

UNIVERSITE LUMIERE LYON 2

Ecole Doctorale EPIC
(ED 485 – Education- Psychologie- Information et communication)

ICAR (UMR 5191 Université Lyon 2, CNRS, ENS Lyon-ifé)

Activités TICE, interactions langagières en classe et cohérence des séquences d’enseignement scientifiques

Thèse de Doctorat en Sciences de l’Éducation

EL HAGE Suzane

Dirigée par LE MARECHAL Jean François et BUTY Christian

Présentée et soutenue publiquement le 06 novembre 2012

JURY

BUTY Christian	Université Claude Bernard, Lyon 1
DE VRIES Erica	Université Pierre Mendès-France, Grenoble 2
LE MARECHAL Jean François	Ecole normale supérieure de Lyon
PINTO Roser	Université Autonome de Barcelone
REGNIER Jean Claude	Université Lumière, Lyon 2
WAJEMAN Claire	Université Joseph Fourier, Grenoble 1

Résumé

Notre travail de thèse porte sur la pratique enseignante. Nous étudions plus particulièrement la cohérence discursive des savoirs tout au long d'une séquence d'enseignement de physique intégrant les TICE. L'étude est conduite en classe de terminale scientifique et porte sur l'enseignement de l'électricité.

L'étude de cas s'appuie sur des éléments théoriques utilisés dans les recherches en didactique (modélisation, registres sémiotiques, discours multimodal, approche communicative), comme elle propose des développements de certains concepts (inscription, concept importé de l'anthropologie des sciences). De même, l'étude propose des développements méthodologiques pour l'analyse de la cohérence discursive de l'enseignant et des inscriptions, et les interactions entre elles.

Nous avons proposé une distinction entre quatre catégories de cohérence discursive dans la transmission du savoir (expansion, réduction, auto-reformulation et répétition). De même, nous avons distingué les inscriptions réalisées par l'enseignant en deux natures différentes ; elles complètent les potentialités du logiciel utilisé par l'enseignant.

Mots clés : TICE, pratique enseignante, cohérence discursive, inscription, enseignement de l'électricité.

Abstract

Our work deals with the teaching practice. We are particularly interested in the discursive coherence of knowledge in a “natural” physics teaching sequence in electricity involving ICT. The study is conducted at the grade 12 (Terminale in France) in science class.

The case study is based on theoretical elements used in science education (modeling, semiotic registers, multimodal discourse and communicative approach), it offers some conceptual development (inscription: imported from the anthropology of science). The study also proposes methodological developments for the analysis of discursive coherence of teachers and of inscriptions, and the interactions between them.

We have suggested a distinction of four types of discursive coherence in the transmission of knowledge (expansion, reduction, self-reformulation and repetition). We also distinguish between two types of the inscriptions made by the teacher; they complement the potential of the software used by the teacher.

Keywords: ICT, teaching practice, discursive coherence, inscription, electricity teaching.

Remerciements

Une thèse n'est pas une fin en soi, mais c'est un moment particulier dans la vie d'un chercheur : il y aura eu un avant qui ne sera plus et il y aura un après à construire. Aussi, au moment de franchir cette limite, je ne peux pas ne pas penser à tous ceux qui, de près ou de loin, auront contribué à ce grand effort.

Je remercie chaleureusement Christian Buty pour le suivi, les encouragements et le soutien tout au long de ces trois années d'encadrement. Je le remercie sincèrement pour m'avoir formée dans la recherche et pour m'avoir consacré de longs moments de réflexion et de discussion.

Ma gratitude va aussi à Jean François le Maréchal pour le soutien continual qu'il m'a apporté pendant ces années, en particulier pour être toujours prêt à m'aider à trouver des ressources financières afin de pouvoir mener à bien cette recherche.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance envers les membres du jury de cette thèse qui, en dépit de leurs lourdes et multiples occupations, ont bien voulu en faire partie et se consacrer à la lecture critique de ce travail. Je remercie en particulier Erica De Vries et Roser Pinto qui ont accepté d'en être les rapporteurs.

Je remercie Lorenza Mondanda de m'avoir acceptée dans le laboratoire ICAR ainsi que Sandra Teston Bonnard, la nouvelle directrice, pour m'avoir constamment encouragée et soutenue pendant ma dernière année de thèse.

Je remercie le directeur adjoint Gerald Nicolai qui m'a appris à utiliser le matériel audio-vidéo pour récolter mes données.

J'adresse mes remerciements très particuliers et profonds au directeur de l'école doctorale EPIC, André Robert, pour le soutien qu'il m'a apporté.

Je veux adresser tous mes remerciements aux enseignants : Patrick Rochet, Fabien Alibert, David Gelas et Clotilde Mercier et leurs élèves qui ont participé et coopéré dans la construction du corpus de travail. Je remercie particulièrement Jacques Vince et ses élèves qui ont participé à la construction du corpus de travail de la thèse. Je remercie également les chercheurs qui ont facilité l'accès à ces terrains.

Je remercie amicalement les doctorants et les permanents du laboratoire ICAR, qui contribuent par une ambiance conviviale, studieuse et amicale à créer une atmosphère de travail idéale. Je remercie en particulier : Zeynab Badreddine, Rachida Benfredj, Diane Diaz, Mériem Belhadoui, Pierre Schramm, Daniel Valero et Sylvie Bruxelles et Emilie Chardon.

Je remercie l'Association Françaises des Femmes Diplômées des Universités (AFFDU) pour les aides accordées pour mes déplacements.

Je remercie Setty Moretti, responsable du Master Langues étrangères appliquées (LEA), pour le soutien qu'elle m'a apporté.

Je remercie chaleureusement mes parents, ma famille au Liban pour m'avoir supporté.

Enfin, je conclus en remerciant mon mari bien aimé, Hussein Sabra, qui m'a encouragée et apporté tout le confort dont j'avais besoin durant les moments les plus difficiles de mes recherches et de la rédaction. Merci pour toutes les discussions qui ont permis de me construire comme chercheur.

Sommaire

I. Introduction.....	13
II. Cadre théorique	15
1. Modèles et représentations sémiotiques, quels rapports avec les TICE	16
1.1 La modélisation	16
1.1.1 La modélisation dans l'enseignement de la physique -----	16
1.1.2 La modélisation-----	16
1.1.3 Apprendre un modèle, comprendre un concept -----	18
1.2 Registres sémiotiques	19
1.2.1 Registres sémiotiques en physique -----	19
1.2.2 Opérations sur les registres sémiotiques-----	20
1.3 Les TICE dans l'enseignement	22
1.3.1 Typologies des logiciels éducatifs -----	22
1.3.2 Modélisation et TICE -----	25
1.3.3 Modélisation et logiciel d'acquisition des données numériques-----	26
1.3.4 Modélisation et logiciel de traitement des données numériques-----	26
1.4 Inscriptions	27
1.4.1 Inscriptions -----	28
1.4.2 Inscriptions en classe -----	29
1.4.3 Inscription et TICE en classe -----	29
1.5 Conclusion de la première partie	31
2. Interactions langagières en classe	31
2.1 Discours et multimodalité.....	31
2.2 L'approche communicative	32
2.2.1 Dimension « dialogique » versus « autoritative »-----	32
2.2.2 Dimension « interactive » versus « non-interactive »-----	33
2.3 Unités constitutives d'un discours	34
2.3.1 Le thème -----	34
2.3.2 Le sous-thème-----	35
2.3.3 L'épisode-----	35
2.4 Conclusion de la deuxième partie du cadre théorique	36
3. Cohérence des séquences d'enseignement scientifique	36
3.1 Cohérence et cohésion	36
3.1.1 Cohérence et continuité-----	38
3.1.2 Catégories d'articulation au niveau discursif -----	39
3.2 Pratique enseignante et cohérence	40
3.3 Différentes échelles d'analyses pour le savoir enseigné	41
3.3.1 Echelles d'analyses en classe de mathématiques-----	41
3.3.2 Echelles d'analyses en classe de physique -----	42
3.3.3 L'articulation entre les différentes échelles d'analyses -----	42
3.4 Conclusion de la troisième partie du cadre théorique	43
4. Articulations des différents cadres théoriques.....	43
5. Conclusion du cadre théorique.....	45
III. Problématique et hypothèses de recherche.....	47
1. Questions de recherche	47
1.1. Etude de la cohérence -----	48
1.2. Etude de la mise en relation entre les registres sémiotiques et les deux mondes de modélisation dans les inscriptions-----	48
2. Hypothèses de recherche.....	48
IV. Méthodologie de recueil de données	51

1. Le terrain de recherche.....	51
1.1. Etablissement.....	51
1.2 Enseignant	53
1.3 Préparation de la séquence d'enseignement	53
1.3.1 Les séquences élaborées par le groupe SESAMES -----	53
1.3.2 La séquence filmée -----	54
1.3.3 Le contenu d'enseignement de la séquence filmée -----	54
2. Les enregistrements vidéo.....	54
2.1 Avantages et limites des données vidéographiques	54
2.2 Enregistrement vidéo dans la classe	55
2.3 Plan de position de nos caméras dans chaque salle	56
3. Les entretiens	56
3.1 Questionnaires pour préparer l'entretien au sosie.....	56
3.2 Entretien « instruction au sosie ».....	57
3.2.1 Objectif de l'entretien au sosie -----	58
3.2.2 Les questions posées lors de l'entretien -----	58
3.3 Entretien d'« auto-confrontation ».....	58
3.3.1 Objectif de l'entretien d'auto-confrontation -----	59
3.3.2 Choix de la vidéo pour réaliser l'entretien -----	59
3.3.3 Question de l'entretien et consignes-----	59
4 Les documents complémentaires recueillis	61
V. Méthodologie de traitement et d'analyse des données	63
1. Etape préliminaire de traitement des données.....	65
1.1 La numérisation et la dénomination des données	65
1.2 Le script de continuité	66
1.3 Traitement des données par Transana.....	69
1.3.1 Description « sommaire » de Transana -----	69
1.3.2 Traitement des entretiens par Transana-----	72
1.3.3 Traitement des données vidéos par Transana-----	73
2. Méthodologie d'analyse pour étudier la cohérence.....	73
2.1 Découpage du discours en épisodes	73
2.1.1 Découpage en épisodes du discours en classe entière -----	73
2.1.2 Découpage en épisodes du discours lors des travaux pratiques-----	74
2.2 Codage des épisodes par des mots clés.....	75
2.2.1 Choix du concept -----	76
2.2.2 Sélection des épisodes en lien avec le concept « constante de temps » -----	77
2.3 Tableau de correspondance des épisodes codés.....	78
2.4 Episode de référence et schéma pour étudier la cohérence.....	80
2.4.1 Episode de référence -----	80
2.4.2 Schéma pour étudier la cohérence -----	81
3 Méthodologie d'analyse pour étudier les inscriptions.....	82
3.1 Le tableau synoptique (synopsis).....	82
3.2 Découpage du discours en synoptique.....	83
3.3 Codage des clips par des mots clés	84
3.3.1 Création d'une collection « débriefing » dans Transana -----	84
3.3.2 Unité du découpage des clips de vidéo codés par le mot clé « débriefing »-----	84
3.3.3 Limitation de l'étude des « débriefings » au tissage seulement -----	84
3.4 Grille d'analyse des inscriptions.....	85
4 Conclusion.....	86
4.1 La première branche de la méthodologie d'analyse	86
4.2 La deuxième branche de la méthodologie d'analyse	87
VI. Analyse : Etude de la cohérence	89
1. Eléments quantitatifs	89

1.1	Interprétation du tableau de correspondance des épisodes codés avec le mot clé « constante de temps »	89
1.2	Répartition des catégories d'articulation dans le corpus délimité.....	89
1.3	Qui est à l'initiative des articulations	90
2	Eléments qualitatifs.....	91
2.1	Exemples de la catégorie de cohérence : Expansion	91
2.1.1	Premier exemple de la catégorie de cohérence : Expansion-----	92
2.1.2	Deuxième exemple de la catégorie de cohérence : Expansion-----	95
2.2	Exemple de la catégorie de cohérence : Réduction	98
2.3	Exemples de deux catégories de cohérence : Expansion et réduction	102
2.3.1	Premier exemple de deux catégories de cohérence : Expansion et réduction -----	103
2.3.2	Deuxième exemple de deux catégories de cohérence : Expansion et réduction -----	106
2.4	Exemple de la catégorie de cohérence : Auto-reformulation.....	109
2.5	Exemples de la catégorie de cohérence : Répétition.....	115
2.5.1	Premier exemple de la catégorie de cohérence : Répétition-----	116
2.5.2	Deuxième exemple d'une catégorie de cohérence : Répétition.-----	119
3	Rôle des TICE dans le corpus sélectionné.....	121
3.1	La légitimité de l'utilisation des TICE	122
4	Conclusion.....	122
VII.	<i>Analyse : Etude des inscriptions dans les débriefings.....</i>	127
1	Dipôle RC, débriefing des connaissances	127
1.1	Activité « charge d'un condensateur à courant constant ».....	128
1.1.1	Présentation de l'activité -----	128
1.1.2	Inscription « Charge d'un condensateur avec un générateur de courant »-----	129
1.1.3	Inscription « stockage des charges électriques opposées sur les armatures d'un condensateur »	133
1.1.4	Conclusion du débriefing des connaissances de l'activité -----	134
1.2	Activité « charge et décharge d'un condensateur dans un dipôle RC »	135
1.2.1	Présentation de l'activité -----	135
1.2.2	Inscription « charge d'un condensateur avec un générateur de tension »-----	138
1.2.3	Conclusion du débriefing des connaissances de la partie charge du condensateur -----	142
1.3	Re-débriefing des connaissances de l'activité « charge et décharge d'un condensateur »	143
1.3.1	Inscription « charge d'un condensateur avec un générateur de tension »-----	143
1.3.2	Inscription « décharge d'un condensateur » -----	148
1.3.3	Conclusion du débriefing des connaissances de l'activité « charge et décharge d'un condensateur »-----	152
2.	Dipôle RL, débriefing des connaissances.....	153
2.1	Activité « Modélisation numérique de $i(t)$; détermination expérimentale de L ».....	153
2.1.1	Présentation de l'activité -----	153
2.1.2	Inscription « établissement du courant dans une bobine »-----	154
2.1.3	Inscription « calcul des valeurs des variables : i_0 et L_{exp} »-----	158
2.1.4	Inscription « correspondance entre des valeurs de tau et des allures de courbes de $i=f(t)$ » -----	159
2.1.5	Conclusion du débriefing des connaissances « modélisation numérique $i(t)$, détermination de L_{exp} »	160
3.	Dipôle RLC, débriefing des connaissances.....	161
4.	Conclusion.....	161
VIII.	<i>Conclusion générale</i>	165
1	Retour sur nos questions de recherche.....	165
1.1	Dépendance ou non entre les articulations au niveau du discours et la cohérence des connaissances articulées	166
1.2	Catégorisation de la cohérence entre les épisodes articulés.....	166
1.3	Influence des inscriptions sur les registres sémiotiques et la modélisation	167
1.4	Types d'inscription lors de la projection de l'écran de l'ordinateur	168
2	Développement théorique et méthodologique.....	168

3	Limite de l'étude et domaine de validité des résultats	170
4	Perspectives.....	171
	<i>Références</i>	174

I. Introduction

Le travail présenté ici s'inscrit dans le prolongement des recherches sur les pratiques enseignantes. Les chercheurs en sciences de l'éducation, notamment en didactique des disciplines, se sont intéressés au rôle de l'enseignant, afin de décrire la complexité de cette pratique et de comprendre leurs effets sur les apprentissages des élèves. Nous prenons le discours comme outil pour étudier la pratique enseignante car l'enseignement et l'apprentissage sont véhiculés par le discours de l'enseignant. De nombreuses études ont souligné que le travail de l'enseignant dans la classe est essentiellement langagier ; le discours représente un outil primordial pour la compréhension de la fonction du raisonnement humain et son mode de construction (Mondada, 2005 ; Bucheton et al, 2005, 2008).

Un discours n'est pas une simple suite d'énoncés posés les uns à côté des autres. Charolles (1995) explicite qu'il suffit d'examiner un texte écrit ou une transcription de l'oral pour relever toutes sortes d'expressions indiquant que tel ou tel segment doit être relié de telle ou telle façon à tel ou tel autre. L'occurrence de ces marques relationnelles contribue à conférer au propos une certaine cohésion (Charolles, 1995, 2005). En linguistique, l'analyse du discours occupe une grande partie des recherches. L'analyse de la cohérence du discours, discours oral ou écrit, vise essentiellement à décrire les différents types de marques relationnelles entre les différents segments dans un texte.

L'enseignement des sciences a une particularité car il nécessite de mobiliser un discours scientifique contenant des terminologies propres à chaque domaine ; les termes scientifiques véhiculent l'information. Par exemple, les termes scientifiques utilisés en classe de physique pour le chapitre électricité (dipôle RC, résistance, condensateur, interrupteur, constante de temps etc.) sont différents des termes spécifiques véhiculés pour l'enseignement de la transformation de matière en chimie (équation, réaction, transformation, constante d'équilibre etc.).

Notre travail de thèse porte sur la cohérence du savoir enseigné, telle qu'elle ressort du discours de l'enseignant en classe de science et précisément dans une classe de physique. Notre point de vue tend à se rapprocher des études qui se fondent sur l'idée selon laquelle la nature du discours scientifique en classe influence les apprentissages (Catel, 2001 ; Dubois, 2004 ; Badreddine & Buty, 2009). L'étude de la cohérence peut se limiter à une séance donnée ou à plusieurs séances, successives et enchaînées, portant sur le même thème ou séquence. Lors de l'utilisation des TICE, le discours mené a des spécificités.

L'importance et l'usage de la technologie de l'information et de la communication pour l'enseignement (TICE) ne fait que croître dans la pratique de l'enseignement scientifique (De Vries, 2001). Pour un thème donné, à un niveau scolaire défini, l'utilisation des logiciels peut être diversifiée, ponctuelle ou régulière. L'enseignant et les élèves peuvent utiliser un logiciel une seule fois dans une séance comme il est possible d'utiliser les mêmes logiciels sur une même séquence. La plupart des recherches portant sur les TICE envisagent des situations limitées dans le temps, et n'étudient pas les effets à l'échelle de la séquence d'enseignement.

Par exemple, dans une méta-analyse portant sur 37 études, Hogarth et ses co-auteurs (2006), qui se focalisent pourtant sur les effets de l'emploi des TICE sur les apprentissages scientifiques réalisés par les étudiants, ne mentionnent pas cet aspect de la question.

Nous avons mené dans cette thèse une recherche empirique a propos une étude de cas. La recherche porte sur l'étude de la cohérence du discours didactique de l'enseignant dans une séquence mettant en jeu l'utilisation des TICE. Notre questionnement porte sur les différents moyens mobilisés par l'enseignant pour créer la cohérence dans une séquence où les TICE sont utilisés.

Pour mener cette étude, nous avons pris des données vidéo dans une séquence d'enseignement scientifique au lycée. Nous avons développé l'outil méthodologique proposé par Badreddine (2009) qui permet de mettre en évidence le développement réel de l'enseignement grâce à un logiciel pour pouvoir ensuite analyser ces données.

Notre travail est formé de quatre parties :

- la première partie est consacrée à la présentation du cadre théorique où nous retenons des travaux de recherches précis permettant de formuler nos questions de recherche ;
- la deuxième partie expose la méthodologie de traitement et d'analyse des données ;
- la troisième partie porte sur les analyses que nous avons menées et les résultats que nous avons obtenus ;
- la quatrième partie nous permet de proposer des réponses à notre questionnement initial et de proposer quelques perspectives.

II. Cadres théoriques

Dans ce chapitre, nous présentons les cadres théoriques mobilisés pour notre recherche qui a comme objectif l'étude de la cohérence discursive dans une séquence d'enseignement de physique au cours de laquelle des TICE sont mis en jeu. Comme le titre de thèse l'indique, notre cadre théorique relève de plusieurs directions de recherche : la didactique des sciences et l'analyse du discours. Nous avons choisi de présenter ce chapitre en quatre parties :.

La première partie porte sur des cadres théoriques connus en didactique des sciences ; les modèles (Tiberghien, 1994), les représentations sémiotiques (Duval, 1995) et les TICE (De Vries, 2001 ; Pinto et al, 2010). Dans cette partie, nous utiliserons le concept d'« inscription » (Latour, 1985) qui regroupe à la fois les registres sémiotiques, le processus de modélisation et les potentialités des TICE.

La deuxième partie porte sur l'analyse des discours et les interactions langagières en classe de sciences (Mortimer & Scott, 2003 ; Mortimer et al, 2007).

La troisième partie porte sur la cohérence et la cohésion (Halliday & Hasan, 1976 ; Badreddine & Buty, 2011) car ces notions sont centrales dans notre travail de recherche d'une part, et sur les différentes échelles temporelles (Lemke, 2001 ; Tiberghien et al, 2007) pour pouvoir étudier la cohérence discursive d'autre part.

Dans la quatrième partie, nous présentons les articulations entre les trois parties théoriques auxquelles nous nous attachons ; comme Artigue (2009, page 309) a écrit : « *penser les rapports entre cadres théoriques ne peut se faire sans identifier leurs cohérences et leurs limites respectives, ni sans les respecter* ».

Cette construction conceptuelle nous permet de formuler les questions et les hypothèses de recherche dans le chapitre suivant.

1. Modèles et représentations sémiotiques, quels rapports avec les TICE

Cette partie est constituée de quatre sous-parties : la modélisation (§ 1.1) pour caractériser le savoir enseigné, les registres sémiotiques (§ 1.2) permettant d'apporter plus de précision sur le savoir enseigné, la typologie des logiciels éducatifs (§ 1.3) utilisés par l'enseignant qui influent sur les registres sémiotiques dans lequel le savoir enseigné s'exprime, et les inscriptions (§ 1.4). Ces dernières permettent d'articuler les trois sous-parties précédentes.

1.1 La modélisation

Pour caractériser le savoir enseigné, nous nous basons, dans un premier temps, sur les travaux portant sur la modélisation. Dans ce qui suit, nous présenterons certaines des raisons pour lesquelles nous considérons que la référence explicite à la modélisation est actuellement nécessaire pour tout enseignement des sciences, et particulièrement des sciences physiques (§ 1.1.1). Nous poursuivrons ensuite avec la définition de la modélisation en physique du point de vue didactique (§ 1.1.2) où nous nous basons plus particulièrement sur les travaux de Tiberghien (1994). Nous terminerons cette partie avec un paragraphe sur l'apprentissage d'un modèle (§ 1.1.3).

1.1.1 La modélisation dans l'enseignement de la physique

L'enseignement de modèles et de la modélisation est devenu un thème récurrent dans la recherche sur l'enseignement des sciences, en général, et des sciences physiques en particulier (Martinand, 1992 ; Méheut, 1996 ; Millar, 1996 ; Tiberghien, 1994 ; Gilbert, 2004, etc). Lijnse (2006) souligne que l'accent mis actuellement sur la modélisation en physique est dû à trois raisons principales :

- l'attention constructiviste récente de conceptions que les élèves apportent en classe, est interprétée comme un exemple du fait que les gens éprouvent le monde selon leurs propres modèles mentaux ;
- l'accent mis actuellement sur le rôle de la philosophie des sciences pour l'enseignement a abouti à souligner l'importance de l'attention pour la nature de la connaissance scientifique, et des modèles scientifiques en particulier ;
- l'utilisation actuelle des ordinateurs a grandement amélioré les possibilités de créer et tester des modèles numériques, tant dans les sciences que dans l'enseignement des sciences.

