, J. F. (2006). Influence de la nature du texte d'un film de chimie sur son utilisation par un apprenant. *Didaskalia*, 28, 55-84.
- Pekdag, B., & Le Maréchal, J. F. (2006). Influence de la nature du texte d'un film de chimie sur son utilisation par un apprenant. *Didaskalia*, 28, 55-84.
- Percebois, J. (2004). De l'anglais au français en langue de spécialité économique : équivalences attestées et détours des choix traductologiques. *ASp*, 45-46. doi : 10.4000/asp.1055
- Percebois, J. (2009). Les procédés d'économie linguistique : quels partenaires pour la communication?. Dans R. Greenstein (dir.), *Langue et culture-mariage de raison*, (p.17-43). Paris : Publications de la Sorbonne.
- Percebois, J. (2010). Analyse stylistique des Décisions du Sommet de Copenhague 2009. *Études de stylistique anglaise*, (1), 45-72.
- Peretti-Watel, P., et Hammer, B. (2006). Les représentations profanes de l'effet de serre. *Natures Sciences Sociétés*, 14(4), 353-364.
- Pérez-Vidal, C., et Roquet, H. (2015). The linguistic impact of a CLIL Science programme: An analysis measuring relative gains. *System*, 54, 80-90. doi : 10.1016/j.system.2015.05.004
- Perrot, L., & Julié, K. (2017). *Enseigner l'anglais*. Hachette éducation.
- Perrot, L., & Julié, K. (2017). *Enseigner l'anglais*. Hachette éducation.
- Petit, M. A. (2008). Once more unto the breach, dear friends. *ASp N° spécial. Anglais de spécialité*, 21-24.
- Petit, M. A. (2011). Le discours spécialisé et le spécialisé du discours : repères pour l'analyse du discours en anglais de spécialité. E-REA. *Revue électronique d'études sur le monde anglophone*, 8(1). doi : 10.4000/erea.1400
- Pierrehumbert, R. T. (2004). Warming the world. *Nature*, 432(7018), 677-677. doi:10.1038/432677a.

- Piesche, N., Jonkmann, K., Fiege, C., et Keßler, J.-U. (2016). CLIL for all? A randomised controlled field experiment with sixth-grade students on the effects of content and language integrated science learning. *Learning and Instruction*, 44, 108-116. doi : 10.1016/j.learninstruc.2016.04.001
- Plass, G. N. (1956). The Carbon Dioxide Theory of Climatic Change. *Tellus*, 8(2), 140-154. doi : 10.1111/j.2153-3490.1956.tb01206.x
- Pouillet, C. (1838). Mémoire sur la chaleur solaire, sur les pouvoirs rayonnants et absorbants de l'air atmosphérique et sur la température de l'espace. Paris : Bachelier.
- Prince, P. (1998). L'effet d'asymétrie dans le traitement lexical bilingue. *Psychologie française*, 43(4), 283-296.
- Prince, P. (1999). L'apprentissage lexical en deuxième langue : des réseaux évolutifs. *ASp*, (23-26), 335-347. doi : 10.4000/asp.2596
- Pruneau, D., Gravel, H., Bourque, W., et Langis, J. (2003). Experimentation with a socio-constructivist process for climate change education. *Environmental Education Research*, 9(4), 429-446. doi : 10.1080/1350462032000126096
- Punter, P., Ochando-Pardo, M., et Garcia, J. (2011). Spanish Secondary School Students' Notions on the Causes and Consequences of Climate Change. *International Journal of Science Education*, 33(3), 447-464. doi : 10.1080/09500693.2010.492253
- Puren, C. (2017). Approche globale et compréhension globale des documents en didactique des langues-cultures : de la méthodologie traditionnelle à la perspective actionnelle. <https://www.christianpuren.com/mes-travaux/2017f/>
- Puren, C. (2017). Approche globale et compréhension globale des documents en didactique des langues-cultures : de la méthodologie traditionnelle à la perspective actionnelle. <https://www.christianpuren.com/mes-travaux/2017f/>
- Ratinen, I. J. (2013). Primary Student-Teachers' Conceptual Understanding of the Greenhouse Effect: A mixed method study. *International Journal of Science Education*, 35(6), 929-955. doi : 10.1080/09500693.2011.587845
- Reboul-Touré, S. (2004). Écrire la vulgarisation scientifique aujourd'hui. *Sciences, Médias et Société*, 11, p.195-212
- Reboul-Touré, S. (2004). Écrire la vulgarisation scientifique aujourd'hui. *Sciences, Médias et Société*, 11, p.195-212
- Revelle, R., et Suess, H. E. (1957). Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ during the Past Decades. *Tellus*, 9(1), 18-27. doi : 10.1111/j.2153-3490.1957.tb01849.x
- Rinck, F. (2010). L'analyse linguistique des enjeux de connaissance dans le discours scientifique. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 4(3), 427-450.