Nous avons cité ci-dessus l'importance de l'enseignement de la modélisation et les raisons pour lesquelles elle est incontournable dans l'enseignement de la physique. Mais qu'est-ce que la modélisation ?

1.1.2 La modélisation

Nous nous basons particulièrement sur les travaux issus de la didactique de la physique développés par Tiberghien (1994). Pour Tiberghien (*ibid*) l'activité de modélisation implique

la mise en relation de différents mondes : le monde des théories et des modèles d'une part, et le monde des objets et des évènements d'autre part.

- le monde des objets et des évènements correspond au monde des phénomènes tels qu'ils sont observés, décrits, produits (naturels et /ou artificiels) ;
- le monde des théories et des modèles est défini comme un outil qualitatif ou quantitatif permettant l'étude d'une réalité, d'un phénomène dans le monde des objets et des évènements.

Le modèle¹ est construit à partir de théories plus vastes et préexistantes, “*Models are never constructed from direct perceptions, but from pre-existing theories, which orient our perceptions by giving the theoretical "lens" that makes the perceived world meaningful*” (Ziman, 2001, page 147). Le modèle est un intermédiaire entre la théorie et l'expérience (Hacking, 2005). La nuance entre la théorie et les modèles est peu visible au niveau de l'enseignement du secondaire (Cointe et al, 2008). Par conséquent, la modélisation est réduite à deux mondes.

Dans une description des fonctions d'un modèle, de nombreux didacticiens des sciences (Johsua & Dupin, 1993 ; Robardet & Guillaud, 1997 etc.) s'accordent pour reconnaître aux modèles trois fonctions : expliquer, représenter et prévoir des phénomènes.

Tiberghien (2000) distingue à l'intérieur du monde des théories et des modèles ainsi qu'à l'intérieur du monde des objets et des évènements, les connaissances qui sont issues de la physique et celles provenant de la vie quotidienne. Ces deux types de connaissances ne sont pas forcément les mêmes et peuvent mener à une interférence au niveau du sens des mots. Nous donnons des exemples :

- certains termes comme électricité, énergie, force employés pour désigner un concept physique, peuvent être aussi bien utilisés en physique que dans la vie quotidienne ; ils appartiennent au monde des théories et des modèles ;
- d'autres termes comme générateur de basse fréquence (GBF), oscilloscope sont presque exclusivement utilisés en classe de physique et appartiennent au monde des objets et des évènements.

Dans le cas des premiers types de termes, Gaidioz et al (2004) soulignent que l'enseignant devrait expliquer clairement le contexte d'utilisation des termes, aussi bien dans son discours oral que dans les documents écrits remis aux élèves. Si cela n'était pas le cas, il y aurait en effet un risque d'interférence entre « usage en physique » et « usage dans le quotidien » qui pourrait être gênant lors de l'enseignement. Cela pourrait créer une ambiguïté de sens pour l'élève.

¹ Pour Martinand (1992), le terme modèle (domaine SPC) peut être représenté par un objet matériel (maquette,...), un schéma simplificateur sous forme d'images ou symboliques (relation mathématique,...), faite en vue de l'explication/compréhension d'un phénomène.

Tiberghien (2000) explique que l'établissement des liens à l'intérieur d'un même monde ou entre les mondes nécessite de faire la distinction entre ce qui relève du modèle et ce qui appartient au monde des objets et des événements. Elle insiste sur l'importance de préciser que le monde des objets et événements n'est pas la réalité mais ce que perçoit l'individu de cette réalité. Cette perception n'est accessible au chercheur qu'à travers les verbalisations des individus à propos des objets et des événements (*ibid*). Nous ajoutons également que dans le monde des théories et des modèles nous avons deux domaines qu'il faut mettre en relation, l'échelle microscopique et l'échelle macroscopique. La dialectique microscopique-macroscopique est une des composantes épistémologiques des sciences physiques.

Nous avons parlé du processus de la modélisation et de l'attention que l'enseignant doit apporter à son discours et aux termes utilisés pour éviter que les élèves mélagent ce qui appartient au monde des objets et des événements et ce qui n'y appartient pas. Dans ce qui suit, nous évoquons l'apprentissage des modèles.

1.1.3 Apprendre un modèle, comprendre un concept

Nombre de recherches en didactique (par exemple : Tiberghien, 1994 ; Le Maréchal & Bécu-Robinault, 2006 ; Mortimer & Buty, 2008) ont démontré que la compréhension d'un concept physique exige :

- d'établir des liens entre les deux mondes (figure 1) ;
- de distinguer les deux mondes.

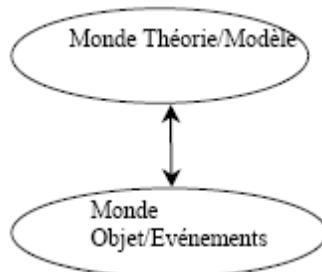


Figure 1 : Les relations entre les deux mondes.

Le plus souvent, les enseignants de sciences ne voient pas l'utilité d'expliciter la différence entre les deux mondes (Mortimer & Buty, 2008). Pour certains enseignants, l'établissement des liens entre les deux mondes tout en les distinguant est aisé et immédiat tandis que cela n'est pas le cas pour les élèves. Ces derniers ont des difficultés qui peuvent empêcher la compréhension et l'apprentissage d'un concept et/ou d'un modèle.

Un des moyens de distinguer les deux mondes consiste à apprendre les mots d'un modèle. Prenons un exemple en optique : les termes « rayon de lumière »², « faisceaux lumineux »

² Le choix de ces termes a été fait lors de la préparation d'une activité de la classe de 1^{ère} S en optique, dans un lycée en France (Mortimer & Buty, 2008).

font partie du monde des théories et des modèles alors que le terme « lumière » fait partie du monde des objets et des évènements. Si les mots du modèle peuvent aussi être utilisés dans la vie quotidienne, l'accent sera mis sur le contexte d'utilisation du terme dans lequel il est utilisé. Dans son discours, l'enseignant peut changer le niveau de modélisation. Il alterne parfois entre les différents mondes et effectue un ou plusieurs liens entre les deux mondes en fonction de ce qu'il explique et de son interaction avec les élèves. Nous ne prétendons pas que l'utilisation de ces termes par l'enseignant ou leurs répétitions lors de l'enseignement soit suffisante pour apprendre un modèle en physique mais cette précision pourra amener les élèves à se poser des questions du type : dans quel monde de modélisation suis-je ? Quel terme puis-je utiliser ?

Nous considérons que la modélisation est un processus essentiel au fonctionnement des sciences. Il est possible de mettre en relation les éléments du monde des théories et des modèles et du monde des objets et des évènements avec différents types de représentations que nous présentons dans la partie suivante.

1.2 Registres sémiotiques

Différents types de représentations sont utilisés pour représenter un concept. Dans cette partie, nous commençons avec la définition des registres sémiotiques qui permettent de distinguer différentes sortes de représentations et qui constituent un autre outil pour caractériser le contenu (§ 1.2.1). Nous continuons avec les opérations possibles évoquées par Duval (1995) sur les registres sémiotiques (§ 1.2.2).

1.2.1 Registres sémiotiques en physique

En sciences, le savoir à enseigner ne s'appréhende pas et ne prend sens que par l'intermédiaire de représentations sémiotiques. Duval (1995) définit le registre sémiotique comme un système de signes qui permet d'accomplir les fonctions de communication. Duval (1995) énumère les registres sémiotiques suivants en mathématique : le langage naturel, les langues symboliques ou iconiques, les graphes cartésiens, les tableaux, les figures géométriques.

Nous distinguons plusieurs registres sémiotiques utilisés dans l'enseignement de la physique :

- le registre du langage naturel : il constitue le premier outil utilisé avant et/ou pendant l'acquisition du vocabulaire scientifique ; il peut être utilisé pour exprimer des notions de physique mais également dans d'autres situations. Le recours à ce registre pour expliquer les résultats obtenus dans d'autres registres (registre algébrique, les graphes, voir ci-dessous) est nécessaire pour bien en comprendre la signification ;
- le registre algébrique : ce langage utilise des grammaires permettant d'énoncer les relations entre différentes grandeurs c'est-à-dire les expressions mathématiques, les lois. Par exemple l'expression algébrique de la tension aux bornes d'un conducteur ohmique $U=R \cdot I$;

- le registre symbolique : ce langage constitue un outil qui permet la représentation des grandeurs par des symboles. Par exemple les symboles utilisés pour parler du dipôle résistance-bobine (RL), les unités de grandeurs physiques (A pour ampère, V pour volt...). Nous pouvons ajouter le registre iconique qui permet la représentation des symboles graphiques que nous appelons icônes ;
- les dessins sont « *des représentations exactes et précises de la forme d'un objet* » (Davy & Doulin, 1991, page 12) ;
- les schémas sont de deux types, figuratif et non-figuratif. Les schémas figuratifs réfèrent à un objet sensible, visuel et perçu, alors que les schémas non-figuratifs désignent un référent mental et/ou conceptuel (Estivals, 2003) ;
- les tableaux sont un « *ensemble de nombres disposés méthodiquement de façon à rendre compte des variations que des faits peuvent subir en fonctions des circonstances* » (Davy & Doulin, 1991, page 12) ;
- les graphes sont « *des représentations des variations des grandeurs mesurables* » (ibid, page 12). Ce registre permet aussi de présenter les variations entre grandeur de même graphique (même ordonnée, même origine...). Par exemple ; enseignant : « *vous êtes tous d'accord, c'est une droite parfaitement linéaire* ».

Pour Duval (1995), la compréhension en mathématique repose sur la distinction entre l'objet et sa représentation sémiotique, et toute confusion entre ces deux derniers « *entraîne, à plus ou moins long terme, une perte de compréhension* » (ibid, page 2). Que ce soit en mathématique ou en physique, la compréhension d'un concept repose sur le principe ci-dessus. L'utilisation des représentations sémiotiques ne se limite pas à des fins de communication mais aussi au développement de l'activité cognitive de l'élève voire même de l'activité de résolution de problèmes de physique.

1.2.2 Opérations sur les registres sémiotiques

Duval (1995) souligne que chaque représentation dans un registre sémiotique est partielle dans ce qu'elle représente « *nous devons considérer comme absolument nécessaire l'interaction entre différentes représentations de l'objet mathématique pour la formation du concept* ». Par conséquent, nous pouvons conclure qu'un concept ou une notion ne peut pas être enseigné(e) à l'aide d'un seul registre sémiotique car cela empêche toute conceptualisation globale. Cela peut être vu comme un aspect particulier du point de vue de Taber (2006) cité dans (Pinto et al, 2009, page 384), qui précise que l'enseignement d'un concept par parties isolées ne permet pas de réaliser une conceptualisation intégrale ; « *Learning topics as isolated chunks of knowledge is less useful, more difficult and a lot less inspiring than a learning experience that reflects the conceptual integration that characterizes science* ». Par conséquent, il est nécessaire de connaître les différentes activités possibles dans un même registre sémiotique et entre les différents registres sémiotiques afin de tisser des liens.

Duval (1995) souligne que la conceptualisation mathématique passe par la capacité à différencier un concept de ses diverses représentations sémiotiques et qu'elle nécessite un

travail spécifique sur l'articulation de ces registres qui est peu réalisé en environnement traditionnel. Nous présentons dans ce qui suit quelques opérations possibles, soulignées par Duval (1995), sur les registres sémiotiques :

- le traitement : il s'agit de la transformation d'une représentation en une autre dans le même registre. Cette activité de transformation est interne à un registre donné. Prenons par exemple la factorisation de l'expression algébrique suivante : $x^2 + 2.x + 1 = (x + 1)^2$. Ces deux expressions sont dans le même registre algébrique ;
- la conversion : il s'agit de la transformation d'une représentation d'un registre à un autre. Cette activité de transformation est externe par rapport au registre et à la représentation du départ. Par exemple, le passage de la loi d'ohm en physique, $u=R.i$, à une droite, ou inversement, est une conversion entre ces deux registres. Plusieurs recherches en didactique des mathématiques, montrent que chez les élèves « *la conversion des représentations sémiotiques constitue l'activité cognitive la moins spontanée et la plus difficile à acquérir chez la grande majorité des élèves* » (Duval, 1995, page 44).

Ces opérations sont aussi importantes en physique. En effet, les élèves peuvent exprimer un contenu similaire, ou des contenus proches à travers des registres sémiotiques différents. Par exemple, comme indiqué dans la figure 2, il sera possible d'exprimer la relation entre la tension aux bornes d'un condensateur et la différence de potentiel à partir de deux registres : le registre algébrique ($U_{AB} = V_A - V_B$), et le registre symbolique (flèche rouge sur la figure 2) etc.

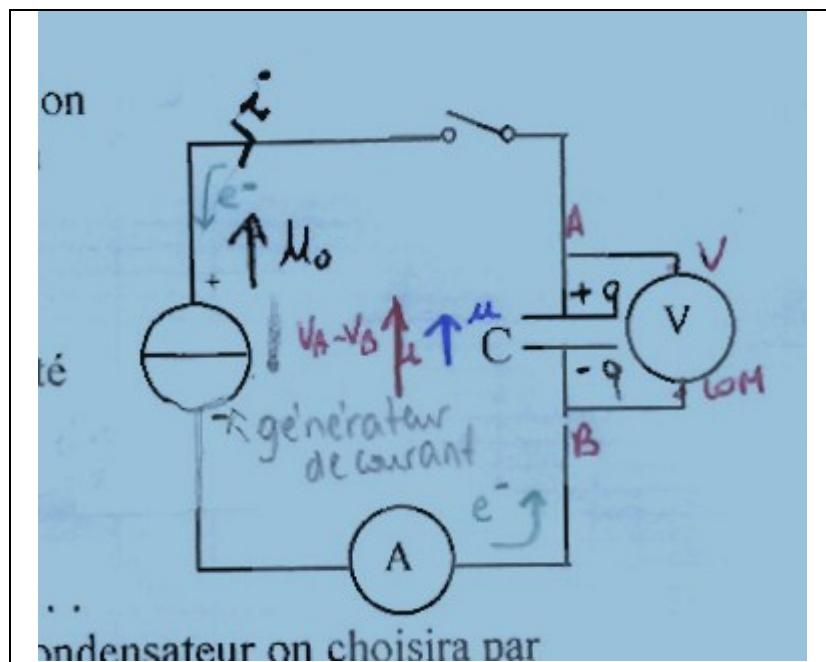


Figure 2 : Copie d'écran contenant différents registres sémiotiques.

Les registres sémiotiques peuvent être utilisés pour représenter des éléments appartenant au monde des objets/événements ou au monde des théories/modèles. Avec des registres

sémiotiques (tel que le langage naturel, par exemple) et avec les opérations sur les registres sémiotiques, il est possible de mettre en lien des éléments appartenant aux deux mondes de la modélisation. Pour nous, la construction de la signification d'un concept passe par différents registres sémiotiques exprimant ce concept et par leur mise en lien (registre du langage naturel, graphe, tableau). Ainsi dans chacun des deux mondes, on rencontre des phénomènes liés à la sémiocité.

Certains travaux portant sur la modélisation font référence à une réalité incontournable aujourd'hui les nouvelles technologies d'information et de communication dans l'enseignement.

1.3 Les TICE dans l'enseignement

Au fur et à mesure des années et des progrès de la technologie, de sa diffusion et de l'introduction de la technologie d'information et de communication dans l'enseignement (TICE) à travers le monde, les dispositifs TICE se sont rapidement multipliés (Basque & Lundgren-Cayrol, 2003). Avec cette hausse remarquée dès les années 80, plusieurs chercheurs ont proposé des classifications des TICE. Les critères d'établissement de typologies sont variables, Basque & Lundgren-Cayrol (2003) dans un article (intitulé une typologie des typologies des applications des TIC en éducation) regroupent les typologies des usages des TIC en éducation sous trois catégories :

- centrée sur l'école (Watts, 1981 ; Dubuc, 1982 ; Aylwin, 1984). Cette préoccupation était plus présente avant les années 90 car l'objectif était de justifier la nécessité d'investir dans de nouvelles ressources d'enseignement (Basque & Lundgren-Cayrol, 2003). A partir de 1990, les typologies se concentrent sur la catégorie suivante ;
- centrée sur l'enseignement et l'apprentissage ; ces typologies ont pour critère de classification une ou plusieurs variables définissant une situation pédagogique. Nous pouvons citer (Taylor, 1980 ; Plante, 1984 ; Allessi & Trolip, 1991 ; de Vries, 2001 ; Pinto et al, 2010) ;
- centrée sur l'apprenant (Jonassen, 2000). Ces typologies ont commencé à émerger dès les années 90. Il s'agit de typologies qui font référence aux tendances naturelles des individus à apprendre (expérimenter, informer, renforcer, intégrer, etc.).

Nous détaillons ci-après deux typologies centrées sur l'enseignement et l'apprentissage car nos questions de recherche réfèrent plutôt à cette catégorie.

1.3.1 Typologies des logiciels éducatifs

Nous présentons deux typologies de logiciels éducatifs que nous jugeons pertinentes dans notre recherche : la typologie élaborée par de Vries (2001) et celle élaborée par Pinto et al (2010).

de Vries (2001) propose une typologie des logiciels éducatifs en prenant en compte huit fonctions pédagogiques qui correspondent globalement aux logiciels que l'on peut trouver sur

l'apprentissage assisté par ordinateur. Elle propose une caractérisation des fonctions pédagogiques suivant trois aspects (voir tableau 1) :

- les tâches proposées aux élèves ;
- le point de vue théorique (théories de l'apprentissage) sous-jacent à la conception des logiciels ;
- la manière dont sont traitées les connaissances.

La typologie des fonctions pédagogiques correspond globalement aux types de logiciels que l'on peut trouver dans la littérature sur l'apprentissage (de Vries, 2001). Les types de logiciels sont les suivants : tutoriel, exercices répétés, tuteur intelligent, jeu éducatif, hypermédia, simulation, micro-monde et apprentissage collaboratif.

Fonction pédagogique	Type de logiciel	Théorie	Tâche	Connaissances
Présenter de l'information	Tutoriel	Cognitiviste	Lire	Présentation ordonnée
Dispenser des exercices	Exercices répétés	Behavioriste	Faire des exercices	Association
Véritablement enseigner	Tuteur intelligent	Cognitiviste	Dialoguer	Représentation
Captiver l'attention et la motivation de l'élève	Jeu éducatif	Principalement behavioriste	Jouer	-----
Fournir un espace d'exploration	Hypermédia	Cognitiviste Constructiviste	Explorer	Présentation en accès libre
Fournir un environnement pour la découverte de lois naturelles	Simulation	Constructiviste Cognition située	Manipuler, observer	Modélisation
Fournir un environnement pour la découverte de domaines abstraits	Micro-monde	Constructiviste	Construire	Matérialisation
Fournir un espace d'échange entre élèves	Apprentissage collaboratif	Cognition située	Discuter	Construction de l'élève

Tableau 1 : Les huit fonctions pédagogiques et leurs caractéristiques selon de Vries 2001.

Nous poursuivons avec une autre typologie. Pinto et al (2010) présentent les outils TICE couramment utilisés dans les classes de sciences suivant sept catégories :

- logiciel qui permet aux enseignants de concevoir des tâches interactives (Software that allows teachers to design interactive tasks) : il permet aux enseignants de créer différents types de tâches et d'exercices à choix multiples, tels que les mots croisés, des questions avec les réponses correspondantes, etc. Le principal objectif de ces exercices est que les élèves associent la réponse correcte à une question précise. Or, cette correspondance ne signifie pas que les élèves aient compris les concepts ou les modèles abordés. Pour cette raison, Pinto et al (2010) considèrent ces outils comme une ressource qui favorise l'apprentissage par cœur et non pas un apprentissage profond ;

- logiciel pour représenter et organiser les savoirs (Software to represent and organize knowledge) : ce sont des logiciels qui facilitent l'organisation des connaissances des élèves de manière graphique et structurée ;
- logiciel pour visualiser les systèmes et les phénomènes (computer animations) : ce sont les applications qui permettent de visualiser des images dynamiques des systèmes tout en explorant les représentations virtuelles du monde physique. Les animations informatiques permettent seulement aux utilisateurs de visualiser les représentations ou les modèles (ils ne peuvent pas essayer de modifier certaines conditions ou paramètres) ;
- logiciel pour visualiser et interagir avec les systèmes et les phénomènes, simulations informatiques, les laboratoires virtuels (computer simulations, virtual laboratories) : Ces applications permettent aux utilisateurs de visualiser et d'interagir. Les simulations informatiques et laboratoires virtuels permettent de représenter certains systèmes ou des contextes dans lesquels des procédures expérimentales ou des phénomènes ont lieu, en utilisant des modes de représentations spécifiques (graphes, textes, expressions mathématiques, diagrammes, etc.). Ces logiciels tendent à supprimer toute irrégularité dans des graphiques, et les conditions expérimentales sont toujours idéales. Pour cette raison, Pinto et al (2010) soulignent que les résultats obtenus par ces logiciels devraient être mis en contraste avec les résultats d'expériences réelles pour éviter que ces logiciels ne soient vus comme trompeurs ou simplificateurs des configurations réelles. Ces logiciels sont considérés comme des outils qui facilitent la relation entre la réalité (ce qui est observable) et les modèles (Pinto & Gutiérrez, 2004 ; Evagorou et al, 2009) ;
- logiciel de modélisation informatique (Computational modelling tools) : ces logiciels facilitent la promotion du raisonnement des élèves en terme de variables qui influent sur certains phénomènes et sur les relations qualitatives ou quantitatives entre ces variables. Il permet aussi de faire fonctionner des modèles (introduits sous forme d'équations ou d'icônes) pour visualiser le résultat obtenu et le comparer avec le comportement du système de référence du monde réel.

Les logiciels de modélisation informatique permettent d'insérer un modèle dans le logiciel. Ces modèles sont mis en place par le concepteur dans les simulations informatiques. L'utilisation du logiciel de modélisation demande à l'utilisateur d'analyser les composantes d'un système et les relations entre ces composantes, alors qu'en utilisant une simulation par ordinateur il suffit de connaître le décodage et le dynamisme en matière de lois scientifiques, de principes et de modèles ; Dans notre étude, le logiciel Rgressi utilisé par l'enseignant appartient à cette catégorie

- laboratoire virtuel (Video-Based Laboratory) : ces applications permettent la relecture sur un écran d'ordinateur de vidéos de mouvements qui ont été précédemment enregistrés, et de sélectionner la position d'un objet tout au long du mouvement. Ces logiciels permettent de visualiser la vidéo des phénomènes et simultanément d'afficher un diagramme de position, de vitesse ou d'accélération en fonction du temps. Ce type

de logiciel est considéré comme étant un outil puissant pour améliorer la compréhension des élèves sur les graphiques physiques (Beichner & Abbott, 1999).

- logiciel d'acquisition des données (Data-logging systems and Microcomputer-Based Laboratory) : ces systèmes comprennent des capteurs qui peuvent être connectés aux ordinateurs en utilisant des interfaces externes ou internes. Ces outils permettent de recueillir des données sur l'évolution d'un certain signal en temps réel (moment du déroulement) et de représenter cette évolution par des graphiques ou des tableaux numériques sur l'écran de l'ordinateur par le biais d'un logiciel spécifique. Dans notre étude, le logiciel Mesure électrique utilisé par l'enseignant appartient à cette catégorie

Ces logiciels permettent aux utilisateurs, dans notre cas les étudiants et l'enseignant, un retour visuel sur l'écran d'ordinateur, où il est possible de visualiser les événements en temps réel et les variables mesurées ainsi que les modèles théoriques (Brasel, 1987 ; Beichner, 1990).

Dans cette partie, nous avons présenté deux typologies de logiciels éducatifs. La typologie de de Vries (2001) est structuré en critères de caractérisation explicite alors que la typologie de Pinto et al (2010) est organisée selon les potentialités des logiciels ; « *Our aim here is to present the potential (or lack of potential) of them³ [...]* ». Le panel des logiciels sur lesquels portait la typologie de Vries était moins développé que le panel des logiciels sur lesquels portait la typologie de Pinto ; il y a neuf ans de différence entre les deux articles.

Nous avons abordé à la fin du paragraphe (§ 1.2.2) le fait que les travaux sur la modélisation tendent à introduire les nouvelles technologies. Quel est le rapport entre la modélisation et les TICE ?

1.3.2 Modélisation et TICE

Dans les deux typologies des logiciels éducatifs que nous avons retenues et présentées dans le paragraphe (§ 1.3.1), nous pouvons remarquer l'utilisation du terme modélisation, modèle. Le terme modélisation utilisé dans les typologies de de Vries (2001) et de Pinto et al (2010) est en lien avec la simulation. Dans l'enseignement par la modélisation et la simulation, l'objectif pédagogique principal est que les élèves construisent des savoirs en modélisant des phénomènes scientifiques. Alors que l'enseignement de la modélisation est différent même s'il prend en charge des contenus scientifiques (Coquidé & Le Maréchal, 2006).

À travers les deux typologies que nous avons retenues, nous pouvons remarquer l'importance des TICE et de la modélisation, ainsi que leur corrélation pour différents objectifs d'enseignement. Dans les parties suivantes, nous discutons de la relation entre la modélisation et deux outils TICE dans deux types de logiciel (la modélisation et le logiciel d'acquisition des données numériques et la modélisation et le logiciel de traitement des données).

³Them : educational ICTs

1.3.3 Modélisation et logiciel d'acquisition des données numériques

Dans ce cas, l'ordinateur joue le rôle d'un outil de laboratoire (Beaufils, 2005). L'acquisition des données par un logiciel génère des résultats dans un fichier. Pour obtenir ces résultats il y a eu une sélection dans le monde des objets et des évènements par exemple une sélection de certaines valeurs toute les « X » secondes. Comme tout instrument de mesure, le logiciel d'acquisition des données donne un accès au monde des objets et des évènements sachant qu'il est porteur d'une théorie.

1.3.4 Modélisation et logiciel de traitement des données numériques

Dans ce cas, l'ordinateur permet d'effectuer des traitements des données en se servant des modèles physiques prédéfinis dans un logiciel ou en introduisant des relations algébriques dans ce logiciel. Dans notre séquence, l'enseignant demande aux élèves de traiter leurs données avec un tel logiciel (Regressi). Dans ces logiciels, il y a parfois le terme modélisation qui figure dans un des onglets. Cette terminologie « modélisation » ne doit pas être comprise dans le sens où nous l'avons utilisée dans notre cadre théorique, de la démarche de modélisation que nous avons évoquée mais dans le sens de choisir une forme parmi des formes prédéfinies pour représenter les points expérimentaux de la façon la plus proche des résultats théoriques.

La combinaison de ces deux tâches nécessitera parfois l'utilisation de deux logiciels : un logiciel d'acquisition des données et un logiciel de modélisation ou de simulation. L'idée consiste à lancer une acquisition numérique des données et ensuite à envoyer l'enregistrement obtenu par le logiciel d'acquisition vers un autre logiciel de modélisation. La seule condition est que le logiciel de traitement ou de modélisation des données doit être capable de lire les résultats obtenus par le logiciel d'acquisition. À titre d'exemple deux logiciels qui permettent d'effectuer ces deux tâches et qui sont compatibles sont les logiciels Mesure Electrique et Regressi. Pour plus de détails sur ces deux logiciels, voir annexe 3.

Dans d'autres cas, il existe des logiciels qui permettent d'assurer les deux tâches ; la tâche d'acquisition des données et la tâche de modélisation c'est le cas du logiciel Synchronie qui n'était pas présent dans ce lycée. Dans ces logiciels, la modélisation signifie choisir un modèle parmi un ensemble prédéfini. À titre d'exemple, le logiciel « synchronie » utilisé pour l'enseignement de la physique et de la chimie permet de réaliser les deux tâches en même temps. Synchronie⁴ est un logiciel non libre, la version d'essai a une durée de validité d'un mois. Ci-dessous deux copies d'écrans du logiciel Synchronie (figure 3 et figure 4).



⁴ Elle est récupérable en suivant le lien suivant : <http://www.phy chim.ac-versailles.fr/spip.php?page=recherche&recherche=synchronie>

Figure 3 : Copie d'écran de la barre de paramétrage d'acquisition et de modélisation du logiciel synchronie.

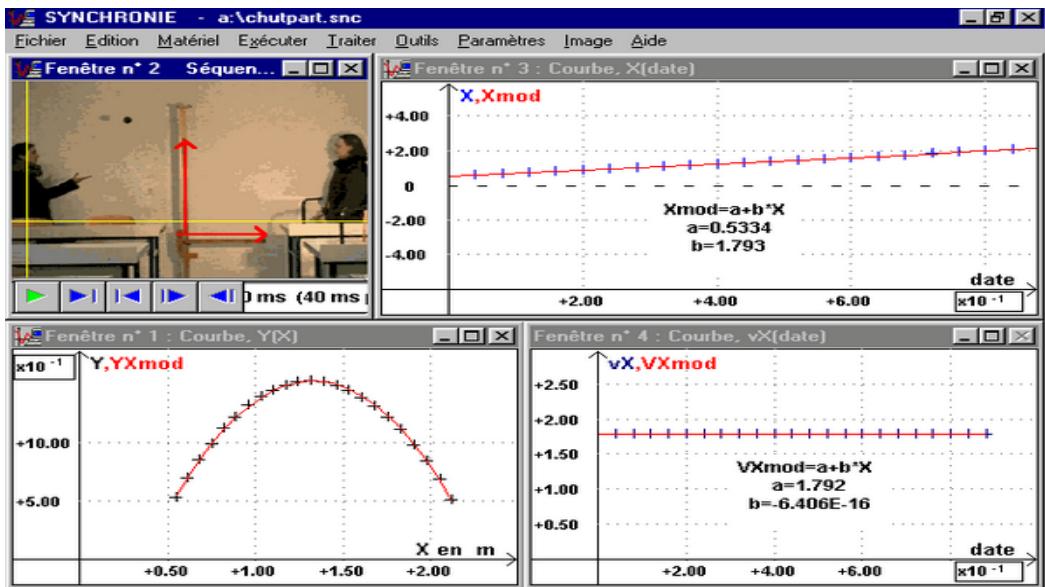


Figure 4 : Copie d'écran de synchronie où quatre fenêtres sont visibles momentanément. Cette copie d'écran est récupérable sur : <http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/STAGES/STAGE00.htm>

L'avantage d'utiliser ces deux outils est que les élèves ont l'opportunité de réaliser et d'observer les résultats d'une expérience réelle et de la comparer avec les résultats théoriques ; c'est ce que Beaufils (ibid) appelle confrontation modèle/mesures. D'autres chercheurs comme Feurzeig & Roberts (1999) ou Penner (2000) ont effectué des études sur l'utilisation des outils informatiques pour les processus de modélisation dans l'enseignement des sciences et ils ont donné des résultats positifs en terme d'apprentissage significatif chez les élèves.

1.4 Inscriptions

Dans les communications en classe, plusieurs registres sémiotiques sont utilisés. L'intégration de ces registres sémiotiques, en tenant compte des possibilités offertes par les TICE, est importante. Il nous semble utile de nous intéresser à la notion d'inscription que nous allons développer dans la partie suivante. Dans cette partie, nous commençons par une définition du terme « inscription » (§ 1.4.1). Nous proposons une analogie entre la définition du terme inscription donnée par Latour (1985) et les inscriptions en classe définies dans le § (1.4.2).

Les logiciels offrent une grande variété des représentations dans un ou plusieurs registres sémiotiques ; certains auteurs appellent les différentes représentations visibles sur l'écran d'un logiciel « external representations » (Schnotz & Lowe, 2003) ou « multiple external representations, MERs » (Ainsworth, 2006). L'expression « external representations » ou MERs diffère de « internal representations » qui est utilisée pour désigner les représentations mentales qui peuvent être créées à partir des « external representations ». Sur l'écran des logiciels, nous pouvons voir différentes représentations de différents registres sémiotiques. Pour certains chercheurs, ces représentations favorisent l'apprentissage des élèves (Mayer, 2001 ; Schnotz, 2002). D'autres chercheurs explicitent qu'il faut toujours se poser des

questions sur le discours qui doit accompagner ces représentations et sur la manière dont il faut mettre en relation les différentes représentations.

1.4.1 Inscriptions

Le terme « inscription » a été utilisé par Latour (1985) qui est un sociologue, anthropologue et philosophe des sciences. Latour (*ibid*) ne définit pas explicitement les inscriptions ; il souligne les critères qu'une inscription doit satisfaire. Les inscriptions sont des objets (figures, diagramme, tableau, liste etc.) et doivent être : « *mobiles, immuables, présentables, lisibles et combinables* ». Nous reprenons brièvement l'explication donnée par Latour (*ibid*) pour chacun des critères que doit satisfaire une inscription :

- mobile : rassembler et « transporter des états quelconques du monde en quelques lieux » ;
- immuable : conserver les traces sans les détruire lors d'un transport d'un lieu à un autre. Exemple : transporter des colonies microbiennes après les avoir fixé avec de la gélatine ;
- présentable : présenter quelque chose à quelqu'un en utilisant des signes ;
- lisible : caractériser une écriture donnée pour exprimer la facilité de la percevoir, de la lire et de la déchiffrer ;
- combinable : mettre en rapport différents morceaux pour visualiser et déduire des résultats que la personne ne peut pas déduire avec un seul morceau.

Latour mentionne que convaincre des scientifiques nécessite la mobilisation d'inscriptions cohérentes et combinables (ce qu'il appelle aussi preuve). Une preuve est constituée d'un ensemble d'inscriptions, d'où le caractère fondamental de leur combinaison possible (Latour, 1985). Ces inscriptions sont des témoins visuels (indirects, médias) des objets matériels dont traite l'argument mis en avant. Elles permettent de rendre ces choses présentes localement, de les rassembler (vue synoptique), et par conséquent de constituer de puissants piliers sur lesquels un scientifique s'appuie pour convaincre ses pairs (exemple d'une carte, d'une bibliographie...). Pour Latour (1985), la constitution et l'évolution d'une science doivent toujours être associées à l'invention d'un dispositif d'inscription permettant une vue synoptique organisée d'un certain nombre des objets matériels ou objets de savoir. Par conséquent, l'auteur souligne que toute invention (exemples de la perspective, de l'imprimerie etc.) qui permettra d'augmenter la mobilité, l'immutabilité, la lisibilité et le caractère combinable d'inscriptions sera utilisée par les scientifiques pour rendre plus forts les arguments qu'ils souhaitent défendre.

Roth & McGinn (1998) se basent sur Latour & Woolgar (1986) et décrivent les inscriptions comme des représentations sur un papier ou sur un ordinateur “scriptures, pictures, signs, graphs, lists and diagrams embodied in some medium, such as paper or computer monitors” ; elles peuvent être réalisées par les élèves.

Kaput (1999) explique que la notion d'inscription présentée par Latour (1985, 1987, 1993) est considérée par un observateur extérieur comme des marques ou des traces sur un support

physique : « *the word “inscription” is used by third-party observers to characterize marks in a physical medium apart from any reference to how they might be used, understood, or perceived, and, apart from any structure they might embody, from the third-party point of view. They are merely marks in a medium* » (idem, page 5)

Dans ces définitions, nous trouvons des points communs : les inscriptions sont des représentations visuelles sur un médium (papier, ordinateur), elles peuvent être produites par un chercheur, par un enseignant ou par des élèves sans interactions verbales. Dans le paragraphe suivant, nous allons parler des inscriptions réalisées sur un médium précis qui est le tableau.

1.4.2 Inscriptions en classe

Nous allons détailler ici notre point de vue en faisant une analogie entre la transmission du savoir d'un chercheur à un autre (ou à la communauté de chercheur) et la co-construction du savoir scolaire entre un enseignant et ses élèves dans une classe.

Nous nous intéressons à ce qui est écrit au tableau. Nous considérons qu'on peut appeler « inscription » ce qui apparaît au tableau pour les raisons suivantes :

- le savoir enseigné écrit au tableau est mobile dans le sens où les élèves peuvent prendre des notes sur leurs cahiers, ajouter des commentaires, récupérer des photocopies de la fiche d'activité, etc. ;
- le savoir enseigné noté au tableau est présentable puisqu'il présente différents types d'objet. Par exemple, si l'enseignant trace un circuit électrique au tableau par les symboles et les icônes d'une résistance et d'une bobine, cela signifie qu'il s'agit d'un circuit électrique constitué d'une bobine et d'une résistance ;
- le savoir enseigné écrit au tableau est lisible et clair pour que les élèves puissent comprendre ce que l'enseignant note ;
- le savoir enseigné écrit au tableau est combinable avec d'autres savoirs ce qui est logique étant donné que l'enseignement consiste à passer de ce qui est simple à ce qui est complexe (d'une notion vers un concept) ou plutôt à emboiter des couches les unes sur les autres.

Nous rappelons que des chercheurs en science de l'éducation évoquent les inscriptions en classe, mais dans le sens des écrits (*writing*) réalisées par les élèves, car l'écrit a des effets positifs sur les apprentissages : « *Most of the mentioned approaches consider writing as part of a method of teaching* » (Schreiber, 2003, page 3). Cette approche permet aux élèves de s'approprier les notions et les concepts (Selter, 1993) et de réfléchir sur leurs propres écritures (Morgan, 1998 ; Pimm, 1987).

1.4.3 Inscription et TICE en classe

Nous postulons que l'utilisation des TICE peut influencer le nombre et la complexité des inscriptions car :

- l'utilisation des TICE peut augmenter « la mobilité du savoir scolaire » ; l'enseignant peut mettre les activités à préparer par les élèves ainsi que les solutions de ces activités en ligne (sur une plateforme, un blog, une page personnelle de l'enseignant). Cette démarche suppose que les élèves aient accès à Internet pour qu'ils puissent télécharger ce qui est en ligne. Par conséquent, l'utilisation des TICE dans cette perspective n'est qu'une invention permettant d'augmenter la mobilité et la lisibilité du savoir enseigné ou à enseigner ;
- l'utilisation des TICE peut augmenter la lisibilité ; une projection de l'écran de l'ordinateur, d'un diaporama, d'un document Word, peut-être plus lisible que l'écriture de l'enseignant au tableau ;
- l'utilisation des TICE peut augmenter le caractère combinable d'inscriptions. L'enseignant peut projeter l'écran de son ordinateur sur un tableau blanc et compléter au feutre des informations au fur et à mesure qu'il en a besoin. Ces ajouts peuvent rendre plus compréhensible une situation complexe, et l'adapter au débat de la classe.

Dans la figure 5, nous donnons un exemple issu de nos données où l'enseignant a effectué des inscriptions lors de la projection de l'écran de son ordinateur. Dans cette copie d'écran, les objets inscrits sont sur la surface de la projection (circuit électrique, valeur numérique, symboles).

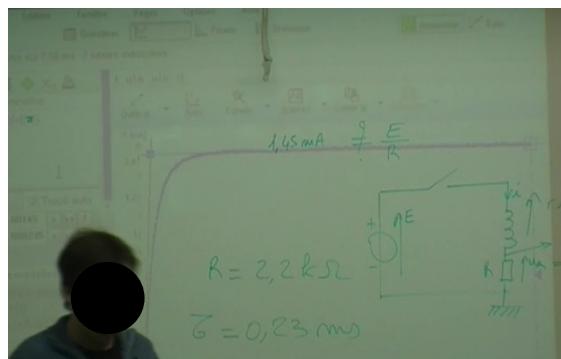


Figure 5 : Copie d'écran des objets inscrits au tableau lors de la projection de l'écran d'un logiciel de traitement des données.

de Vries (2006) a évoqué le terme « inscription » et l'a relié aux TICE et aux MERs ; « *L'expression « représentations externes multiples » ou « représentations éducatives » est alors apparue pour désigner toute configuration d'inscriptions sur écran d'ordinateur créée par un enseignant ou par un concepteur de logiciel et qui permette à l'enseigné d'interagir avec un contenu visé (Ainsworth, 1999, 2006 ; Schnitz & Lowe, 2003 ; Van Someren, Reimann, Boshuizen & de Jong, 1998)* » (de Vries, ibid, page 7). Nous pouvons dire que l'utilisation de ce terme par de Vries est dans le sens de Latour (1985).

Dans une communauté de chercheurs, les inscriptions visuelles peuvent être suffisantes pour communiquer des idées, car cette communauté profite d'un large consensus d'implicite. Par conséquent, le rôle du discours peut être faible devant les inscriptions. En classe, l'enseignant

ne peut pas compter sur un tel implicite avec ces élèves. Par conséquent, la transmission de savoirs nécessite qu'un discours accompagne ces inscriptions.

Nous nous intéressons à la communication du savoir dans une situation précise, la classe où il y a des interactions entre l'enseignant et ses élèves. Nous utilisons ce terme dans un sens plus large que celui utilisé par de Vries (2006) tout en effectuant une transposition de la définition de Latour (1985). Pour nous, les inscriptions sont des représentations externes multiples, réalisées par l'enseignant, constituées de la projection de l'écran de l'ordinateur ou d'un diaporama, et/ou d'écrits ajoutés à la main. Elles sont accompagnées d'un discours qui leur donne sens"

1.5 Conclusion de la première partie

Les éléments d'une inscription pourront relever d'un ou de plusieurs registres sémiotiques et les savoirs enseignés peuvent relever des deux mondes de la modélisation. L'inscription s'enrichit au fur et à mesure que l'enseignant avance dans l'explication du savoir enseigné et au fur et à mesure de l'ajout des objets inscrits. L'enseignant peut effectuer plusieurs opérations sur les registres sémiotiques constituant une même inscription ou entre les registres sémiotiques de différentes inscriptions pour parvenir à un objectif d'apprentissage déterminé (savoir à enseigner précis). De même, l'enseignant peut effectuer des liens entre différents mondes dans une même inscription ou entre les différentes inscriptions.

Il est bien entendu que ces phénomènes existent aussi lorsque l'enseignant écrit au tableau sans utiliser les TICE.

2. Interactions langagières en classe

Dans cette partie, nous partons de la définition du discours et de la multimodalité du discours dans la littérature de recherches. En effet, la multimodalité renvoie à la forme que prend le discours. Nous passons ensuite à la présentation de l'élément théorique « approche communicative » qui est un moyen d'envisager le contenu du discours et qui permet également de caractériser la nature des interactions en classe. À la fin de cette partie, nous présentons l'articulation que nous réalisons entre les différents éléments théoriques de cette partie.

Il existe des théories proprement linguistiques pour l'étude des interactions comme celle développé par (Roulet et al, 1985 ; Roulet, 1999). Roulet (2001) découpe le discours en unités tel que l'échange, l'intervention et l'acte. Nous nous restreindrons à des théorisations qui sont plus spécifiques à la didactique des sciences.

2.1 Discours et multimodalité

Le discours est « *n'est pas considéré comme une structure arbitraire mais comme l'activité de sujets inscrits dans des contextes déterminés ... le discours ne peut pas être l'objet d'une approche purement linguistique* » (Maingueneau, 1996, page 28). Le discours est « *l'usage de la langue dans un contexte particulier* » (idem). Maingueneau (1996) utilise l'expression

« type de discours » en donnant l'exemple suivant « discours de l'enseignant en classe ». Cela est assez proche, semble t-il, de l'emploi de langages sociaux par Bakhtine (1986).

Par le discours, il est possible de créer une dynamique interactionnelle entre différents partenaires : tours de parole, discussion etc. Dans notre cas, les partenaires sont l'enseignant et ses élèves. Cette dynamique interactionnelle joue un rôle fondamental dans la construction des savoirs en contexte scolaire. L'interaction ne se limite pas à sa dimension verbale. Elle s'organise « grâce à une pluralité de ressources multimodales : les gestes, les regards, les postures corporelles, les mouvements, l'agencement spatial des participants » (Mondada, 2005, page 111). L'ensemble des interactions qui se déroulent en classe constituent un discours.

Dans une autre perspective, Arzarello & Robutti (2010) mettent l'accent sur la complexité et la multimodalité du discours en classe de mathématiques. Arzarello & Edwards (2005) se basent sur des références en sciences cognitives (Loncke et al, 2006) et en neurosciences (Gallese & Lakoff, 2005) pour dire que les humains sont des personnes complexes, et par conséquent, le discours est aussi complexe ; le discours n'est pas seulement verbal mais il est aussi multimodal.

Dans ce qui suit, nous présentons l'approche communicative développée par Mortimer & Scott (2003), qui permet de caractériser la nature des interactions dans une classe.

2.2 L'approche communicative

Mortimer & Scott (2003) ont développé un cadre théorique basé sur la perspective socioculturelle de l'enseignement et de l'apprentissage. Le cadre théorique vise à analyser les moyens par lesquels l'enseignant agit pour guider les interactions en classe des sciences. Le cadre théorique repose sur cinq aspects : « teaching purposes », « content », « communicative approach », « teacher interventions » et « patterns of interactions ».

L'étude du troisième point « l'approche communicative » peut fournir une perspective analytique sur la façon dont l'enseignant travaille des idées ou des connaissances sur le plan social dans une classe ; « [...] *communicative approach provides a perspective on how the teacher works with students to develop ideas in the classroom* » (Scott et al, 2006, page 4). Nous considérons que cet élément est important pour analyser le discours didactique en classe de sciences.

2.2.1 Dimension « dialogique » versus « autoritative »

Selon Mortimer & Scott (2003), l'approche communicative de la séance d'enseignement peut-être ‘dialogique’ ou ‘autoritative’. Elle est qualifiée de « dialogique » si l'enseignant prend en considération les différents points de vue énoncés par les élèves. L'approche est qualifiée d’« autoritative » si l'enseignant ne prend en considération qu'un seul point de vue ; la plupart du temps ce point de vue correspond au point de vue le plus proche des savoirs scolaires enseignés.