- Roussel, S. (2019). Apprendre un contenu disciplinaire en langue étrangère : enjeux politiques, théoriques et pratiques pour l'internationalisation des formations dans l'enseignement supérieur. *Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité. Cahiers de l'ApliuT*, 38(2). <https://doi.org/10.4000/apliut.7162>
- Rousseau, J.-J. (1755/1990). *Essai sur l'origine des langues où il est parlé de la mélodie et de l'imitation musicale*. Paris : Gallimard
- Rozier, S. (1988). *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique élémentaire (Thèse de doctorat)*. Université paris 7 : Paris.
- Rudel, Mazaleyrat. à propos d'un curieux adjectif : approche sémantico-cognitive de l'adjectif curieux. *Revue de Sémantique et Pragmatique*, Presses de l'Université d'Orléans, 2010, pp.119-141. hal-00631360 consulté sur HAL le 11/10/21
- Rye, J. A., et Rubba, P. A. (1998). An exploration of the concept map as an interview tool to facilitate the externalization of students' understandings about global atmospheric change. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 521-546. doi : 10.1002/(SICI)1098-2736(199805)35:5<521::AID-TEA4>3.0.CO;2-R
- Rye, J. A., Rubba, P. A., et Wiesenmayer, R. L. (1997). An investigation of middle school students' alternative conceptions of global warming. *International Journal of Science Education*, 19(5), 527-551. doi : 10.1080/0950069970190503
- Sabatier, C. (2008). Compétence plurilingue et dynamiques d'appropriation langagière. Dans Moore, D., & Castellotti, V. (dir.), *La compétence plurilingue : regards francophones* (vol. 23, p. 105-126). Peter Lang.
- Sander, E. (2013). Notre pensée progresse en créant des catégories. *La recherche*, 477, 74-77.
- Saussure, de H.-B. (1784). Lettre de M. Saussure aux Auteurs du Journal. *Journal de Paris*, 108, Supplément du 17 Avril, 475-479 ; <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k1052077q/f5.item>, consulté en Mai 2018.
- Schäfer, M. S., et Schlichting, I. (2014). Media Representations of Climate Change: A Meta-Analysis of the Research Field. *Environmental Communication*, 8(2), 142-160. doi : 10.1080/17524032.2014.914050
- Schmidt-König, C. (2011). *Introduction à la langue juridique française*. Nomos.
- Schneider, R. O. (2011). Climate change : an emergency management perspective. *Disaster Prevention and Management : An International Journal*, 20(1), p.53-62.
- Seidlhofer, B. (2011). *Understanding English as a lingua franca*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Sensevy, G., Forest, D., Quilio, S., & Morales, G. (2013). Cooperative engineering as a specific design-based research. *ZDM*, 45(7), 1031-1043. doi : 10.1007/s11858-013-0532-4

- Sinclair, J., & Carter, R. (2004). *Trust the text: Language, corpus and discourse*. London, New York : Routledge.
- Sinclair, J., & Sinclair, L. (1991). *Corpus, concordance, collocation*. Oxford University Press, USA.
- Skehan, P. (1998). *A Cognitive Approach to Language Learning*. Oxford: Oxford University Press.
- Steffen, G. (2015). 12. Enseignement bilingue et apprentissage intégré des disciplines et des langues. Dans X. Gradoux, J. Jacquin, G. Merminod (dir.), *Agir dans la diversité des langues : Mélanges en l'honneur d'Anne-Claude Berthoud* (p. 191-208). Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur.
- Sterman, J. D. (2008). Risk Communication on Climate: Mental Models and Mass Balance. *Science*, 322(5901), 532-533. doi : 10.1126/science.1162574
- Summers, M., Kruger, C., & Childs, A. (2001). Understanding the science of environmental issues: development of a subject knowledge guide for primary teacher education. *International Journal of Science Education*, 23(1), 33-53. doi : 10.1080/09500690116990
- Surmont, J., Struys, E., Van Den Noort, M., & Van De Craen, P. (2016). The effects of CLIL on mathematical content learning: A longitudinal study. *Studies in Second Language Learning and Teaching*, 6(2), 319-337. doi : 10.14746/sslit.2016.6.2.7
- Swales, J. (1990). *Genre analysis: English in academic and research settings*. Cambridge University Press.
- Tavignot, P. (1995). À propos de la transposition didactique en didactique des mathématiques. *Spirale-Revue de recherches en éducation*, 15(1), 31-60.
- Theureau, J. (2010). Les entretiens d'autoconfrontation et de remise en situation par les traces matérielles et le programme de recherche « cours d'action ». *Revue d'anthropologie des connaissances*, 4(2), 287-322.
- Thoiron, P. & Béjoint, H. (2010). La terminologie, une question de termes ? *Meta*, 55(1), 105–118. doi : [10.7202/039605ar](https://doi.org/10.7202/039605ar)
- Tréville, M. C. (2000). *Vocabulaire et apprentissage d'une langue seconde : recherches et théories*. Outremont : Les Editions Logiques.
- Trévisse, A. (1992). La gestion cognitive de l'étrangeté dans l'acquisition d'une langue étrangère. *Acquisition et interaction en langue étrangère*, (1), 87-106.
- Trouillon, J. L. (2010). *Approches de l'anglais de spécialité*. Perpignan : Presses universitaires de Perpignan.
- Tutin, A., & Grossmann, F. (2002). Collocations régulières et irrégulières : esquisse de typologie du phénomène collocatif. *Revue française de linguistique appliquée*, 7(1), 7-25.
- Tyndall, J. (1861a). "On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connexion of Radiation, Absorption and Conduction. The Bakerian Lecture. *London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, Fourth Series*, 23, 169-194.