La traduction du terme « autoritatif » en anglais est « authoritative » en français (Buty & Badreddine, 2009). En effet, le terme autoritatif utilisé en anglais dans le cadre théorique de Mortimer & Scott (2003) qualifie la capacité de l'enseignant à constituer une référence pour les points de vue des élèves, relatif au savoir à enseigner. La conséquence est que la traduction du terme « autoritatif » n'est pas « autoritaire » car cette dernière est en lien avec la capacité de l'enseignant à donner des ordres aux élèves (leur demander de se taire, leur demander de se mettre en rang, les évaluer).

Scott et al (2006) expliquent que les deux approches « dialogique » versus « authoritative » ont une relation dialectique : l'enseignement ne peut pas se faire en adoptant une seule approche ; « [...] any sequence of science lessons, which has as its learning goal the meaningful understanding of scientific conceptual knowledge, must entail both authoritative and dialogic passages of interaction » (ibid, page 2). Un des rôles de l'enseignant est d'alterner dans son discours les deux approches (dialogique-autoritative), suivant la situation dans laquelle il se trouve, de façon à rythmer l'interaction avec les élèves et par conséquent à gérer l'avancée et l'agencement du savoir enseigné.

Étant donné que la dimension « dialogique » versus « authoritative » est indépendante du nombre d'individus en interaction, Scott et al (ibid) évoquent une deuxième dimension : « interactive » versus « non-interactive ».

2.2.2 Dimension « interactive » versus « non-interactive »

L'approche est qualifiée d'« interactive » s'il y a plus d'une personne qui participe au discours, tandis qu'elle est qualifiée de « non-interactive » si une seule personne participe. La combinaison de ces deux dimensions donne les quatre classes de l'approche communicative suivantes :

- interactive/dialogique ;
- interactive/authoritative ;
- non-interactive/dialogique ;
- non-interactive/autoritative.

Scott et ses co-auteurs (2006) considèrent que l'alternance entre les deux discours favorise l'apprentissage : “*the transition between dialogic and authoritative interactions as being fundamental to supporting meaningful learning of disciplinary knowledge as different teaching purposes are addressed*” (Scott et al, 2006, page 19).

Ces auteurs indiquent que le discours dialogique peut avoir différents niveaux d'interanimation :

- « low interanimation » : l'enseignant collecte les différentes idées de la classe et les écrits, par exemple, au tableau ;
- « high interanimation » : l'enseignant collecte tout d'abord les idées (low interanimation) et ensuite les compare (par exemple : l'enseignant dit à haute voix :

l'élève B a dit ça, l'élève C a dit ça, qu'en penses-tu ? (question posé à l'élève D) (Scott et al, 2006).

Cette approche développée par Mortimer & Scott (2003) permet d'étudier l'approche communicative en classe. La répartition des informations (savoir à enseigner) dans le discours pourra être segmentée selon des critères définis. Dans ce qui suit, nous présentons quelques unités constituant le discours : le thème, le sous-thème, le synopsis et l'épisode.

2.3 Unités constitutives d'un discours

Le discours peut être découpé en unités plus ou moins grandes. Dans cette partie, nous présentons les différentes unités constitutives d'un discours. Nous commençons par le thème (§ 2.3.1) puis nous continuons avec les sous-thèmes (§ 2.3.2) qui sont des unités plus petites que le thème. Nous présentons ensuite les épisodes (§ 2.3.3), qui sont des unités plus petites que les sous-thèmes. Ces trois unités permettent une mise en évidence de la progression du savoir en jeu dans la classe. Elles constituent des moyens qui permettent aux chercheurs d'analyser le discours dans une classe des sciences.

2.3.1 Le thème

Le thème est une unité « *d'une durée de l'ordre de quelques dizaines de minutes. Chaque unité a une cohérence thématique dans la mesure où la majorité des énoncés est reliée au même thème. [...]. Ces unités ont une structure, avec des frontières et une cohérence thématique. La plupart du temps elles incluent une introduction et une conclusion, la majorité des énoncés est reliée au même thème* » (Tiberghien et al, 2007). Le thème permet une mise en évidence de la progression du savoir en jeu dans la classe.

En reprenant la définition de Tiberghien et al (2007) comme référence, Cross et al (2009) ont défini le thème de la façon suivante: « *le thème est une unité de découpage du discours qui comporte deux dimensions : une dimension de savoir, c'est-à-dire qu'au sein d'un thème il y a cohérence autour d'un même objet de savoir, et une dimension interactionnelle, c'est-à-dire un ensemble d'actions et de sens produits par des acteurs avec des frontières souvent marquées par des marqueurs langagiers ou gestuels* » (Cross et al, 2009, page 4).

Certaines frontières sont parfois claires et lisibles quel que soit le chercheur qui effectue le découpage en thème d'une vidéo donnée alors que d'autres ne le sont pas. Dans l'article de Cross et al (2009), quatre chercheurs ont découpé en thème une même bande vidéo de physique d'une durée d'une heure portant sur les forces et le principe de l'inertie, et 5 chercheurs ont découpé une même bande vidéo de 1h40 minutes d'une séquence d'enseignement en chimie portant sur l'équilibre. Le résultat du découpage a montré que certains chercheurs dans leurs découpages ont des frontières communes. Les frontières communes correspondent à des changements très perceptibles de savoir en jeu, couplés à des marqueurs langagiers très forts qui sont généralement lisibles, par exemple : « *alors là je pense qu'on a répondu du coup aux trois premières exercices et on a fait toute la première*

partie du TP d'accord donc on passe maintenant à la deuxième partie, c'est le vif du sujet ». D'autres frontières ne sont pas repérées de la même façon par les différents chercheurs.

Les thèmes sont eux-mêmes décomposables en d'autres unités plus petites: des sous-thèmes (Tiberghien et al, 2007 ; Tiberghien & Buty, 2007).

2.3.2 Le sous-thème

Les critères de découpage en sous-thèmes sont différents et essentiellement sémantiques, puisque la définition du thème se réfère à son contenu de sens. Cependant, Badreddine et al (2007) ont indiqué un certain nombre de marqueurs langagiers qui peuvent aider à déterminer les frontières d'un sous-thème : alors, ensuite, revenons à, comme je le disais. D'autres indices, relatifs à l'activité de la classe, peuvent aussi y aider : le recours à un chapitre d'un manuel, la distribution de documents aux élèves, l'énonciation d'un exercice. Les sous-thèmes peuvent par exemple présenter une introduction, et pas de conclusion, ou l'inverse.

2.3.3 L'épisode

Mortimer et al (2007) définissent l'épisode comme suit : « *un épisode est un ensemble cohérent d'actions et de sens produits par les participants en interaction. Il a un clair commencement et une claire fin et il peut être distingué des événements antérieurs et postérieurs* » (idem, page 61, notre traduction). Donc, un épisode est une unité élémentaire de sens, caractérisé par son contenu sémantique, les actions des participants, la nature des interactions entre les participants, le positionnement des acteurs sur l'espace physique d'interaction, et les ressources utilisées par les acteurs. Chaque épisode tient un rôle dans l'enchaînement du discours, et dispose de ses propres caractéristiques tant formelles que sémantiques.

Les frontières entre deux épisodes sont regroupées dans le tableau 2. Les indices non verbaux incluent des changements proxémiques (en relation avec l'orientation des participants : changement de position...) et kinésiques (en rapport avec les gestes et les mouvements du corps) ; les indices verbaux prennent en compte le changement d'intonation, le contenu ou le thème, les pauses, le genre du discours.

Verbal	Non-verbal	
	Proxémique	Kinésique
Changement de sujet ou transition dans le contenu de discours		
Changement de genre ; expressions didactiques	Changement de position	Gestes (par exemple : L'action de poser ou prendre des objets)
Changement d'intonation et de rythme ; pause		Mouvement de corps (par exemple : Changement de direction du regard)
Changement d'interlocuteur		

Tableau 2 : Indicateurs de changement d'épisode (Mortimer et al, 2007).

Il n'est pas question, pour déterminer la frontière entre deux épisodes, d'exiger que tous ces critères soient satisfaits simultanément ; ce serait d'ailleurs impossible. Il s'agit seulement de dire qu'on peut s'appuyer sur un ou plusieurs de ces indicateurs pour procéder à l'isolement des épisodes avec une relative précision, souvent à la seconde près.

2.4 Conclusion de la deuxième partie du cadre théorique

L'étude des phénomènes interactionnels caractéristiques d'une classe est une question actuelle (Filliettaz, 2005). Nous avons présenté dans cette partie quelques éléments théoriques; nous avons expliqué que le discours en classe de sciences est multimodal ; il fait appel à une pluralité de signes. Ce discours multimodal en classe de sciences peut-être décomposé en différentes unités : thème, sous-thème ou épisode. Le choix du découpage de discours en une unité définie dépend des questions de recherche et de la méthodologie d'analyse.

Une fois que le discours est segmenté, l'étude et la qualification des interactions entre l'enseignant et les étudiants peuvent être étudiées en se servant de l'approche communicative développée par Mortimer & Scott (2003).

3. Cohérence des séquences d'enseignement scientifique

Dans cette partie, nous partirons des travaux de recherche et des éléments de la littérature pour présenter la définition des termes « cohérence » et « cohésion » car ces deux termes apparaissent ensemble en général. Nous aborderons ensuite certains éléments de la littérature sur l'analyse des activités humaines à travers les différentes échelles temporelles en général puis nous focalisons en particulier les échelles d'analyses qui permettent d'étudier la dynamique temporelle d'une séquence d'enseignement. À la fin de cette partie, nous présenterons l'articulation que nous effectuons entre les différents éléments théoriques qui y sont développés dans cette partie.

3.1 Cohérence et cohésion

Dans cette partie, nous présentons des définitions certes non-exhaustives des termes cohérence et cohésion. Nous nous positionnons ensuite par rapport à ces termes.

Halliday & Hasan (1976) distinguent deux types de cohérence pour un texte : sa cohérence à l'égard du contexte de la situation et sa cohérence à l'égard de lui-même. Ces deux auteurs appellent la cohérence d'un discours à lui-même cohésion et la définissent comme « *un ensemble de possibilités qui existent dans le langage pour rendre un texte articulé* » (*notre traduction, idem, page 4*). Ils soulignent que « *le concept de cohésion est sémantique, il réfère aux relations de sens qui existent dans le texte, et qui le définissent comme un texte* ». L'identification des différents items cohésifs d'un texte repose sur le couple présupposition/préposé. Une cohésion « *apparaît quand l'interprétation de certains éléments du discours sont dépendants l'un de l'autre. L'un présuppose l'autre, dans le sens qu'il ne peut effectivement être décodé que par recours à celui-ci. Quand cela se produit, une*

relation de cohésion est établie, et les deux éléments, la présupposition et le présupposé, sont ainsi au moins potentiellement intégrés au texte» (notre traduction, idem, page 4).

Prenons l'exemple en physique suivant dans lequel nous mettons en gras les mots qui ont permis d'assurer une cohésion dans le sens de ces deux auteurs.

Elève : « *Monsieur, avec ce circuit on a toujours $u=ri+Ri=i(R+r)$* »

Enseignant : « ***avec ce circuit on a toujours $u=ri+Ri=i(R+r)$? bien sûr que non, il faut faire attention si on est en régime permanent ou en régime transitoire. Ce que tu viens de dire n'est vrai qu'en régime permanent ; ce n'est pas la même expression mathématique si on travaille en régime transitoire*** ».

Dans cet exemple, nous pouvons remarquer une cohésion assurée par le fait que l'enseignant reprend ce qu'un élève avait dit pour apporter plus de précision et attirer l'attention de l'élève sur le régime transitoire et le régime permanent.

Hobbs (1983) explicite que la cohérence du texte peut être caractérisée par « *l'existence d'une relation entre une proposition et la proposition ou la séquences de propositions antérieure(s) ou, plus rarement, postérieure(s)* ». L'existence d'une relation, dont la nature reste à préciser, entre un énoncé et la séquence discursive antérieure ou postérieure garantirait le caractère cohérent de l'ensemble.

De Beaugrande & Dressler (1981) évoquent également les deux termes cohérence et cohésion. Ils expliquent que la cohésion concerne le texte de surface, c'est-à-dire les mots qu'on voit ou qu'on entend et qui sont liés entre eux par des dépendances grammaticales. La cohérence concerne les concepts, les idées exprimées et les relations logiques entre elles.

Gagnon (2000) définit la cohérence en prenant en compte le paramètre de pertinence. La cohérence est lorsque l'interlocuteur reconnaît la pertinence d'un énoncé à l'égard du contexte dans lequel il est traité. S'il est en mesure de comprendre pourquoi cet énoncé est inséré à ce stade du déroulement textuel, il jugera la cohérence entre la séquence formée par cet énoncé et son contexte. Gagnon (*ibid*) définit la cohésion comme une relation sous-jacente à la cohérence : une relation de pertinence entre un énoncé P et le contexte C auquel il est confronté, relation dont résulte la cohérence de la séquence CP.

Les définitions présentées ci-dessus sont données en sciences du langage. Dans ce paragraphe, nous préciserons ce que nous entendons par la cohérence et la cohésion en didactique des sciences. Dans le langage commun⁵, la cohérence apparaît essentiellement, au sens figuré, comme un état de non-contradiction, d'harmonie, entre des éléments d'un tout, et donc d'un discours en ce qui nous concerne. La cohésion apparaît comme ce qui provoque la cohérence. Nous définissons donc :

⁵ <http://atilf.atilf.fr/>, consulté le 26 septembre 2011.

- la cohérence comme l'état de non-contradiction entre les savoirs dans un discours tout au long d'une séquence ;
- la cohésion comme l'ensemble des mécanismes langagiers qui contribuent à créer la cohérence d'un texte, compte tenu du contexte social qui lui donne sens (Martin, 2003). C'est dans l'expression « liens cohésifs » que cette signification se déploie le plus clairement ; ce sont les liens qui exercent la cohésion.

Un usage imprécis de ces deux termes peut conduire à un chevauchement de sens. Alors, quel est le rapport entre la cohérence et la cohésion ?

3.1.1 Cohérence et continuité

Le terme « continuité » a un sens bien différent du terme « cohérence » et du terme « cohésion ». La continuité décrit la non-interruption, temporelle ou spatiale, d'une entité. Le Trésor Informatisé de la Langue Française (<http://atilf.atilf.fr/>, consulté le 26 février 2012) mentionne que l'entité se poursuit identique à elle-même, ou avec des variations pratiquement imperceptibles. C'est ce sens que ce mot (ou son équivalent anglais) prend dans certains travaux qui se focalisent sur les similitudes ou les rapprochements souhaitables entre les activités scolaires en premier cycle et en second cycle (Braund & Hames, 2005 ; Davies & McMahon, 2004).

Par extension, le Trésor Informatisé de la Langue Française indique aussi la répétition d'un phénomène ou d'un évènement à intervalles rapprochés ; on considère ici qu'il se répète identique à lui-même. C'est dans ce sens que Tiberghien & Malkoun (2007) emploient ce terme, afin d'indiquer la répétition d'une des facettes dans lesquelles elles décomposent le savoir qui doit être appris au cours d'une séquence d'enseignement. Précisément, ces auteurs appellent « continuité » le nombre de facettes réutilisées par rapport au nombre de facettes nouvelles. Il s'agit donc bien là d'une mesure de ce qui se répète.

Mercer (2000) propose trois façons pour créer ce qu'il appelle « une continuité » dans la progression du savoir à enseigner :

- en se référant à une expérience passée ;
- par la gestion de l'enseignant des interactions, l'évaluation des réponses pertinentes etc. ;
- en liant les unités élémentaires du discours, déplaçant ainsi le niveau où le sens est développé, à partir des mots et des phrases à l'ensemble du discours.

La troisième composante de la continuité définie par Mercer (2000) va dans le sens de la cohésion défini par Halliday & Hassan (1976) (voir § 3.1).

Badreddine & Buty (2011) exprime un lien entre la continuité et la cohérence. Ils définissent la continuité comme un terme qui met l'accent sur l'évolution de significations par l'interaction discursive. Il considère ainsi que par la continuité, il y a une cohérence entre les significations élaborées au cours du temps : “*the term continuity refers to and puts a stress on the evolutionary construction of meanings through discourse interaction, establishing thus*

coherence between the meanings developed and presented in a past context and the present context” (idem, page 278).

3.1.2 Catégories d’articulation au niveau discursif

Six catégories d’articulations (CA) sont décrites par Badreddine (2009) pour assurer les liens entre les contenus enseignés. Les catégories d’articulations permettent de relier des moments précis de la séance avec des moments antérieurs ou ultérieurs dans la/les séance(s) :

- remettre : l’enseignant reporte sa réponse à une séance ou un moment ultérieur. En général, cette action d’articulation n’est pas prévue dans la progression de l’enseignant. Le contenu remis n’est pas forcément repris ultérieurement par l’enseignant ;
- annoncer : l’enseignant signale qu’il abordera ultérieurement un sujet, parfois à la suite de la demande d’un élève. Le contenu annoncé est souvent prévu dans la progression de l’enseignant ;
- avancer : l’enseignant décide d’avancer immédiatement sur un contenu prévu ultérieurement dans sa préparation ;
- appeler : l’enseignant fait référence à un épisode déjà passé, que ce soit une situation déjà vécue en classe (appel de situation) ou une notion déjà enseignée (appel de notion). Elle distingue entre deux degrés d’appel, l’appel de degré fort quand une situation est complètement déplacée dans un nouveau contexte et l’appel de degré faible quand le déplacement perd les traits pertinents de la situation déplacée ;
La combinaison entre les deux types d’appels et les deux choix de degré donne quatre possibilités : appel de notion de degré fort, appel de notion de degré faible, appel de situation de degré fort et appel de situation de degré faible.
- rappeler : l’enseignant fait une synthèse de ce qui a été présenté dans une séance passée ou demande aux élèves de faire cette synthèse ;
- reprendre : l’enseignant décide de poursuivre un contenu en cours de présentation dans la séance ou dans une séance antérieure après l’avoir mis en attente. La reprise peut se situer aux trois échelles d’analyse.

Badreddine (2009) précise que le « rappel » est fait de manière générale par un élève (suite à la demande de l’enseignant) ou par l’enseignant lui-même ; il appartient à la routine de la classe. Le « rappel » est une technique qu’un enseignant utilise pour commencer une séance. Cependant, l’« appel » représente un moment où l’enseignant reconstitue et déplace dans le temps le contexte d’une phase ponctuelle d’une séance passée telle qu’elle s’est déroulée. L’enseignant s’en sert comme outil pour faire progresser le savoir. Nous ajoutons que ces deux termes peuvent être employés l’un à la place de l’autre par l’enseignant dans son discours. Les catégories d’articulation développées par Badreddine (2009) ont été effectuées dans une séquence de physique où il n’y a pas d’utilisation des TICE. Dans le cas où l’enseignant utilise les TICE, nous pouvons être confrontés à des appels systématiques consistant à la répétition du réglage d’un logiciel d’acquisition, à l’introduction d’une nouvelle variable dans un logiciel de modélisation etc. Quelque soit la typologie d’un logiciel éducatif, son utilisation sur la totalité de la séquence peut amener des répétitions de lancement, de réglage etc.

3.2 Pratique enseignante et cohérence

La pratique enseignante qui consiste à créer des liens entre différents moments de la séance ou de la séquence est considérée comme un des éléments du métier d'enseignement. Bucheton et al (2008) a identifié cinq gestes dans son modèle sur les gestes professionnels d'enseignement :

- la construction des savoirs scolaires visés. Cette catégorie concerne les spécificités didactiques ; cette construction dépend de la discipline enseignée et non reproductive à l'identique d'une discipline scolaire à l'autre ;
- l'étayage/l'enseignement : cette pratique professionnelle se définit comme ce que l'enseignant effectue parce que l'élève ne peut pas agir seul. Il comporte : les fonctions de soutien où l'enseignant accompagne les élèves dans leur démarche d'apprentissage et les fonctions d'approfondissement où l'enseignant se focalise sur un élément du discours des élèves pour les amener à le creuser (approfondissement personnel ou collectif) ;
- le maintien d'une certaine atmosphère : Ce geste professionnel consiste à « *créer et maintenir des espaces dialogiques [...] qui autorise ou non la prise de parole de l'élève et régule le niveau d'engagement attendu dans l'activité* » (idem, page 43) ;
- le pilotage : ce geste professionnel permet à l'enseignant « *de gérer les diverses contraintes pratiques spatiales et temporelle de la situation* ». Il comprend la gestion du temps par l'enseignant (le timing), la gestion des instruments d'enseignement divers etc.
- le tissage : ce geste professionnel de l'enseignant est une opération de liaison qu'il fait entre les différentes unités de la leçon. Les liens effectués par l'enseignant peuvent être implicites ou explicites « *entre un savoir ancien et un nouveau savoir* ». Le tissage comprend l'articulation des tâches, les types de transition, la transition implicite, l'absence de transition, la transition conclusive. Ce geste professionnel exige des « *formes langagières de rappel, de reformulation du déjà dit, d'association avec d'autres éléments de savoir ou d'expérience [qui] demandent des savoirs-faire langagiers très spécifiques* : « *vous vous souvenez quand on...* » ; « *on vient de faire...* » ; « *c'est comme dans...* » ; « *là, juste avant...* » » (Bucheton, 2009, page 32).

Bucheton (ibid) explicite que le tissage devra être un geste du formateur car si la question du savoir est primordiale, celle de sa circulation par la parole écrite ou orale est prioritaire :

- les gestes du tissage viennent suppléer les difficultés éprouvées par les élèves ; « *ce geste aide les élèves à faire des liens avec le dedans et le dehors de l'école, l'avant et l'après enseignement* », ils sont « *essentiellement pour une incorporation ultérieure des savoirs enseignés* » (Bucheton et al, 2008, page 43) ;
- les gestes du tissage sont des micro-gestes très précis qui nécessite un travail didactique pour permettre aux enseignants de construire une pratique réfléchie ;
- les stagiaires (enseignants novices) ont des difficultés à effectuer des tissages ; ils n'arrivent pas à faire des liens jusqu'au ce qu'ils prennent conscience de la nécessité

de penser, de parler, d'apprendre le tissage ce que Develay appelle : « apprend-tissage ».

Il nous semble que les catégories d'articulation (§ 3.1.2) permettent de préciser une partie des gestes de tissage, celle que l'enseignant établit avec des faits qui se sont déroulés dans la classe. Les catégories d'articulation permettent de préciser si le tissage entre les différents éléments du savoir a lieu vers le passé ou le futur, et de préciser sa nature ; quand l'enseignant tisse des liens entre différents moments nous pouvons qualifier le moyen avec lequel il tisse des relations (figure 6).

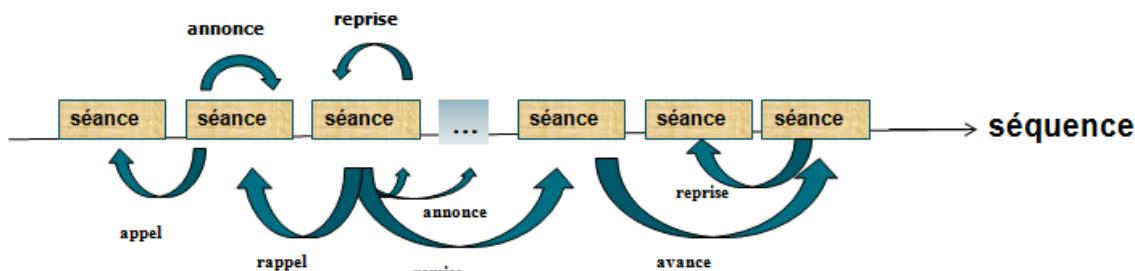


Figure 6 : Représentation d'une partie du tissage et des catégories d'articulation. Les flèches représentent le tissage. Les termes des catégories d'articulation sont des formes de tissage.

La caractérisation d'un texte, d'une transcription ou d'un discours comme cohérent ou non, cohésif ou non, continu ou non, articulé ou non dans le temps exige un modèle permettant de préciser la durée pour mener une étude sur la vie du savoir en classe. Pour que le chercheur puisse caractériser le discours en classe, il doit se placer à différentes échelles temporelles. Autrement dit, l'étude de la continuité sera faite sur une heure d'enregistrement vidéo, deux heures...10 heures ou plus. Pour cela, il est pertinent de présenter dans ce qui suit les échelles d'analyses proposées pour étudier le discours dans une classe durant une séquence où les TICE sont utilisés.

3.3 Différentes échelles d'analyses pour le savoir enseigné

Différents auteurs en France ont proposé une classification des échelles d'analyses. Mercier et al (2005) ont proposé des échelles d'analyses pour des études en didactique des mathématiques, Tiberghien et al (2007) ont proposé un modèle en didactique des sciences. Dans ce qui suit nous présenterons les échelles d'analyse en classe de mathématiques (§ 3.2.1) ensuite nous continuerons avec les échelles d'analyses en classe de physique (§ 3.2.2). Nous enchaînerons ensuite avec les relations entre les différentes échelles d'analyses (§ 3.2.3).

3.3.1 Echelles d'analyses en classe de mathématiques

Mercier et al (2005) présentent dans un travail examinant la dynamique temporelle entre l'enseignement et l'apprentissage, deux échelles temporelles différentes : le temps didactique (didactic time) et le temps académique appelé aussi « temps scholastique » (academic time). Ces auteurs définissent :

- le temps didactique comme commun à tous les élèves de la classe pendant la séance. Il se traduit par une mise en texte du savoir. Son organisation dépend largement de la matière à enseigner et de l'enseignant. Faire avancer le temps didactique revient à faire progresser la classe dans ce texte du savoir par l'enseignant ;
- le temps académique comme la mise en relation directe avec l'organisation scolaire ; il est imposé par l'établissement. L'enseignant se trouve contraint de suivre cette organisation afin de mettre en place le savoir à enseigner. “*The didactic time [...] is directed by the teacher; on the contrary, the academic time is in direct relation with school organizations and is imposed by the institution*” (Mercier et al, 2005, page 142). Badreddine & Buty (2011) soulignent que Mercier et al (2005) explicitent certains contenus de ce temps académique : “*These authors also give some components of this academic time, such as: the alternation of courses, the length of terms, the timing of formal assessments, the duration of periods of study, etc.*” (ibid, page 142).

3.3.2 Echelles d'analyses en classe de physique

Le discours scolaire ne prend véritablement son sens que lorsqu'il est envisagé sur trois échelles de temps (Tiberghien & Buty, 2007) :

- l'échelle macroscopique qui donne une idée sur le savoir à un niveau de granularité « élevé » telle une séquence. Il correspond au temps académique de Mercier et al (2005) ;
- l'échelle mésoscopique qui donne une idée sur le savoir à un niveau de granularité « moyenne » : les thèmes, les ressources et les phases didactiques. Il est de l'ordre de l'heure et de dizaines de minutes correspondant au temps didactique (idem) et à la séance de cours ;
- l'échelle microscopique qui donne une idée sur « *des énoncés et des gestes des personnes* » (Tiberghien et al, 2007, page 102). Elle se caractérise par un temps interactionnel (Badreddine & Buty, 2007). Il représente un fin niveau de granularité, de l'ordre de la minute et de la seconde.

3.3.3 L'articulation entre les différentes échelles d'analyses

La notion de « Zoom in » et « Zoom out » introduite par Lemke (2001), permet de décrire le rapport qu'on établit entre les différentes échelles d'analyse. Lemke (ibid) souligne que le passage d'une échelle d'analyse plus grande à une échelle d'analyse plus petite (le “Zoom in”) est une opération « simple » : “*When we know what counts as functional at a higher level of organization of behavior, we know what to look for and by what functional criteria to define an operation's relevant features at a lower level (faster, shorter timescale)*” (Lemke, 2001, page 23). Par contre, l'opération inverse, Zoom out, est difficile. En effet, il considère que nous ne disposons pas des technologies appropriées : “*we are relatively well equipped with the technologies of zooming in: we know how to capture and analyze small segments out of larger activities. What is much harder is to zoom out: to go from the analysis of various*

moments to their [cumulative impact on participants]" (Lemke, 2001, page 24). Cependant Badreddine (2009), a développé une méthode pour passer d'une échelle inférieure à une échelle supérieure. Nous reviendrons à cette méthode dans la partie méthodologie (§ 2 de la méthodologie de traitement et d'analyse).

Il nous semble que se baser uniquement sur le Zoom in ou le Zoom out pour décrire et étudier le savoir n'est pas suffisant. L'alternance entre les deux méthodes est indispensable ; elles se complètent l'une l'autre. En effet, Lemke (2000, page 275) précise : "*each scale of organization in an ecosocial system is an integration of faster, more local processes (activities, practices, doings, happenings) into longer timescale, more global or extended networks*", d'où, l'intérêt de mener des analyses à différentes échelles temporelles pour qu'un événement se produisant à une certaine échelle puisse être intégré dans des échelles de niveaux supérieurs. Le niveau inférieur informe sur le niveau supérieur mais il ne nous permet pas d'avoir la structure et les propriétés de l'activité au niveau supérieur. Par conséquent, Il faut se mettre à un niveau pertinent pour pouvoir étudier certains phénomènes ; "*activities at higher levels of organization are emergent, their functions cannot be defined at lower scales, but only in relation to still higher ones. [...] Going "up" we know the units, but we know neither the patterns of organization nor the properties of the emergent higher level phenomena"*" (Lemke, 2001, page 25).

3.4 Conclusion de la troisième partie du cadre théorique

Comme nous l'avons expliqué dans le § (2.4) la segmentation du discours permet de réaliser des études sur l'approche communicative. Nous pouvons effectuer aussi des études de cohérence. La cohésion, la cohérence et la continuité peuvent être étudiées au niveau microscopique, mésoscopique ou macroscopique. Par le biais des catégories d'articulation, il est possible de qualifier la nature du tissage et de repérer deux moments donnés dans une même séance ou dans différentes séances de la séquence d'enseignement. L'étude de la cohérence consiste à étudier la non-contradiction dans le contenu du discours entre deux ou plusieurs moments pendant lesquels l'enseignant a effectué une opération de tissage.

4. Articulations des différents cadres théoriques

L'enseignement des sciences amène à des interactions multimodales en classe. Lemke (1990) souligne que l'apprentissage des sciences implique l'appropriation des concepts, des instruments et des pratiques culturelles par un langage multimodal. Par conséquent, nous considérons que l'étude du discours dans ses dimensions multimodales comme élément de représentation des processus mentaux de l'enseignant dans son interaction avec les élèves, nous permettra de reconstruire et d'étudier la cohérence discursive de l'enseignant au cours de son enseignement. Ce processus multimodal allant des gestes, regards, postures corporelles, mouvements jusqu'à l'agencement spatial des participants (Mondada, 2005) vient accompagner ce que l'enseignant verbalise et note au tableau. Ce qui est verbalisé et écrit au tableau peut appartenir à un ou plusieurs registres sémiotiques et un ou deux mondes de

modélisation. Les objets inscrits au tableau peuvent faire partie d'une ou de plusieurs inscriptions.

L'étude du discours dans sa perspective multimodale devient de plus en plus spécifique avec l'utilisation des TICE, « *interests in multimodality in education have been generated by the increasing use of multimedia in the classroom, from image manipulation software to electronic music-making packages, to science simulations, and to virtual theatres that exist on computers* » (Arzarello & Robutti, 2010, page 718). Arzarello & Robutti (*ibid*) soulignent que dans une classe de mathématiques les étudiants mobilisent une variété de signes, “*During the mathematical activities with media, students produce a variety of signs such as words, gestures, and actions on the tools, interactions, and written or oral signs of whatever nature*” (*ibid*). Nous adopterons le même point de vue pour les sciences physiques.

Nous pouvons en déduire que l'ensemble de signes (le discours multimodal et les écritures) peuvent se regrouper en trois catégories : le verbal, le non-verbal et l'écrit (figure 7).

- le verbal se traduit par le registre de la langue naturelle,
- le non-verbal se traduit par les gestes et les proxémiques,
- l'écrit se traduit par les différents registres sémiotiques développés par Duval (1995).

L'étude de ces signes constituant le discours scientifique en classe, pourra être faite à différentes échelles d'analyses : échelle macroscopique, échelle mésoscopique et échelle microscopique. L'ordre du passage entre ces différentes échelles détermine si la logique suivie est le Zoom in ou le Zoom out.

Dans une même échelle comme entre les différentes échelles, des catégories d'articulation de différents types peuvent être repérées. Une fois que les catégories sont repérées, il est possible d'étudier le phénomène de tissage et de la cohérence entre ces deux moments d'enseignement dans la séquence.

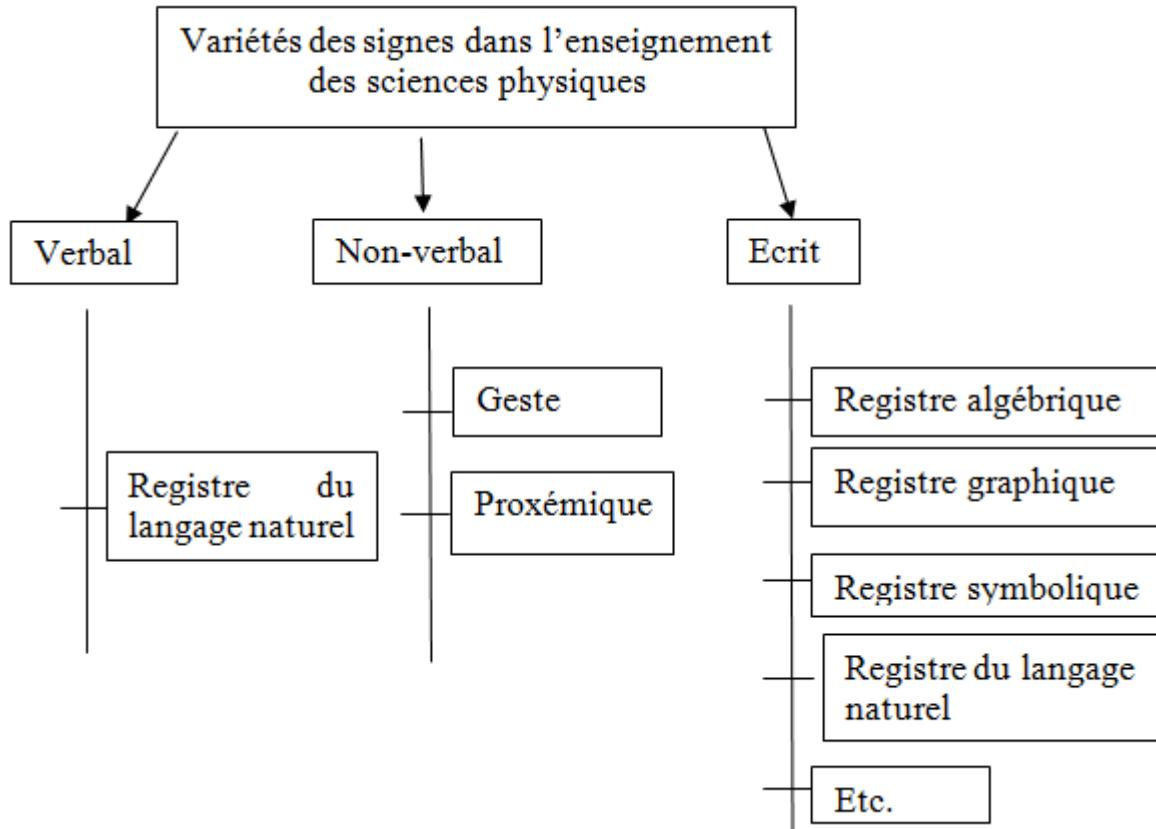


Figure 7 : Variétés des signes dans l'enseignement des sciences physiques.

5. Conclusion du cadre théorique

En partant de la problématique qui consiste à étudier la cohérence du discours scientifique lors de l'enseignement de la physique, nous avons construit un cadre théorique qui prend en compte le discours de l'enseignant qui occupe une grande pourcentage du temps de parole pour l'ensemble des échanges, la cohérence discursive et l'utilisation des TICE.

Pour l'étude du contenu scientifique, nous avons mobilisé des concepts développés dans le cadre théorique de Tiberghien sur la modélisation (1994) et les registres sémiotiques développés par Duval (1995) car ce contenu est véhiculé par le discours multimodal mobilisant plusieurs registres sémiotiques et différents mondes de modélisation qui sont imbriqué et complémentaires l'un à l'autre.

Pour l'étude de l'interaction langagière et de la cohérence discursive, nous avons mobilisé l'approche communicative (Scott & Mortimer, 2003) ainsi que les unités constitutives du discours. Ces études s'effectuent sur des échelles d'analyses précises.

Pour approfondir et analyser les interactions et le discours dans sa dimension multimodale d'une part et l'utilisation des TICE d'autre part, nous avons mobilisé un concept utilisé en anthropologie des sciences, le concept des « inscriptions ».

Cette construction théorique sera la base de notre travail et la ligne directrice de notre analyse dans les chapitres suivants. Elle nous permet également de préciser nos questions de recherche initiale dans la partie suivante.

III. Problématique et hypothèses de recherche

En classe, l'enseignant oriente son discours vers la transmission du savoir. L'enseignant peut utiliser des formes langagières lui permettant d'effectuer des liens implicites et/ou explicites entre un savoir à enseigner ancien (vu dans une séance de la même séquence, dans une séance d'une autre séquence etc.) et un savoir nouveau. La pratique enseignante du tissage (§ 3.2 du cadre théorique) permet d'assurer des articulations au niveau discursif. Elles peuvent être absentes dans le discours des enseignants de physique.

Jaubière & Rebière (2009) ont indiqué que les jeunes stagiaires rencontrent des difficultés de tissage entre le cours fait au centre de formation et leur travail dans une classe ; ils ont besoin de voir des exemples concrets pour pouvoir les tester dans leurs classes. Les enseignants expérimentés n'ont pas ce type de problème ; ils arrivent à décontextualiser une situation proposée dans le cadre de leur formation continue. Nous considérons qu'un enseignant expert assure spontanément des liens et des articulations discursives entre ce qui a déjà été enseigné et ce qui sera enseigné dans une même séquence ou entre les séquences. Or, l'enseignant novice ne fait pas systématiquement ces liens. Pour que cette pratique de cohérence discursive se fasse régulièrement et devienne un acquis, il faut que les enseignants prennent conscience de son importance.

L'utilisation d'un dispositif TICE dans une séquence d'enseignement influence le tissage entre les différents moments de la séquence en raison de la spécificité de l'outil TICE ; l'enseignant peut projeter des résultats enregistrés, peut réaliser une acquisition en temps réelle même dans la salle de cours etc. La forme du discours de l'enseignant change aussi en fonction du type du logiciel utilisé. Dans nos données, l'enseignant utilise un logiciel d'acquisition des données (Mesure électrique) et un logiciel de traitement des données (Regressi) ; dans le champ « question de recherche », le terme TICE désignera ces logiciels.

Dans le cas des enseignants utilisant les TICE, les termes utilisés dans leurs discours peuvent être liés aux termes figurant sur l'interface des logiciels. Ces termes appartiennent parfois au monde des objets et des événements, et parfois au monde des théories et des modèles. La projection de l'écran de ces logiciels ou même des diaporamas sur un tableau blanc peut être accompagnée par des objets inscrits.

Dans cette thèse, nous considérons que la pratique d'un enseignant prend son sens en fonction des événements qui se déroulent en interaction entre lui et ses élèves. Par conséquent, nous estimons que les interactions entre les élèves et l'enseignant influencent le tissage des liens d'une part, et la cohérence dans une séance et entre les séances d'une même séquence d'autre part.

1. Questions de recherche

Nos positionnements théoriques nous ont permis de préciser nos questions de recherche et de les décliner en deux sous-ensembles. Le premier s'intéresse à l'étude de la cohérence entre les

differents moments articulés ; le second concerne la mise en relation entre les registres sémiotiques et les processus de modélisation dans les inscriptions entre différentes échelles.

1.1. Etude de la cohérence

Le tissage des liens entre différents moments de la séance ne garantit pas une cohérence au niveau du contenu. L'influence de la cohérence discursive sur les apprentissages des élèves n'est pas traitée dans le cadre de cette thèse et reste une question ouverte.

- Sur le plan méthodologique, comment étudier la cohérence ou l'incohérence du discours sur un savoir enseigné en classe à différentes échelles ?
- Compte tenu de la définition des termes « cohérence » et « cohésion » dans notre cadre théorique (§ 3.1 du cadre théorique) nous pouvons nous demander s'il y a dépendance ou pas entre « cohérence » et « cohésion » ? Est-ce que ce qui est articulé est cohérent ou non ?
- Quels sont les moyens mobilisés par l'enseignant pour effectuer le tissage, à une échelle mésoscopique et macroscopique ? Peut-on catégoriser les transformations des connaissances entre les épisodes articulés ?

1.2. Etude de la mise en relation entre les registres sémiotiques et les deux mondes de modélisation dans les inscriptions

L'utilisation des TICE dans les séances d'une même séquence influence la nature des liens que l'enseignant peut faire à différentes échelles, dans une même séance et entre les séances. Que ce soit en travaux pratiques ou en classe de cours entière, l'enseignant peut projeter l'écran de son ordinateur ou l'écran d'ordinateur de ces élèves pour expliquer, donner des indications, corriger etc. Lors de ces projections, l'enseignant inscrit au tableau des savoirs à enseigner. Les inscriptions peuvent référées à différents mondes de modélisation et peuvent être ou non dans un même registre sémiotique.

- Sur le plan méthodologique, comment peut-on décrire une inscription qui est un phénomène variable dans le temps ?
- Comment l'utilisation des TICE crée-t-elle des relations significatives entre d'une part les différents mondes de la modélisation et d'autre part entre plusieurs registres sémiotiques appartenant à une même inscription ou à différentes inscriptions ?
- Peut-on catégoriser les inscriptions réalisées par l'enseignant lors de la projection de l'écran du logiciel ou d'un diaporama ?

Après avoir projeté l'écran de son ordinateur au tableau, l'enseignant est susceptible d'ajouter des inscriptions par dessus ou à côté de celle déjà projeté. Du point de vue sémiotique, ces inscriptions sont riches. Pour cela, nous allons voir comment les inscriptions participent au tissage des liens entre plusieurs savoirs et à la cohérence tout au long de la séquence.

2. Hypothèses de recherche

Nous formulons des hypothèses de recherche en nous limitons à celle qui ne sont pas d'ordre méthodologique. Nous pouvons ainsi formuler quatre hypothèses de recherche :

H1- L'objectif des locuteurs est de parvenir à un discours cohérent même si les moments articulés pointent sur une contradiction. Le tissage et la cohérence sont deux paramètres différents qui sont liés. Par conséquent, nous pouvons trouver des éléments articulés qui présentent une distorsion. Nous ajoutons que le locuteur peut tisser des liens explicites comme implicites. Par conséquent, le tissage n'est ni nécessaire à la cohérence (un texte peut être cohérent sans que les locuteurs établissent des articulations), ni suffisant pour une cohérence explicite.

H2- L'utilisation du logiciel d'acquisition des données et de traitement des données permet à l'enseignant de traiter en dehors des travaux pratiques (séance de cours) des données expérimentales enregistrées en TP :

- importer des courbes acquises et modélisées en TP ;
- importer des courbes acquises en TP pour les modéliser en cours ;
- recommencer une expérience etc.

Par conséquent, nous pourrons nous attendre, à cause de l'utilisation des TICE, à une augmentation de la fréquence du tissage à l'échelle mésoscopique et macroscopique.

Au fur et à mesure de la progression du temps didactique, l'enseignant travaille à la progression des connaissances scientifiques véhiculées par le discours. Ainsi, les moments articulés ne doivent pas contenir que des mêmes connaissances présentées de la même manière. Il y aura donc des transformations entre les connaissances.

H3- Lors de la projection de l'écran de l'ordinateur, il y aura au moins un registre sémiotique. Les objets inscrits au moment de la projection peuvent appartenir à un même registre sémiotique, à différents registres sémiotiques, au monde des objets/événements ou au monde des théories/modèles. Les objets inscrits sont accompagnés d'un discours de l'enseignant ; dans son discours il peut alterner entre les deux mondes, effectuer des opérations sur les registres sémiotiques et même se servir de la gestuelle pour renforcer ce qu'il verbalise.

H4- Les différentes représentations dans un ou plusieurs registres sémiotiques sur un diaporama peuvent-être différentes des représentations sur l'écran des logiciels, alors les inscriptions de l'enseignant diffèreront également lors des différentes projections. Nous pourrons nous attendre à ce que les objets inscrits lors de la projection visent des objectifs supplémentaires par rapport aux objectifs des activités expérimentales.

IV. Méthodologie de recueil de données

Dans la première partie de ce chapitre, nous commençons par une présentation du terrain de la recherche : l'établissement où nous avions pris nos données (§ 1.1) ; nous décrivons par la suite le profil de l'enseignant qui a mené la séquence (§ 1.2), avant de finir par des informations sur cette séquence en général et sur la partie filmée en particulier (§ 1.3).

Dans la deuxième partie, nous parlons de notre méthodologie de recueil des données : il s'agit des vidéos prises sur ce terrain de recherche. Pour cela nous commençons par évoquer les avantages des données vidéos en général (§ 2.1), nous poursuivons ensuite par une description du matériel que nous avons utilisé pour filmer le cours de la séquence : dans la salle de cours et dans la salle de laboratoire (§ 2.3).

Dans la troisième et dernière partie, nous complétons la partie recueil des données avec les entretiens que nous avons réalisés. Nous commencerons avec les questionnaires (§ 3.1) qui ont servi à préparer l'entretien d'instruction au sosie (§ 3.2), puis nous passerons à ceux qui ont servi à préparer l'entretien d'auto-confrontation (§ 3.3).

1. Le terrain de recherche

1.1. Etablissement

Nous avons pris nos données dans un lycée public à Lyon (France), situé dans le premier arrondissement (69001). Nous précisons que la classe de TS comporte 18 filles et 23 garçons ; l'enseignement se fait en langue française.