- Tyndall, J. (1861b). "On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connexion of Radiation, Absorption and Conduction. The Bakerian Lecture. *London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, Fourth Series, 36, 273-285.*
- Urgelli, B. (2004). *Réforme 2000 des programmes de lycée: l'enseignement du concept d'effet de serre: entre savoir savant et savoir enseigné.* Mémoire de DEA, Université Lyon 2, INRP.
- Van de Craen, P., Mondt, K., Allain, L., & Gao, Y. (2007). Why and how CLIL works: An outline for a CLIL theory. *Views, 16(3) 70-78.*
- Van der Yeught, M. (2017). L'étude de cas en anglais financier et ses fondements théoriques. *Les langues modernes, (3), 21-30*
- Van Driel, J. H., et Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International journal of science education, 24(12), 1255-1272.*
- Vasseur, M. T. (2007). Les « données du terrain » au cœur du dispositif de recherche: Pour une recherche sur l'interaction et dans l'interaction en didactique des langues. Réponse à Françoise Demaizière et Jean-Paul Narcy-Combes. *Recherches en didactique des langues et des cultures. Les cahiers de l'Acedle, 4(4).* <https://doi.org/10.4000/rdlc.4867>
- Vérin, A. (1998). Enseigner de façon constructiviste, est-ce faisable?. *Aster : Recherches en didactique des sciences expérimentales, 26(1), 133-163.*
- Viennot, L. (1982). Implicit meanings in physics : students and constants. *European Journal of Physics, 3(3), 174.*
- Viennot, L. (2006[1996]). *Raisonnement en physique : la part du sens commun.* De Boeck Supérieur.
- Walcott, C. D. (1912). Biographical memoir of Samul Pierpont Langley. In biographical Memoirs Part of volume VII. Washinton: National Academy of Science. 245-268.
- Wilson, K. M. (2013). Communicating climate change through the media: predictions, politics and perceptions of risk. In Beck, U., Adam, B. (Ed.), Allan, S. (Ed.), Carter, C. (Ed.). (2000). *Environmental Risks and the Media.* London: Routledge. (pp. 201-217). Chapter 13
- Winslow, C. (2010, octobre). *Anthropological theory of didactic phenomena: some examples and principles of its use in the study of mathematics education* [Key note presentation]. Annual conference of the Finnish Association for Research In Mathematics and Science Education.
- World Meteorological Organization. (2018). WMO statement on the state of the global climate in 2017. Consulté à l'adresse https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4453
- Wray, A. (2000). Formulaic sequences in second language teaching: principle and practice. *Applied Linguistics, 21(4), 463-489.* doi : 10.1093/applin/21.4.463
- Zwiers, J. (2013). *Building academic language: Essential practices for content classrooms, grades 5-12.* John Wiley & Sons.

Table des illustrations

Figures

Figure 1. Illustration du modèle d'association lexicale (adaptée, Crook, 2014)	35
Figure 2. Illustration du modèle de médiation conceptuelle (adaptée, Crook, 2014)	35
Figure 3. Explicitation du processus de transposition didactique pour élaborer l'esquisse de la séquence à l'aide du modèle épistémologique de référence (adaptée de Chevallard et Bosch, 2014)53	
Figure 4. Modèle épistémologique de référence construit pour le passage entre savoir savant et à enseigner	56
Figure 5. Modèle épistémologique de référence construit pour le passage entre savoir à enseigner et enseigné.	74
Figure 6. Modèle épistémologique de référence construit pour le passage entre savoir enseigné et disponible.	91
Figure 7. Organisation du système didactique en niveaux de codétermination	97
Figure 8. Mur padlet avec quatre post-it partagés	140
Figure 9. Protocole de recherche en deux étapes.....	161
Figure 10. Protocole de recherche ajusté	187
Figure 11. Opacité atmosphérique en fonction de la longueur d'onde (Duban, 2015, p.2, Fig.1. Atmospheric opacity as a function of wavelength.)	215