La famille est le premier système social par lequel le jeune enfant (futur élève) acquiert et développe des compétences cognitives et sociales (Feyfant, 2011). L'éducation familiale est considérée comme un intermédiaire entre le milieu socioculturel et les performances scolaires. En effet, les catégories socioprofessionnelles (CSP) ou actuellement nommées les professions et catégories socioprofessionnelles (PCS) sont l'un des facteurs qui influence l'éducation familiale : elle influe sur l'autonomie de l'élève, sur la façon dont les enseignants s'adressent aux élèves, sur la réussite scolaire (Davaillon & Nauze-Fichet, 2004) etc.

Pour ces raisons, nous avons collecté les PCS des parents des élèves de la classe de TS que nous avions filmé ; nous avons pu avoir les PCS de 30 parents sur 41. Nous avions groupé les PCS des trente parents dans les catégories déterminées par l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee).

Les huit catégories principales établies par l'Insee sont : les agriculteurs exploitants (1) ; les artisans, commerçants et chefs d'entreprises (2) ; les cadres, professions intellectuelles supérieures (3) ; les professions intermédiaires (4) ; les employés (5) ; les ouvriers (6) ; les retraités (7) ; les autres personnes sans activité professionnelle (8).

Le classement des parents des élèves est donnée ci-dessous (tableau 3).

PCS	Occurrence	Fréquence
les artisans, commerçants et chefs d'entreprises	3	10%
les cadres, professions intellectuelles supérieures	12	40%
les professions intermédiaires	4	13,3%
les employés	6	20%
les ouvriers	3	10%
les autres personnes sans activité professionnelle	2	6,7%

Tableau 3 : La répartition en pourcentage des parents des élèves dans les catégories de PCS.

Ce tableau montre que les élèves viennent en bonne partie des classes favorisées.

Le choix de la classe de TS découle de plusieurs raisons :

- l'utilisation des TICE en TS n'est pas simple et ne se limite pas à une utilisation d'un logiciel par l'enseignant ; les élèves doivent aussi manipuler des logiciels car il s'agit d'une des compétences demandées dans le programme⁶,
- les élèves de TS préparent un examen national, nous pouvons faire l'hypothèse que cela va développer des interactions approfondies : des interactions entre les élèves eux-mêmes, et des interactions entre les élèves et les enseignants sur le contenu scientifique,
- contrairement aux autres programmes de lycée, le programme de TS a une trame commune tout au long de différents chapitres ; « *le programme de sciences physiques de terminale S a pour trame l'évolution temporelle des systèmes* » (BO, 2001). Nous pouvons faire l'hypothèse que l'enseignant peut réaliser davantage d'articulations et travailler la cohérence entre les chapitres dans cette classe. Par conséquent, l'étude de la cohérence et des articulations ne se limite pas non plus à l'intérieur d'une seule séquence.

La répartition hebdomadaire du cours de physique-chimie est : lundi (2h), mardi (1h) et vendredi (2h). Deux heures de cours ont été annulées pour que les élèves passent leurs bacs blancs dans ce créneau. La salle de travail n'est pas la même pour les 12 séances enseignées (18h filmées) : 8 séances dans la salle de laboratoire ou de Travaux pratiques (TP) et 10 séances dans la salle de classe ordinaire. Nous avons filmé 18 séances sur les 19 séances de la séquence. La première séance n'a pas été filmée car l'enseignant a finalisé la dernière séance de la séquence un vendredi et il avait un peu de temps libre. Cela a amené l'enseignant à commencer la séquence de l'électricité avant la date prévue (il a travaillé une demi-heure sans être filmé).

Dans le tableau 4 ci-dessous, nous présentons la répartition hebdomadaire des séances de physique pour la classe de Terminale, le nombre d'heures d'enseignement ainsi que le lieu :

⁶ Le programme est en annexe 1 ; BO HS (2001).

Jour de la semaine	Lundi	Mardi	Vendredi
Nombre d'heures	2h	1h	2h
Lieu	Salle de TP	Salle de cours	Salle de cours

Tableau 4 : La répartition hebdomadaire des séances de physique pour la classe de TS.

1.2 Enseignant

L'enseignant de la classe de Terminale Scientifique, Jean est titulaire de l'agrégation de sciences physiques, d'un diplôme d'étude approfondie en didactique des sciences et d'un doctorat en sciences de l'éducation. Jean fait partie d'un groupe de recherche et de développement qui élabore des séquences d'enseignement au lycée. Cet aspect sera développé par la suite (§ 1.3.1)

En 2011, lors de la prise des données, l'enseignant avait dix ans d'expérience d'enseignement ; au cours de ces dix ans, il a enseigné dans différentes classes au lycée (la seconde, la première et la terminale scientifique).

Durant ces dix ans d'enseignement, Jean n'a d'une part, jamais remplacé un autre enseignant et n'a d'autre part, jamais été remplacé par un autre enseignant ; il a assuré personnellement toutes ces heures d'enseignement sans aucune absence. Jean a accepté d'être filmé sans aucune hésitation ; il a l'habitude d'être filmé. Nous nous sommes mis d'accord avec lui sur les différentes démarches, sept semaines environ avant l'enregistrement, afin qu'il nous prévienne du début de la séquence d'électricité à laquelle nous nous intéressons.

Notre intérêt porte sur l'électricité du fait que : l'enseignant nous a expliqué lors d'une discussion avec lui qu'il va utiliser avec ses élèves des logiciels la plupart du temps : un logiciel d'acquisition des données et un logiciel de traitement des données ce qui n'est pas le cas pour les autres séquences. Par ailleurs, l'enseignement de l'électricité ne se fait qu'en mobilisant plusieurs registres sémiotiques. Les logiciels utilisés mobilisent une multitude de registre sémiotique (voir annexe 3).

L'objectif détaillé de notre recherche a été partiellement communiqué à l'enseignant ; il sait que c'est un travail sur les TICE.

1.3 Préparation de la séquence d'enseignement

Dans cette partie, nous décrivons brièvement les séances d'enseignement élaborées par le groupe de recherche SESAMES car notre enseignant, Jean, en fait partie ; nous décrivons consécutivement à cela, la séquence naturelle filmée.

1.3.1 Les séquences élaborées par le groupe SESAMES

Le groupe « Situations d'Enseignement Scientifique, Activités de Modélisation, d'Evaluation et de Simulation » (SESAMES) en collège ou en lycée est constitué de chercheurs en didactique et d'enseignants de physique-chimie en collège ou lycée. Ce groupe élabore des séquences d'enseignement en tenant compte des programmes officiels d'une part, et des résultats des recherches en didactique des sciences (Buty et al, 2004 ; Tiberghien et al, 2009) d'autre part. Dans leurs activités, il y a de l'ingénierie didactique (Artigue, 1990). Ce groupe fait évoluer ses activités tout en les réalisant selon les quatre phases de l'ingénierie didactique décrite par Artigue (1990) : la phase des analyses préalables, la conception et l'analyse a

priori des situations didactiques, l'expérimentation ou la mise en œuvre de ces activités, enfin l'analyse a posteriori et l'évaluation. Ce processus de conception des séquences est signalé explicitement par (Veillard et al, 2011 ; Tiberghien et al, 2011). Toutes leurs séquences sont disponibles sur le site Pégase (<http://pegase.inrp.fr/>) destiné, selon les informations sur le site, aux enseignants et aux formateurs concernés par l'enseignement de la physique et de la chimie. Sur le site, les séquences sont structurées en parties puis en activités. Les activités de la séquence sont commentées et illustrées par des vidéos d'élèves en situations réelles.

1.3.2 La séquence filmée

Notre séquence filmée est une séquence élaborée par Jean lui-même. Cette séquence est préparée par l'enseignant seul et non pas par le groupe. La structure de la séquence filmée est la même que les structures élaborées par SESAMES : elle est structurée en parties, puis en activités.

Lors des discussions et échanges par mél avec l'enseignant, il déclaré avoir pris en considération les hypothèses d'ingénierie sur lesquelles SESAMES se base pour élaborer ses activités : la démarche de la modélisation et les registres sémiotiques.

1.3.3 Le contenu d'enseignement de la séquence filmée

La séquence d'électricité de l'enseignant était constituée de trois parties :

- dipôle résistance-condensateur (dipôle RC) ;
- dipôle résistance-bobine (dipôle RL) ;
- dipôle résistance-bobine-condensateur (dipôle RLC).

Chaque partie contient des activités de travaux pratiques, des activités de cours ainsi que des fiches « modèles » à compléter avec les informations qualifiées comme importantes par l'enseignant sur chaque partie. Le nombre d'activités dans les trois parties n'est pas le même. On trouvera en annexe les activités de chaque partie ainsi que les fiches modèles (voir annexe 2).

2. Les enregistrements vidéo

L'usage des enregistrements vidéo de classe est d'une importance grandissante dans le domaine des sciences de l'éducation. Un certain nombre d'avantages issus de l'utilisation des vidéos pour l'étude de la pratique enseignante et en particulier de l'interaction entre les élèves et l'enseignant ont été énumérés par Jordan & Henderson (1995).

Dans cette partie, nous répertorierons quelques avantages des données vidéographiques (§ 2.1) et nous poursuivons avec une partie sur les enregistrements vidéo que nous avons menés dans la classe (§ 2.2).

2.1 Avantages et limites des données vidéographiques

Dans ce passage nous énumérons les avantages des données vidéographiques mentionnés par d'autres chercheurs tout en ajoutant les avantages des données vidéo tels que nous les voyons.

- les données vidéographiques permettent la reconstruction de l'événement étudié dans le temps et dans l'espace (Jordan & Henderson, 1995) ;

- la conservation de la nature complexe des interactions dans ses différentes dimensions multimodales, ce qui n'est pas possible si la personne utilise des grilles d'observation renseignées en temps réel lors du déroulement de l'événement (Mondada, 2006) ;
- la conservation des données primaires pour un long terme, ce qui permet la visualisation des données plusieurs fois. La répétition du visionnement de la bande vidéo permet de relever des régularités que nous ne pouvons pas remarquer lors du premier ou des premiers visionnements de la vidéo (Engle et al, 2007) ;
- le partage des données vidéo avec d'autres chercheurs pour mener des analyses avec différents objectifs est un des avantages vidéo que nous trouvons très important ;
- la reproductibilité des données vidéo. En effet, nous estimons qu'il est toujours possible qu'un autre chercheur utilise la même méthodologie sur la même donnée pour vérifier les résultats obtenus.

Pour terminer cette partie, nous précisons que les choix faits par les chercheurs sur leur terrain (déterminer ce qui est visible et ce qui ne l'est pas etc.) ont des conséquences sur l'utilisation des données vidéo prises.

2.2 Enregistrement vidéo dans la classe

Nous avons filmé durant un mois environ. Nous avons demandé à la fois au directeur de l'établissement ainsi qu'aux parents d'élèves des autorisations avant le début des enregistrements pour des raisons juridiques, éthiques et déontologiques qui s'imposent à la recherche.

Lors de ces enregistrements, nous n'avons pas utilisé le même matériel en classe de cours et en TP pour les raisons suivantes : la place pour installer nos caméras ainsi que pour l'organisation des bancs est différente d'une salle à l'autre (salle de cours et salle de TP).

Le nombre de caméscopes n'était pas le même dans les deux salles (deux en salle de TP ; une en salle de cours). Ce choix est dû à deux paramètres : nombre limité d'autorisations vidéos des parents d'élèves et au fait qu'en salle de cours il est impossible d'isoler deux ou quatre élèves pour les filmer comme en TP. En cours comme en TP, nous avons utilisé un enregistreur à voix multiples pour enregistrer les voix des élèves. Chaque élève du binôme était muni d'un micro-cravate (un émetteur) et le récepteur était relié à un enregistreur.

a- Enregistrement vidéo en TP

Nous avons utilisé deux caméscopes :

- le premier caméscope lié à un micro-cravate sans fil dont l'émetteur était porté par l'enseignant et le récepteur était fixé à la caméra. Cette dernière se trouvait sur un trépied au fond de la classe pivotant suivant les déplacements de l'enseignant. Le micro-cravate permettait de prendre le son de l'enseignant dans ses différentes positions ainsi que l'ambiance de la classe. Cette caméra permettait de suivre les différentes actions non verbales qui accompagnaient l'action verbale de l'enseignant ; autrement dit, les aspects « *multimodaux relatifs aux regards, aux gestes, aux mimiques faciales, aux mouvements corporels des participants* » (Mondada, 2006).
- le second caméscope filmait un binôme au fond de la classe (une fille et un garçon). Chaque membre du binôme portait également un micro-cravate. Ces derniers sont

reliés au caméscope qui se trouve au fond de la classe. Ces données n'ont pas été analysées dans notre thèse, elles le seront pour des études ultérieures ; leur utilisation se limitait dans notre travail de thèse à un complément d'information en cas de lacune dans la bande de l'enseignant.

b- Enregistrement vidéo du cours

Nous avons suivi l'enseignant avec un seul caméscope. Le caméscope se trouvait au fond de la classe et était utilisé avec les mêmes objectifs qu'en salle de TP.

2.3 Plan de position de nos caméras dans chaque salle

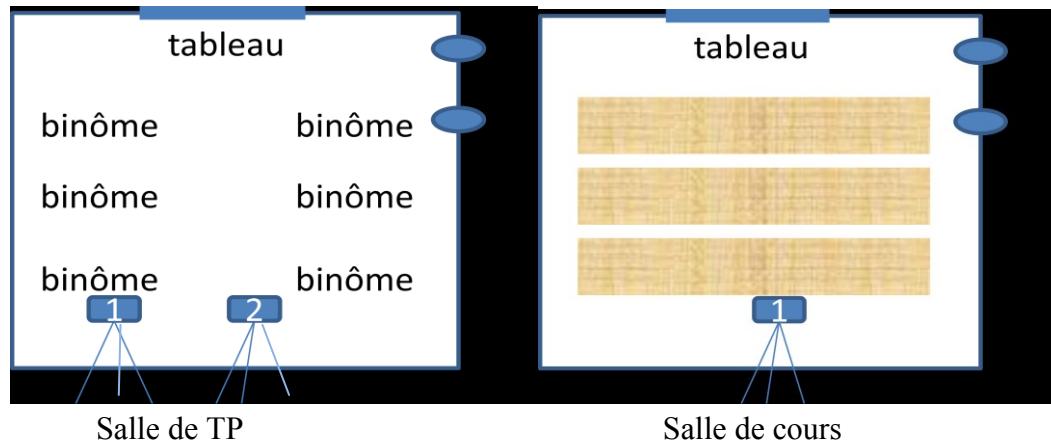


Figure 8 : Plan de position des caméras dans la salle de TP et la salle de cours.

L'organisation de la salle de TP est différente de la salle de cours (figure 8). Dans la salle de TP, la caméra numéro 1 suit le binôme juste devant la caméra et la caméra numéro 2 suit l'enseignant. Dans la salle de cours, une seule caméra située au fond de la classe suit l'enseignant.

3. Les entretiens

Nous avons effectué deux types d'entretien avec l'enseignant après lui avoir demandé de remplir un questionnaire : entretien d'instructions au sosie (Clot, 1999), entretien d'auto-confrontation (Clot et al, 2000 ; Clot, 2007).

Les deux types d'entretiens ont eu lieu au lycée car les paramètres de la situation d'entretien influencent le discours de l'interviewé (Blanchet et al, 1992). Ces deux types d'entretiens sont détaillés dans les paragraphes suivants ainsi que le questionnaire.

3.1 Questionnaires pour préparer l'entretien au sosie

Nous avons élaboré deux questionnaires : un questionnaire général (que nous appelons « questionnaire numéro 1 ») portant sur la totalité de la séquence et un questionnaire plus précis (que nous appelons « questionnaire numéro 2 ») portant sur les activités de la séquence.

Nos questions sont des questions fermées à choix multiples. La durée maximale estimée pour remplir le questionnaire est de dix minutes. Une étude pilote a été effectuée sur six enseignants

(trois enseignants de collège et trois enseignants de lycée) a été réalisé avant de fixer définitivement le format final de nos questionnaires (voir annexe 5).

Questionnaire général

Ce questionnaire intitulé questionnaire numéro 1 a été distribué en amont de la séquence, avant que nous ne commencions à filmer. Il est destiné à nous suggérer des idées sur la séquence filmée avant l'entretien au sosie et pour avoir une idée sur la manière dont l'enseignant voit le tissage et comment il va l'expliquer à son remplaçant. Il était constitué de trois parties intitulées respectivement : « *informations générales sur l'enseignant* », « *informations générales sur la séquence filmée* » et « *informations générales sur votre utilisation des TICE* ».

Questionnaire précis

Ce questionnaire numéro 2 porte spécifiquement sur le contenu de la séance où les TICE sont utilisés. Ce questionnaire est constitué de deux parties : « *Informations générales sur l'activité TICE filmée* » et « *place et rôle des TICE dans l'activité proposée* ». On trouvera le questionnaire en annexe.

3.2 Entretien « instruction au sosie »

La méthodologie de l'« instruction au sosie » a été introduite par Oddone dans les années 1970 au cours des séminaires de formation ouvrière à l'université de Turin (Oddone et al., 1981). L'instruction repose sur un travail de co-analyse au cours duquel un professionnel (l'instructeur) reçoit la consigne suivante : « *Suppose que je sois ton sosie et que demain je me trouve en situation de te remplacer dans ton travail. Quelles sont les instructions que tu devrais me transmettre afin que personne ne s'avise de la substitution ?* ».

En fonction du domaine, il faut choisir le sosie. Dans notre cas, le remplaçant de l'enseignant est enseignant dans la même discipline (physique). Clot (1999) précise que, « *selon le destinataire de l'instruction on n'a pas le même accès au réel* », c'est pourquoi dans le but de permettre le développement, lors de l'instruction au sosie, d'un discours scientifique nous avons fait le choix d'un sosie qui est un pair-expert de l'enseignant.

Il est vrai qu'après ce type d'entretien l'enseignant peut avoir un retour réflexif sur ses actions. Or, nous faisons l'hypothèse que l'enseignant va oublier ce qu'il nous avait dit durant l'entretien lorsqu'il sera pris par les interactions en classe. Cette méthodologie est utilisée en didactique des mathématiques (Gueudet & Trouche, 2010) pour l'étude des ressources mobilisées par les enseignants dans leur travail d'enseignement.

L'entretien au sosie que nous avons réalisé a été enregistré, il a duré quinze minutes. Avant de réaliser l'entretien avec l'enseignant suivi, nous avions réalisé des tests préliminaires avec trois enseignants et nous avions modifié notre situation en fonction de leurs réponses. Cet entretien a eu lieu lors de la quatrième séance de la séquence, le 2011_01_14, avant le cours.

3.2.1 Objectif de l'entretien au sosie

Cet entretien concernait, le dipôle RL, la deuxième partie du chapitre d'électricité. Le but de l'entretien est de savoir comment l'enseignant a planifié la mise en œuvre des activités de cette partie, électricité, en générale et celle d'une activité où l'enseignant a mentionné dans le questionnaire qu'il allait utiliser un dispositif TICE. En effet, ce type d'entretien permet de dégager la façon dont l'enseignant pense mettre en œuvre une activité en classe, ce qu'il voudrait ou pourrait faire dans la séance. De cette façon, il est possible de recueillir un maximum de données sur la façon dont l'enseignant pense présenter l'activité en classe ; les objectifs d'apprentissages des activités et les liens avec des moments antérieurs et ultérieurs dans la séquence.

3.2.2 Les questions posées lors de l'entretien

Trois questions sont posées. Deux questions afin de situer l'enseignant par rapport à l'année 2009-2010 du point de vue de l'utilisation des dispositifs TICE :

1. Quel logiciel avez-vous utilisé cette année dans cette classe ? (Cette question est une reprise de la question qui se trouvait dans le questionnaire)
2. Pensez-vous utiliser de nouveaux logiciels cette année par rapport à l'année dernière ?

Dans un deuxième temps, nous avons posé à l'enseignant la troisième question suivante : « *Dans le cadre d'un échange scolaire, vous partez à l'étranger durant cinq semaines. Imaginez qu'un enseignant de physique d'un autre lycée ayant une expertise de dix années est votre remplaçant et que vous lui avez donné l'activité ou l'exercice à travailler durant cette séance. Vous allez lui expliquer ce qu'il faut faire exactement pour travailler la séance comme si c'était vous qui l'assurait.* »

3.3 Entretien d'« auto-confrontation »

La démarche d'auto-confrontation est une méthode d'analyse de l'activité humaine consistant à confronter un ou plusieurs participants à une activité en l'incitant à la commenter, en présence d'un interlocuteur. L'activité est généralement présentée sous forme d'un enregistrement vidéo, mais peut également selon les situations comprendre des données audio, voire transcrites. L'entretien d'auto-confrontation permet ainsi de saisir l'activité de travail, c'est-à-dire ce qui se fait réellement, mais aussi « *ce qui ne se fait pas [...], ce que l'on aurait voulu ou pu faire* » sans y parvenir, et donc non seulement la tâche, mais également le travail tel qu'il devrait être fait (Clot et al., 2000).

Plusieurs types d'entretiens peuvent être distingués :

- l'auto-confrontation simple ou individuelle, qui consiste à confronter un seul participant à sa propre activité. Cette démarche individuelle cherche à ce que le participant commente et explicite les démarches adoptées pour réaliser ses tâches, pour révéler les processus cognitifs qui sous-tendent la description de cette activité, qu'elle soit professionnelle ou non (Mollo & Falzon, 2004).
- l'auto-confrontation croisée, qui consiste à confronter l'activité d'un participant aux commentaires d'un collègue, que ce participant soit présent ou non. Si cette démarche met parfois à distance le principal concerné, elle offre l'avantage de confronter l'activité d'une personne au regard critique et objectif d'un autre acteur professionnel (Clot et al., 2000).

Dans notre cas, l'entretien était de type auto-confrontation individuel car nous avons filmé un seul enseignant de TS et non pas plusieurs ; pour répondre à notre objectif de recherche nous n'avons pas besoin de confronter l'activité de l'enseignant que nous avons filmé avec un de ses collègues de TS. Cet entretien a eu lieu un mois après la fin de la séquence (2011_03_10) dans le lycée (Blanchet, 1985). La durée de l'entretien était d'une heure (disponibilité de l'enseignant) ce qui a limité la durée de la bande visualisée à vingt cinq minutes.

3.3.1 Objectif de l'entretien d'auto-confrontation

L'objectif de l'entretien est d'avoir des informations sur les inscriptions réalisées par l'enseignant ; pour quelles raisons les a-t-il réalisées, pourquoi l'enseignant réalise les inscriptions manuellement et non plus avec des logiciels d'une part, et pour avoir des idées sur le tissage d'autre part.

3.3.2 Choix de la vidéo pour réaliser l'entretien

La durée de la vidéo sélectionnée est de 25 minutes. Cette vidéo a été prise lors du cours qui s'est déroulé dans la neuvième séance (2011_01_28). Le début de la vidéo choisie est le début du débriefing, phase de correction, sur le dipôle RL et la fin de la vidéo correspond à la fois à la fin du débriefing mais également au début d'une activité.

Le choix de ce débriefing est dû au fait que :

- la partie RL est la deuxième partie du chapitre, par conséquent l'enseignant peut faire des liens vers le début de la séquence comme il peut faire des liens avec les séances à venir dans la séquence ;
- dans ce passage, l'enseignant a utilisé le logiciel de traitement des données Regressi pour différentes raisons. Regressi a eu différents statuts (pour montrer une acquisition déjà faite dans une séance antérieure, pour réaliser une modélisation sur les courbes projetées et pour vérifier la valeur calculée de l'inductance (L) avec la valeur obtenue par Regressi) ;
- dans cette phase de correction, l'enseignant a réalisé plusieurs inscriptions avec différents couleurs de marqueurs.

3.3.3 Question de l'entretien et consignes

Les consignes données à l'enseignant sont liées au fait que nous commandions la souris de l'ordinateur pour arrêter et démarrer la vidéo. Les deux consignes étaient les suivantes : « *à chaque fois que vous souhaitez commenter la vidéo, merci de nous le signaler à haute voix pour l'arrêter* » et « *à chaque fois que vous souhaitez reprendre la vidéo merci de nous le signaler également à haute voix* ».

Nous avons choisi ces consignes pour :

- ne pas demander trop de choses à l'enseignant (commenter, arrêter etc.) ;
- éviter que la vidéo continue à tourner quand l'enseignant est en train de parler et commenter.

La seule question posée était une question ouverte annoncée avec une intention neutre comme une remarque sans intention particulière pour ne pas guider l'enseignant vers des réponses attendues. La remarque était la suivante : « *Nous souhaitons parler essentiellement de la*

façon dont vous utilisez les différents outils TICE dans cette séance de débriefing au tableau en classe entière ».

Nous avions suivi deux techniques d'intervention parmi trois développées par Blanchet et al (1992) au fur et à mesure que l'enseignant commente ses vidéos. Les stratégies d'intervention consistent en trois techniques : « *la contradiction* », « *la consigne ou question externe* » et « *la relance* ».

- la contradiction : l'interviewer s'oppose à l'interviewé en présentant un point de vue opposé « *C'est une mode d'intervention qui pousse l'interviewé à argumenter son discours* » (idem, page 78). Ce type d'intervention induit une tendance de l'interviewé à exagérer ses opinions ainsi l'interviewer quitte sa position de neutralité ;
- la consigne ou question externe où l'interviewer demande des nouvelles informations de la part de l'interviewé ;
- la relance : l'interviewer demande plus d'informations, des précisions de l'interviewé à partir de ce qu'il dit, « *Les relances prennent pour objet le dire antérieur de l'interviewé. Elles ne commandent pas le discours de l'interviewé comme les questions directes, elles ne s'opposent pas aux arguments énoncés, mais elles se coulent dans ce discours qui prend une fonction d'acte directeur dans le dialogue* » (idem, page 79). Les différents types de relances laissent un grand choix à l'interviewer.

Il existe théoriquement, six types de relances qui ont chacune des effets spécifiques sur le discours produit (Blanchet et al, 1992). Nous illustrons chaque type de relances par un exemple. L'énoncé de départ est : « *les mères porteuses sont courageuses ...mais je pense qu'elles sont inconscientes* » (idem, page 80).

- écho : L'intervention répète ou reformule un ou plusieurs énoncés référentiels au discours de l'interviewé. Exemple : « *elles sont courageuses* », ou « *elles sont courageuses et inconscientes* » ;
- reflet : l'intervention répète ou reformule avec un préfixe modal un ou plusieurs énoncés du discours de l'interviewé. Exemple : « *Vous pensez qu'elles sont courageuses* », « *Vous pensez qu'elles sont inconscientes* » ;
- complémentation : l'intervention vient ajouter un élément d'identification de la référence à l'énoncé précédent de l'interviewé ;
- interprétation : l'intervention vise à suggérer une attitude non explicitée par l'interviewé. Exemple : « *Vous craignez des conséquences néfastes* » ;
- interrogation référentielle : l'intervention vise à avoir des identifications supplémentaires de la référence. Exemple : « *Dans quel cas ?* » ;
- interrogation modale : L'intervention vise à avoir une identification de l'attitude propositionnelle de l'interviewé. Exemple : « *Qu'est ce que vous en pensez ?* ».

Dans notre cas, nous avons surtout utilisé la relance, et plus précisément la relance du type écho afin d'obtenir plus de détails de la part de l'enseignant et ne pas entraîner des modifications de l'opinion de l'enseignant.

L'entretien d'auto-confrontation a été filmé, il a duré une heure. Cet entretien a eu lieu après la fin de la séquence.

4 Les documents complémentaires recueillis

Nous avons complété nos données avec des traces écrites produites par l'enseignant et des traces écrites produites par les élèves.

Les traces écrites produites par l'enseignant comportent les fiches distribuées par l'enseignant au cours de la séance (fiche modèle, fiche comparative entre la partie RC et RL, copies des compétences exigibles des étudiants du TS dans le programme).

Les traces écrites produites par des élèves consistent en des scans du cahier des deux élèves de notre binôme et de leurs devoirs surveillés de physique sur l'électricité (copie des réponses de notre binôme filmé sur le DS).

Pour ce travail de thèse, nous avons utilisé marginalement ces documents complémentaires recueillis.

V. Méthodologie de traitement et d'analyse des données

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord l'étape préliminaire des traitements des données audio-vidéo (§ 1). Nous continuons ensuite avec la présentation de nos deux types d'analyses de vidéos sur le logiciel Transana ; nous synthétisons les deux types d'analyse par la figure 8 :

- Le premier vise à étudier la cohérence (§ 2). Cette partie est divisée en quatre sous-parties : le découpage du discours en épisodes (§ 2.1), le codage des épisodes avec des mots clés (§ 2.2), la création d'un tableau pour présenter les épisodes codés avec un mot clé et leurs épisodes de correspondance (§ 2.3.), l'objet d'étude et le schéma permettant l'étude de la cohérence (§ 2.4) entre les épisodes présentés dans le tableau ;
- le deuxième vise à étudier les inscriptions (§ 3). Cette partie est divisée également en quatre sous-parties : le découpage du discours en synoptique (§ 3.1) ; le codage des unités générées par le découpage synoptique en mot(s) clé(s) (§ 3.2) ; la présentation de la grille d'analyse (§ 3.3) ; la précision de l'objet d'étude pour l'analyse des inscriptions (§ 3.4) lors du tissage effectué par l'enseignant.

Nous clôturons ce chapitre avec une conclusion sur la méthodologie d'analyse des données

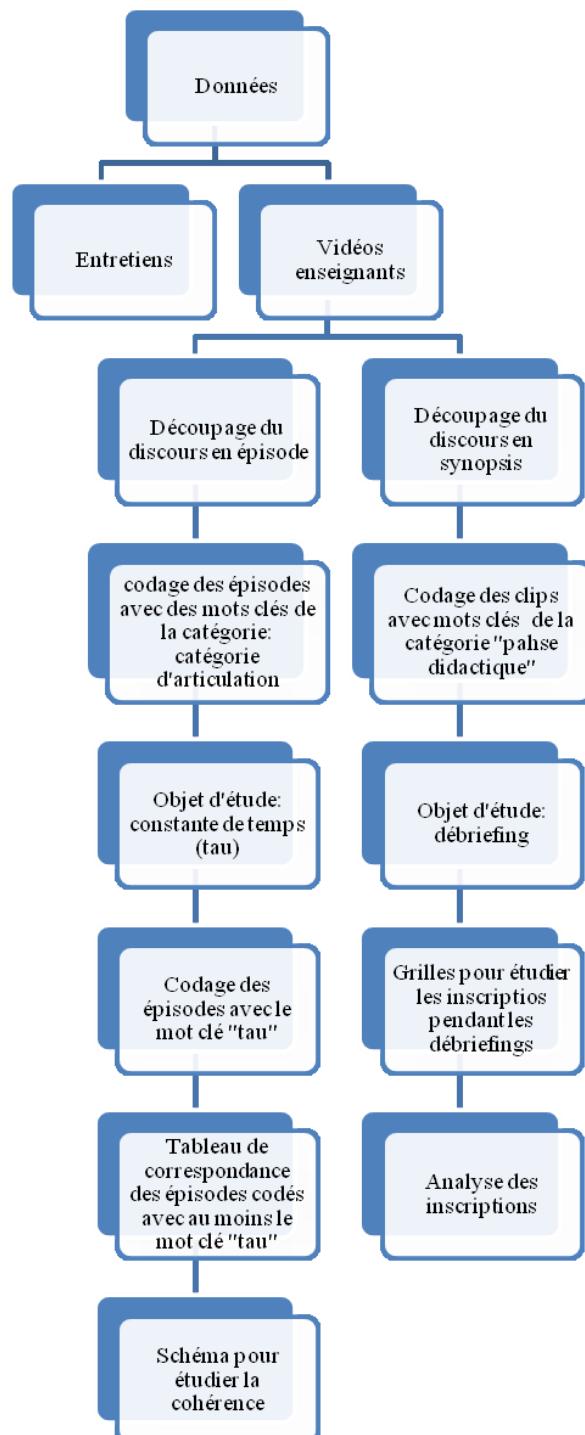


Figure 9 : Cette figure représente la structure générale de notre méthodologie d'analyse de nos données.

L'étape préliminaire du traitement des données ne figure pas sur la figure 9. Le traitement de nos entretiens et de nos vidéos se fait par Transana. La méthodologie d'analyse de la vidéo est divisée en deux branches suivant les spécificités de nos questions de recherche (chapitre 3).

1. Etape préliminaire de traitement des données

Au fur et à mesure que nous enregistrons nos données audio-vidéo, nous les avons répertoriées de façon à ce qu'elles soient le plus facilement exploitable en fonction de nos objectifs de recherche. Cette technique permet aussi d'utiliser ces données pour d'autres objectifs de recherche et par d'autres chercheurs. L'idée consiste à maintenir la chronologie exacte du déroulement des séances filmées.

Cette étape est constituée de trois phases :

- la numérisation et la dénomination des données ;
- le script de continuité;
- le traitement des données par Transana.

1.1 La numérisation et la dénomination des données

Nous avons numérisé nos données vidéo d'une part pour pouvoir visualiser les bandes sans avoir à utiliser la bande originale (bande mini DV), et d'autre part pour les implémenter dans le logiciel d'analyse Transana que nous présentons dans le § (1.3). La numérisation des bandes est faite en utilisant le logiciel « Windows Movie Maker » au format « .MPEG » format exploitable par Transana. En effet, il permet de choisir le format de la numérisation de façon compatible avec le système d'exploitation de l'ordinateur où on a utilisé Transana (sous Windows, le meilleur format est MPEG).

Pour la dénomination des fichiers obtenus après la numérisation, nous avons trouvé pertinent de réfléchir, en fonction de la nature de la recherche, à une dénomination rationnelle pour les séances. Nous avons procédé en donnant un nom spécifique.

La dénomination du fichier contient des informations sur la date de l'enregistrement (année_mois_jour), la nature de la séance (cours, TP), l'acteur (nous envisageons deux noms car nous avons deux acteurs : professeur, élève). La dénomination du fichier sera : Année_mois_jour_lieu_numéro de la bande filmée_acteur. Nous donnons un exemple : 2011_01_10_TP_(1)_Prof. Dans cet exemple les données sont sur la première bande filmée le 10 janvier 2011 pendant le TP. La vidéo est prise par la caméra qui filme l'enseignant dans la classe de terminale scientifique.

Après cette étape de dénomination, nous avons obtenu une quinzaine de vidéo concernant la totalité de la séquence d'électricité, nous avons besoin de les grouper d'une manière chronologique avec les autres données recueillies de nature variée : enregistrements, documents papiers, notes prises pendant les séances. Le script de continuité est l'outil qui vise à donner une structure à l'ensemble de ces données, en les reliant sous une forme succincte aux séances où elles ont été récoltées (Badreddine & Buty, 2007).

1.2 Le script de continuité

Le script de continuité se présente sous la forme d'un tableau dont chaque ligne représente une prise de données (un entretien enregistré avec un des acteurs de la séquence donnera lieu à une ligne du tableau, aussi bien une séance). Les colonnes contiennent des informations de diverses natures qui caractérisent à une échelle macroscopique la séance, et qui permettent de la situer dans l'ensemble des données dont on dispose. Ces informations peuvent légèrement varier d'une collecte de données à une autre, mais elles sont dans l'ensemble toujours les mêmes. Les informations sont :

- la date et le nom d'une séance : ils représentent un index similaire au nom des données audio/vidéo, que nous venons de présenter dans le paragraphe sur la dénomination des fichiers audio/vidéo ;
- le sujet central de la séance : il constitue le thème principal de la séance, ce peut être le nom du chapitre ou d'une activité dans un chapitre ;
- la progression thématique : elle indique la suite des thèmes qui ont été abordés dans une séance donnée ;
- le lieu du déroulement de la séance : il mentionne le lieu dans lequel se fait l'enseignement ; par exemple la salle de Travaux Pratiques et/ou la classe, ou en dehors de la classe...
- la durée de la bande : elle comptabilise la durée de la bande de l'enseignant ou des groupes d'élèves filmés ;
- les documents attachés à la séance : ils peuvent référencer des données primaires telles que les cahiers des élèves, la préparation d'un enseignant pour une séance donnée, les contrôles ou les tests des élèves, des données secondaires telles que les transcriptions des entretiens, les transcriptions des séances ;
- les remarques représentent les notes concernant une séance donnée. Elles peuvent être de différents ordres : des problèmes techniques concernant la prise des données comme un manque de documents.

Nous nous inspirons de Badreddine & Buty (2007) pour créer un script de continuité de notre séquence sur l'électricité en remplaçant la colonne « progression thématique » par « activité ou exercice résolu », cf le tableau 5 ci-dessous. Ce tableau résume « l'ensemble des séances » de la séquence de la classe « enseignée par l'enseignant ». Ce tableau permet de voir l'enseignement sur l'échelle de temps macroscopique que recouvre une séquence, et sur une échelle mésoscopique déterminée par les thèmes de chaque séance.

Nom de la séance	Nombre et nature des données audio-vidéo	Durée des données audio vidéo		Lieu de la séance	Activité et exercice résolu dans la séance
		Durée de la bande 1	Durée de la bande 2		
2011_01_07	Début du chapitre de l'électricité (environ 00 :30 :00 non filmé)				
2011_01_10	2 bandes vidéo de l'enseignant	00 :58 :00	00 :58 :00	Salle de TP	-Activité 1 (dipôle RC) -Activité 2 (dipôle RC)
	2 bandes vidéo des élèves	00 :1 :00	00 :57 :00		
2011_01_11	1 bande vidéo de l'enseignant	00 :57 :00		Salle de cours	-animation de l'électroscop
2011_01_14	2 bandes vidéo de l'enseignant	01 :20 :00	00 :35 :00	Salle de cours	-Correction DS chimie -suite activité 3 (dipôle RC) -activité 4 et 5 (dipôle RC)
2011_01_17	2 bandes vidéo de l'enseignant	01 :20 :00	00 :35 :00	Salle de TP	-activité 6 (dipôle RC) - activité 7 (dipôle RC)
	2 bandes vidéo des élèves	00 :15 :00	00 :42 :00		
2011_01_18	1 bande vidéo de l'enseignant	00 :53 :00		Salle de cours	Compléter une partie de la fiche modèle (dipôle RC) ; exercice 9.
2011_01_21	Entretien	-----		---	-----
2011_01_24	2 bandes vidéo de l'enseignant	01 :10 :00	00 :50 :00	Salle de TP	-activité 1 (dipôle RL) -activité 2 (dipôle RL) -activité 3 (dipôle RL)
	2 bandes vidéo élèves	00 :01 :09	00 :52 :00		
2011_01_25	1 bande vidéo de l'enseignant	00 :54 :00		Salle de cours	-suite activité 7(dipôle RC) -exercice 11, 12, 13 -suite activité 2 (dipôle RL) -fichier de comparaison : dipôle RC et dipôle RL.
2011_01_28	2 bandes vidéo de l'enseignant	01 :15 :00	00 :35 :00	Salle de cours	-correction du DS -suite activité 3 (dipôle RL) -activité 4 (dipôle RL) -activité 5 (dipôle RL)

	Entretien d'auto-confrontation				
2011_01_31	2 bandes vidéo de l'enseignant 2 bandes élèves	01:10 :00	00 :45 :00	Salle de TP	-suite activité 5 -activité 1 et 2 (dipôle RLC)
		01 :06 :00	00 :55 :00		
2011_02_01	1 bande vidéo de l'enseignant	00 :57 :00		Salle de cours	-exercice5 (dipôle RC) ; exercice 1 et 8 (dipôle RL)
2011_01_04	2 bandes vidéo de l'enseignant	01 :05 :00	00 :45 :00	Salle de cours	-exercice 14, 15, 20 (dipôle RL) -exercice 2, 3 (dipôle RLC)
	2 bandes vidéo des élèves	01 :02 :00	00 :50 :00		
2011_02_07	(cours chimie)			-----	-----
2011_02_08	Cours physique, donnée non prise (environ 00 :30 :00)				

Tableau 5 : Script de continuité de la séquence d'électricité filmée.

1.3 Traitement des données par Transana

Dans ce qui suit nous présentons le logiciel Transana sur lequel se basera une partie de notre travail. Transana est un outil de transcription et d'analyse qualitative des données audio / vidéo : Transana (www.Transana.org). Transana est créé à l'origine par Chris Fassnacht au *Wisconsin Center for Education Research à Madison* (WCER) est actuellement développé par David Woods qui travaille dans le même centre. Transana supporte plusieurs formats vidéo (mov, mpeg1, mpeg2, wmv, avi...) et audio (wav, mp3, wma...). Il est disponible sous les systèmes d'exploitation Windows et Mac. Il existe en deux versions : la version « Single User », pour un seul utilisateur et « Multi User », une version dont la base de données est accessible à plusieurs utilisateurs. Dans notre travail, nous utiliserons la version Single User.

Nous présentons brièvement une vue d'ensemble de ce logiciel dans le but de justifier son utilisation dans notre travail.

1.3.1 Description « sommaire » de Transana

Avec Transana, il est possible de créer une base de données multimodales permettant de mettre en relation les données vidéo et leurs « transcriptions ». Son interface permet de créer un lien direct, alignement, entre l'audition et/ou la visualisation du signal et la transcription (figure. 9).

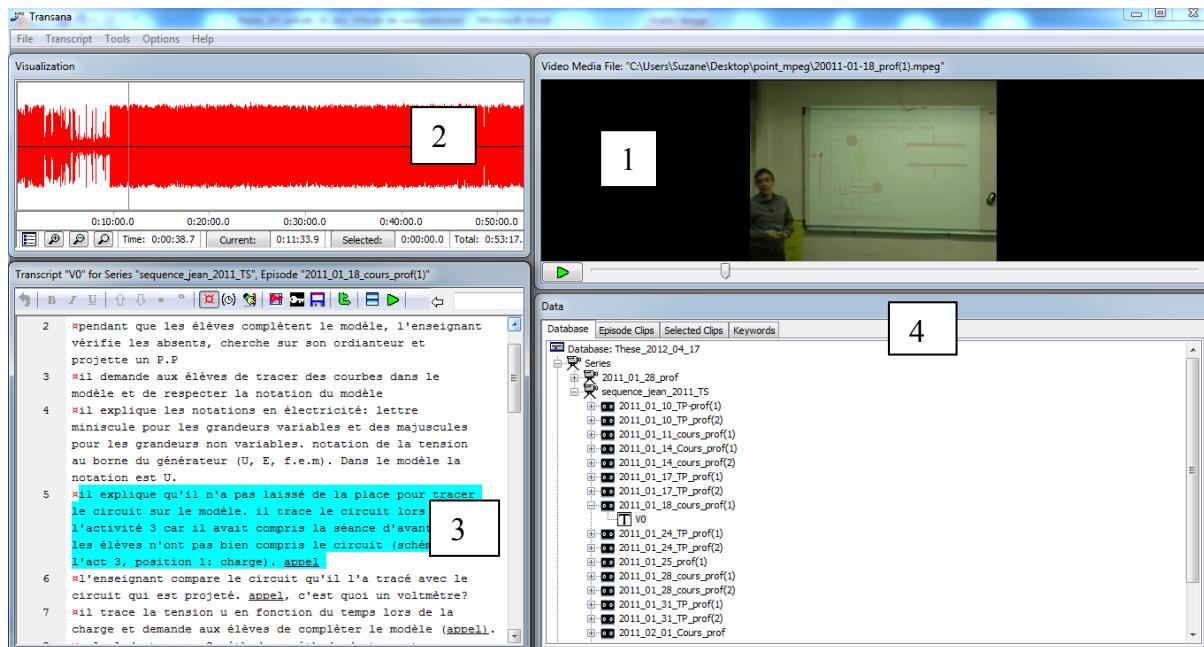


Figure 10 : Copie d'écran de l'interface de Transana (c'est nous qui avons ajouté les numéros).

Sur la figure 10, apparaissent quatre fenêtres principales que nous allons décrire dans les paragraphes suivants :

1.3.1.1 Fenêtre des bandes audio/vidéo

La fenêtre « numéro 1 » sur la figure 10 permet de parcourir des bandes vidéo.

1.3.1.2 *Fenêtre de visualisation de la bande sonore*

La fenêtre « numéro 2 » sur la figure 10 permet de visualiser la bande sonore afin d'observer les variations phoniques produites dans l'environnement étudié. Elle permet aussi de visualiser la répartition des mots clés dans cette fenêtre après le codage des données. Cette fenêtre est importante car il est possible de visualiser la répartition des mots clés (Keyword Map) de chaque vidéo.

1.3.1.3 *Fenêtre de transcription*

La fenêtre « numéro 3 » est la fenêtre de transcription et ses différents outils. Dans notre cas le mot transcription a deux sens différents :

- transcription intégrale du discours, au sens habituel. Cette transcription a été faite pour les données des entretiens ;
- transcription constituée de notes rapides sur les traits pertinents du discours de l'enseignant.

Nous avons effectué un découpage directement à partir de la bande vidéo puisque nos indicateurs de découpage ne sont pas uniquement verbaux. La vidéo donne un accès à la multimodalité du discours permettant de comprendre, grâce à sa visualisation directe, la relation de simultanéité entre le non-verbal et le verbal ; c'est un aspect où une transcription classique représente, à notre avis, une limitation.

Cette méthode nous a permis, à partir de la visualisation répétée d'un extrait vidéo, de comprendre la relation d'un extrait avec son contexte microscopique, mésoscopique et même macroscopique, permettant ainsi de reconstruire un sens pour le rythme et la dynamique de la séquence.

La fenêtre de visualisation, la transcription et la bande vidéo sont mises en relation en insérant des repères temporels (« time codes ») dans la fenêtre de transcription. Ces repères sont créés par l'utilisateur au fur et à mesure de la transcription ou après celle-ci. Ainsi chaque passage de la transcription est indexé et synchronisé avec le passage correspondant de la bande Audio/vidéo et la visualisation de la bande vidéo sera plus simple à parcourir.

La place des indices temporels, lors des transcriptions, est codée suivant l'objet de recherche. Dans notre cas, chaque indice temporel marquera une unité discursive appelée épisode, nous avons défini cette unité dans le § (2.3.4) du cadre théorique.