Tableaux

Tableau 1. Repérage dans le glossaire du GIEC (2013, 2018) et de l'IPCC (2014, 2018) des termes (et de la phraséologie) en français et en anglais relatifs à la définition et à la dimension du //réchauffement climatique//	60
Tableau 2. Repérage dans le glossaire du GIEC (2013, 2018) et de l'IPCC (2014, 2018) des termes (et de la phraséologie) en français et en anglais relatifs aux trois critères de la dimension du //réchauffement climatique//	61
Tableau 3. Pluralité des critères « évolutifs » qui pourraient constituer une dimension du concept //réchauffement climatique// au cours des quatre derniers siècles dans les articles qualifiés de fondateurs	67
Tableau 4. Structure en trois volets de la séquence envisagée autour de l'effet de serre et du réchauffement climatique en cours de physique-chimie pour la classe de terminale scientifique.	73
Tableau 5. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence issue du modèle épistémologique de référence	77
Tableau 6. Esquisse de la séquence à partir du travail préliminaire mené au II.3.1 (tableau 4)	81
Tableau 7. Eléments de méthodologie fondée sur le MER pour comparer la praxéologie scolaire à la praxéologie de référence	91
Tableau 8. Les étapes de la recherche-action collaborative mise en œuvre et leurs objectifs	96
Tableau 9. Premiers éléments de co-construction de la séquence lors de la première rencontre avec l'enseignant complice.....	100
Tableau 10. Praxéologie intégrée scolaire établie par analyse de la séance DNL1 en fonction de celle du MER	114
Tableau 11. Grille d'analyse d'un module de co-construction	138
Tableau 12. Analyse du module 1 de co-construction (cf. annexe IV.1.2d).....	142

Tableau 13. Définition des tâches collaboratives lors du module 1 de co-construction	145
Tableau 14. Analyse du module 2 de co-construction (cf. annexe IV.1.3h)	147
Tableau 15. Analyse du module 3 de co-construction (cf. annexe IV.1.4c)	150
Tableau 16. Analyse du module 4 de co-construction (cf. annexe IV.1.5c)	153
Tableau 17. Rappel de la praxéologie intégrée disciplinaire de référence issue du modèle épistémologique de référence (II.3.1)	159
Tableau 18. Critères de sélection (approche intégrée), document 1, AD1, année N	163
Tableau 19. Critères de sélection, document 4, AD1, année N.....	164
Tableau 20. Critères de sélection (approche intégrée), documents 1 et 2 de l'AE1.....	170
Tableau 21. Identification, dans les énoncés-cible des élèves en binôme, des unités sémantiques attendues pour la question 9 de l'AE1 (1-9 : production en anglais, 10-13 : production en français)	171
Tableau 22. Critères de sélection (approche intégrée), document 1 de l'AD2	175
Tableau 23. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence pour l'exploitation du support audiovisuel en anglais de la séquence.....	190
Tableau 24. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence pour les activités expérimentales de la séquence	191
Tableau 25. Critères de sélection (approche intégrée), vidéo 1	193
Tableau 26. Fréquence d'un terme dans la reformulation de la question How to classify electromagnetic radiation sources ?	199
Tableau 27. Analyse des énoncés-cible pour l'exploitation de la vidéo.....	200
Tableau 28. Grille d'exploitation des médias de référence pour l'AE1.....	205
Tableau 29. Grille d'analyse des énoncés-cible des élèves en binôme, pour la question 9 de l'AE1 (Comment les détecteurs optiques sont-ils utilisés pour surveiller l'atmosphère terrestre depuis l'espace ?).....	206
Tableau 30. Traitement du repérage et de la reformulation par les élèves pour le contexte de l'énoncé AE1	207
Tableau 31. Praxéologie intégrée disciplinaire de référence pour l'AD1.....	216
Tableau 32. Grille d'analyse des énoncés-cible des élèves pour l'AD1 (Pourquoi les scientifiques prennent-ils.elles en compte l'interaction entre le rayonnement et les gaz atmosphériques ?.....	217
Tableau 33. Résultats suite à l'utilisation de la grille d'analyse des énoncés-cible des élèves pour l'AD1 (Pourquoi les scientifiques prennent-ils.elles en compte l'interaction entre le rayonnement et les gaz atmosphériques ?	219
Tableau 34. Critères de sélection (approche intégrée), documents 1 et 2 de l'AE2.....	225
Tableau 35. Critères de sélection (approche intégrée), documents 1 et 2 de l'AE1.....	225
Tableau 36. Grille d'analyse des énoncés-cible des élèves en binôme, pour la question 9 de l'AE2 .	230
Tableau 37. Reformulation de la question investigatrice et énoncés-cible pour cinq élèves, AE3	238