1.3.1.4 *Fenêtre de visualisation de la base des données*

C'est la fenêtre « numéro 4 » sur la figure 10 qui est appelée aussi la fenêtre « database ». Elle est divisée en quatre parties : « séries », « collections », « mots clés » et « recherche ».

- La partie « séries » contient l'ensemble des bandes vidéo sur lesquelles se base notre travail. Elle peut être constituée d'un nombre indéterminé de fichiers vidéo.

Chaque bande vidéo dans cette fenêtre peut avoir une ou plusieurs « transcriptions », permettant dans ce cas de faire des « transcriptions » et des découpages temporels de différents types pour une même bande vidéo. Nous avons constitué notre série avec l'ensemble des 18 séances. La dénomination officielle d'une bande vidéo dans Transana est « épisode ».

Nous soulignons que dans la suite de notre travail cette dénomination ne sera pas utilisée dans le sens utilisé par Transana : « bande vidéo ». Elle va renvoyer au nom de l'unité discursive portant le même nom (Mortimer et al, 2007) que nous utiliserons pour le découpage de nos bandes.

- La partie « collection » contient des regroupements de « clips » de même nature ; ces clips sont des extraits de bande vidéo. Ils sont créés à partir d'une partie de transcription bornée entre deux « repères de temps » ; ces « clips » représentent des sous unités de la transcription originale et conservent le lien temporel à la vidéo attribuée à partir de cette transcription. Un « clip » peut être dupliqué ou présenté dans une collection de nature différente.
- La partie « mots clés » représente la grille d'analyse ou d'indexation pour le traitement des clips et des bandes. Un ou plusieurs mots clés sont définis dans une structure : « groupe de mots clés ».

Les groupes de mots clés peuvent être utilisés de deux façons différentes : la première permet d'appliquer une grille d'analyse prédéfinie. Il est également possible de constituer la grille au moment des observations ; les mots clés seront implémentés au fur et à mesure de l'analyse. La deuxième fonction est une fonction d'indexation permettant de créer des index pour les clips afin de faciliter des opérations booléennes sur eux. Ces mots clés peuvent être attribués aux clips ou aux bandes vidéo.

Nous appelons cette opération d'attribution des mots clés « la phase de codage des données ». L'étape de codage est indispensable dans l'utilisation de Transana et la construction de la base de données. Elle présente un passage obligatoire dans l'étape d'élaboration des résultats qualitatifs et quantitatifs. Tout changement dans la transcription d'une bande (vidéo ou audio) ou dans les mots-clés d'un clip « peut être » répercuté sur l'ensemble des transcriptions.

- La partie « recherche » : cette partie a une nature différente des trois précédentes (séries, collections, mots clés). Elle est consacrée aux requêtes booléennes sur les mots clés affectés aux clips des collections et/ou les mots clés affectés aux bandes vidéo dans les séries. Elle contient les opérations booléennes : d'intersection « ET », d'union « OU » et « NON ». La recherche pourra être appliquée sur un ou plusieurs mots clés, auquel cas une opération booléenne sera nécessaire.

L'utilisation principale de cette fonction dans Transana est d'assurer la validation des hypothèses (Seck, 2007 ; El Mouhayar, 2007). Les résultats de ces opérations peuvent être présentés sous forme de collections. Nous choisissons dans notre travail, un aspect pour l'utilisation de cette fonction, proche de Badreddine (2009) qui consiste à coder des clips par des mots clés et ensuite à utiliser cette fonction pour créer une collection avec tous les clips codés par le même mot clé. Cette opération permet de mettre en lien les unités microscopiques entre elles sur un plan mésoscopique et macroscopique. Elle permet également de retracer l'histoire d'un contenu précis (Badreddine, 2009).

1.3.1.5 *Conclusion sur Transana*

Ce logiciel présente plusieurs autres fonctionnalités graphiques, statistiques, ou textuelles de traitement de données que nous n'avons pas détaillées ci-dessus. Seules les fonctions utilisées dans notre travail ont été décrites.

Le choix de ce logiciel pertinent pour notre travail car il convient parfaitement à nos besoins. Par son interface multimodale, il permet de mettre en lien les quatre fenêtres et ainsi d'avoir un accès simple : à la vidéo, à la transcription et à la bande sonore. Nous pouvons considérer que ce programme prend, lorsque la séquence est instrumentée, le relai du script de continuité et fournit des indications plus précises. Transana facilite donc l'utilisation des données et la visualisation d'un très grand nombre de bandes vidéo d'une façon très rapide.

1.3.2 **Traitements des entretiens par Transana**

Nous n'étudions pas les entretiens pour eux-mêmes ; mais nous cherchons dans ces entretiens des éléments d'interprétation concernant ce qui se passe en classe pour confirmer le sens de notre analyse. Autrement dit, ces entretiens vont servir pour comprendre certaines situations dans la séquence d'enseignement et cela pour pouvoir analyser avec plus de précision et de détails la pratique enseignante.

Nous avons importé les trois entretiens sous Transana et nous avons effectué un traitement simple :

- entretien sur tau : nous avons effectué deux types de transcription ; une transcription intégrale permettant de reprendre des citations et une transcription partielle pour avoir une idée globale de l'entretien⁷ ;
- entretien d'auto-confrontation : nous avons effectué sous Transana la transcription intégrale et nous avons ajouté la vidéo pour réaliser l'entretien ;
- entretien avec instruction au sosie : nous avons effectué la transcription sous Transana de l'audio de l'entretien au sosie.

⁷ Voir annexe 6.

1.3.3 Traitement des données vidéos par Transana

La description du logiciel Transana dans les pages précédentes constitue l'ensemble des outils nécessaires pour l'instrumentation d'une séquence vidéo. Dans cette partie nous présentons les deux types d'analyses de nos vidéos avec Transana (figure 9).

2. Méthodologie d'analyse pour étudier la cohérence

Dans cette partie, nous présentons d'abord le choix de l'unité du découpage du discours (§ 2.1) ainsi que les critères du découpage en épisode dans la classe de cours et dans la classe de TP. Une fois que l'étape de découpage en épisodes est réalisé pour toutes les transcriptions de nos vidéos, nous passons ensuite au codage des épisodes par des mots (§ 2.2), car cela aide à la construction de l'environnement nécessaire pour le début de l'opération de codage sur Transana. Puis, nous choisissons le concept (§ 2.3) et la création d'une collection des épisodes codés avec les mots clés prédefinis, reliée au concept choisi. Nous poursuivons avec la création d'un tableau de correspondance entre les épisodes reliés au concept choisi (§ 2.4) pour pouvoir étudier la cohérence discursive (§ 2.5) des épisodes reliés au concept choisi.

2.1 Découpage du discours en épisodes

À l'échelle microscopique, les interactions organisent l'activité. Le discours des locuteurs dans l'espace public est rythmé par une suite d'épisodes dont chacun forme un tout cohérent, et dont la succession est, elle aussi, la traduction d'une nécessité axiologique dans l'action des interactants. Chaque épisode joue son propre rôle dans cet enchaînement et a ses propres caractéristiques tant formelles que sémantiques.

L'étude des liens discursifs ne peut pas se faire en découpant le discours à l'échelle mésoscopique (synopsis) ou macroscopique (thème) puisqu'il y a des liens dans un même synopsis et entre les synopsis que nous ne pouvons pas repérer s'ils ne sont pas découpés en unité plus petite. Pour cela, nous proposons l'épisode comme unité discursive pour l'étude de la cohérence. Ce découpage en épisodes permet de suivre pas à pas la chronogenèse des notions et des concepts scientifiques liés à l'électricité dans le discours. Il permet également de reconstruire la manière dont les épisodes s'articulent les uns aux autres. Par conséquent, il est possible d'étudier la cohérence du discours global de la classe. En passant de l'échelle de temps inférieure (microscopique) à l'échelle de temps mésoscopique et même macroscopique ce que Lemke (2001) appelle le *Zoom-out*.

Le découpage des séances en épisodes est réalisé dans diverses études pour des séances de cours (Mortimer et al, 2007 ; Badreddine, 2009 ; Badreddine & Buty, 2011 ; El Hage et al, 2012 ; El Hage & Buty, 2012). Notre corpus est constitué de séances de cours et de séances de travaux pratiques. C'est alors que s'est posée la question de la pertinence d'utiliser les mêmes critères de découpage en épisodes dans les séances de cours et dans ceux des séances de TP.

2.1.1 Découpage en épisodes du discours en classe entière

Dans les séances de cours, nous suivons les critères développés par Mortimer et al (2007) pour le découpage en épisodes. Après le découpage en épisodes de la totalité de la séquence, nous avons pris des décisions sur des épisodes ayant des particularités qui se répètent dans la séquence.

Nous donnons un exemple de ces décisions : quand nous trouvons des épisodes de silence où l'enseignant effectue des activités annexes comme : tester le matériel expérimental, préparer « une acquisition des données », etc. alors nous fusionnons cet épisode avec l'épisode précédent ou l'épisode suivant de la séance. Le choix de l'épisode avec lequel nous fusionnons l'épisode de silence résulte d'un critère proxémique lié à la place (localisation) de l'enseignant dans la salle.

2.1.2 Découpage en épisodes du discours lors des travaux pratiques

Nous allons maintenant préciser comment nous avons adapté le découpage des épisodes dans des situations de TP. Quand l'enseignant s'adresse à toute la classe à haute voix, nous utilisons les mêmes critères de découpage de la séance de cours que ceux développés par Mortimer et al (2007). Mais il arrive que l'enseignant ne destine ses propos qu'à quelques élèves. Nous avons pu observer une grande variété de communications, pendant le TP :

- l'enseignant peut s'adresser à des binômes particuliers et non pas à toute la classe ;
- le contenu de la discussion que l'enseignant mène avec les différents binômes n'est pas le même ;
- le TP est bruyant car les élèves discutent aussi bien entre pairs d'une même dyade qu'entre binômes différents. Cela entraîne des soucis du point de vue technique car la voix sur la vidéo n'est pas toujours audible.

Pour ces raisons, le découpage en épisodes quand l'enseignant mène son discours en milieu privé (discussion avec le binôme) est soumis à toutes ces contraintes (voix audible, bruit). Par conséquent, pour effectuer un découpage homogène quelque soit la situation du TP, bruyante ou pas, nous avons décidé de considérer que la discussion que l'enseignant mène avec un même élève ou un même binôme vaut un seul épisode, même si le contenu de discussion est riche et pourrait être découpé en plusieurs épisodes.

L'ensemble des règles du découpage en épisodes dans une séance de cours et dans une séance de TP se trouve en annexe (voir annexe 7). Reprenons un exemple des consignes : si l'enseignant se place derrière les binômes, vérifie leurs montages sans rien dire pour une durée de moins de vingt secondes, alors nous n'isolons pas cet épisode.

Une fois finie l'étape du découpage en épisodes et la dénomination de ces derniers (année_mois_jour_numéro épisode) de la totalité des séances de la séquence, nous passons à l'étape suivante qui consiste à coder les épisodes avec des mots clés.

2.2 Codage des épisodes par des mots clés

Pour coder les épisodes par des mots clés, nous avons besoin de penser à nos mots clés d'une part et à la création des collections sous Transana pour pouvoir attribuer au clip des mots clés d'autre part.

L'implémentation des catégories d'analyse à partir de ce logiciel est très flexible. Le nombre de mots clés dans une catégorie n'est pas limité : la suppression, la modification ou l'ajout des mots clés sont autorisés.

Les mots clés de la catégorie d'analyse sont les six catégories d'articulation développées dans le (§ 3.1.2 du cadre théorique) : remise, annonce, avance, appel, rappel et reprise.

Nous avons procédé par un Zoom-in pour tous les épisodes où l'enseignant tisse des liens déterminé ou indéterminé dans son discours avec d'autres moments de la séquence. Nous reviendrons plus loin sur cette qualification (§ 2.3). Tous les épisodes découpés dans le discours ne sont pas forcément codés par ces mots-clés. Certains épisodes ne sont codés par aucun mot clé, d'autres peuvent être affectés de deux ou plusieurs mots clés en fonction du tissage entre le contenu de l'épisode et les épisodes de correspondance. Nous donnons un exemple sur le codage des épisodes avec des mots clés de la catégorie « catégorie d'articulation » ; ci-dessous la transcription d'un épisode codé avec deux mots clés permettant de la relier avec des moments antérieurs et ultérieurs de la séquence : une annonce et un appel.

2011_01_11_51	
Enseignant	Et là, ceux qui sont allés un peu plus loin, <u>dans le deuxième groupe quasiment tout le monde vous avez vu l'effet de l'augmentation de C et de R</u>
Elève	ça augmente
Enseignant	Si C augmente, ça va à la même limite mais c'est plus lent /l'enseignant trace une courbe en pointillé sur le même axe où il a déjà tracé une courbe de $u(t)$; copie d'écran ci-dessous/ les deux courbes se rapprochent à la même valeur de U_0 au bout d'un moment. Donc, vous les referez lundi tous de toute façon. Et si R augmente ?
Elève	Pareil
Enseignant	Si R augmente c'est également plus long, /l'enseignant fait un geste pour présenter l'allure de la courbe à obtenir/ ; D'accord ? la constante de temps caractéristique n'a pas forcément la même valeur mais vous pouvez compléter la phrase si R augmente.

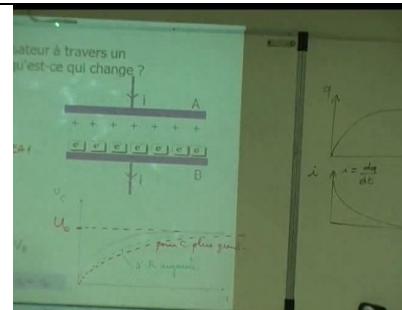


Tableau 6 : Transcription de l'épisode 51 de la troisième séance.

L'épisode 51 (tableau 6) représente un exemple d'épisode où l'enseignant fait à la fois un « appel » et une « annonce » lors de la correction d'une activité expérimentale. La partie

soulignée dans la transcription représente la dimension « appel » et ce qui est en gras représente la dimension « annonce ». Ce qui est entre traits obliques (slash) sont les gestes qui ont accompagné le registre du langage naturel.

En fait, ce que l'enseignant annonce dans cet exemple est un contenu que les élèves ont à refaire dans le prochain TP. Le contenu annoncé est le même que le contenu « appelé » ; il porte sur les effets de la variation de la valeur de la résistance, R, et la valeur de la capacité du condensateur, C, sur les allures des courbes de la tension en fonction du temps pour un dipôle RC.

L'étude de la cohérence ne peut pas s'étendre à tous les épisodes codés par des catégories d'articulation. En général, la logique d'enseignement consiste à commencer une séquence avec des notions élémentaires et simples pour arriver à la complexité avec la progression du temps didactique. Pendant la progression de ce dernier, certains concepts disparaissent pour réapparaître plus loin dans la séquence et s'enrichissent au fur et à mesure, d'autres disparaissent et des nouveaux apparaissent. Ainsi, même si le repérage des liens entre les épisodes est faisable, l'étude de la cohérence entre les différents épisodes codés par une catégorie d'articulation, concernant chaque concept de la séquence d'électricité est complexe. Par conséquent, nous avons besoin de choisir un concept scientifique afin de pouvoir étudier la cohérence dans le discours de l'enseignant dans les différents épisodes portant sur ce concept.

2.2.1 Choix du concept

L'introduction du programme de terminale scientifique⁸ signale que l'évolution des systèmes est un fil conducteur de ce programme, « *Le programme de sciences physiques de terminale S a pour trame l'évolution temporelle des systèmes. Les exemples traités, pris dans différents domaines de la physique et de la chimie, en constituent les motifs* » (BO, 2001).

Une consultation du programme de physique-chimie nous permet de repérer un concept en lien avec l'évolution des systèmes. Le concept que nous avons choisi est « constante de temps, τ^9 ». Ce concept se répète dans les parties intitulées : « transformations nucléaires », « évolution des systèmes électriques » et « évolution temporelle des systèmes mécaniques ».

Au-delà du texte officiel, s'ajoute d'autres raisons pour le choix du concept (tau) :

- le concept de constante de temps permet *a priori* aux enseignants de tisser des liens à l'échelle macroscopique entre les séquences (entre l'électricité et la radioactivité par exemple) ;
- le concept de constante de temps permet *a priori* aux enseignants de tisser des liens à l'échelle mésoscopique et à l'échelle microscopique au sein de la même séquence. En

⁸ Voir annexe 1.

⁹ Voir annexe 4.

effet, dans la séquence d'électricité cette notion se répète pour le dipôle RC et le dipôle RL ;

- le concept de constante de temps revient fréquemment aux épreuves du baccalauréat scientifique, et cela que ce soit à l'épreuve écrite comme à l'épreuve expérimentale. Cette idée a été confirmée lors de l'entretien¹⁰ que nous avons effectué avec l'enseignant, au cours duquel il dit : « *dans l'épreuve expérimentale, on a toujours une constante de temps à calculer, en électricité, on a toujours une constante de temps à déterminer dans l'épreuve écrite* » ;
- la détermination de la valeur expérimentale de la constante de temps nécessite d'utiliser le logiciel d'acquisition des données (ME) et le logiciel de traitement des données (Rgressi) pour trouver la valeur. La détermination de la valeur théorique nécessite d'utiliser l'expression algébrique correspondante pour chaque circuit et chaque dipôle. Par conséquent, l'obtention de la valeur de la constante de temps mobilise différents registres sémiotiques et les deux mondes de modélisation (§ 1.1.2 du cadre théorique).

2.2.2 Sélection des épisodes en lien avec le concept « constante de temps »

Après une analyse du programme de TS, nous considérons que les épisodes qui ont le contenu suivant sont des épisodes liés à la « constante de temps » :

- calcul de la constante de temps ;
- techniques graphiques et classiques pour déterminer la valeur de tau ;
- effets des différentes variables sur la valeur de tau pour le dipôle RC ;
- effets des différentes variables sur la valeur de tau pour le dipôle RL.

Nous ajoutons le contenu qui porte sur les techniques non classiques pour trouver la valeur de tau (Rgressi, réticule) ; ce contenu n'est pas précisé en tant que tel dans le programme car il dépend du choix du logiciel utilisé par l'enseignant et de l'utilisation des TICE ou pas.

Après le choix du concept « constante de temps » nous effectuons un retour à nos bandes vidéos. Nous les visualisons tous de nouveau dans l'ordre chronologique pour repérer les épisodes liés à ce concept.

Nous avons codé tous les épisodes liés au contenu qui nous intéresse avec le mot clé « constante de temps ». Ensuite, nous les avons tous regroupés dans une collection nommée « constante de temps, tau », la figure 11 illustre la structure arborescente obtenu sur Transana. Pour ce faire, nous avons utilisé la fonction « rechercher » de Transana. Parmi les épisodes de cette collection, certains sont codés avec des mots clés de la catégorie intitulée « catégorie d'articulation ».

¹⁰ Voir annexe 6.

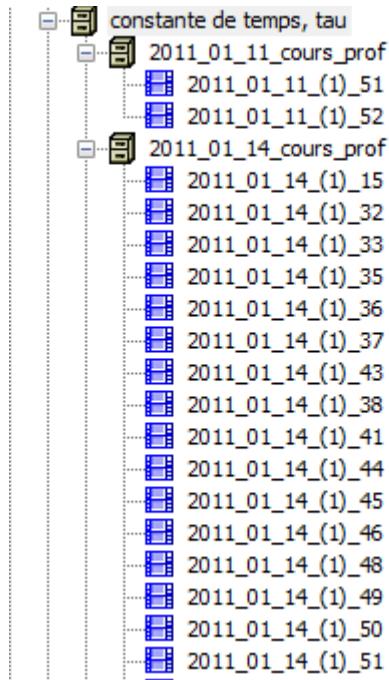


Figure 11 : Copie d'écran d'une partie de la structure du traitement des épisodes codés au moins avec le mot clé constante de temps.

Ces épisodes peuvent ou non être codés avec des mots clés de la catégorie d'articulation en fonction du tissage effectué. Dans cette copie d'écran, nous visualisons une collection intitulée « constante de temps (tau) » qui comporte deux sous-collections, représentant l'ordre de la progression dans le temps des épisodes où l'enseignant traite le concept « constante de temps ».

2.3 Tableau de correspondance des épisodes codés

Nous cherchons une façon de mettre en correspondance les épisodes situés dans différentes séances qui réfère au contenu « constante de temps ». Par conséquent, à partir de la collection « constante de temps » créée avec Transana, nous avons regroupé les épisodes dans un tableau de six colonnes :

- première colonne intitulée « nom de l'épisode codé » ; elle correspond au nom de l'épisode codé avec la catégorie d'articulation, nom qui n'est autre que la dénomination de l'épisode sous Transana ;
- deuxième colonne intitulée « nom de la catégorie d'articulation » ; elle présente le nom de l'articulation comme son nom l'indique ;
- troisième colonne intitulée « nom de(s) épisode(s) de correspondance » ; elle correspond au nom de l'épisode/les épisodes de correspondance vers lequel renvoie l'épisode codé, le nom est le même que celui dans Transana. Une fois que les épisodes sont codés avec des mots clés nous recherchons l'épisode de correspondance/les épisodes de correspondance ; nous y reviendrons plus loin.
- quatrième colonne intitulée « contenu commun » ; elle consiste à décrire en une phrase le contenu commun entre les épisodes ;

- cinquième colonne intitulée « responsable de l'articulation » ; elle correspond à la personne responsable du tissage ; le responsable peut-être l'enseignant ou l'élève ;
- sixième colonne intitulée « déterminé ou indéterminé » ; elle permet de qualifier par le terme déterminé ou indéterminé la catégorie d'articulation pour préciser s'il y a une indication explicite sur le lien que l'enseignant tisse entre un épisode et d'autres épisodes. Par exemple, si le discours de l'enseignant contient des termes comme « *on a vu dans l'activité X* », « *on a vu la semaine dernière* », « *nous allons tous refaire* », « *on va voir que* », « *vous nous rappelez* » alors nous considérons que l'articulation est explicite. Si l'enseignant évoque sans faire aucune référence un contenu qui a déjà été l'objectif d'enseignement de séances antérieures, nous considérons alors que la mise en relation entre les épisodes n'est pas déterminée.

Nous détaillons maintenant, la méthode à suivre pour déterminer les épisodes de correspondance et compléter la troisième colonne. Pour chercher les épisodes de correspondance, nous regardons d'abord le mot clé avec lequel l'épisode est codé :

- si l'épisode est codé avec un mot clé des catégories d'articulations permettant de tisser des liens vers le passé (appel, rappel, reprise), nous effectuons des retours en arrière pour rechercher l'épisode ou les épisodes auquel renvoie l'épisode codé ;
- si l'épisode est codé avec une des catégories d'articulations permettant de tisser des liens vers des séances à venir (annonce, remise), nous cherchons dans l'ordre chronologique les épisodes vers lesquels renvoient les épisodes codés ;
- si l'épisode est codé avec plusieurs mots clés dont certains permettent de tisser des liens vers le passé et d'autre mot clé vers des moments à venir, nous balayons nos vidéos dans les deux sens : vers le passé et vers le futur par rapport à l'épisode codé afin de trouver les épisodes de correspondances ;
- si l'épisode est codé avec le mot clé « avance » alors cet épisode n'a pas d'épisode de correspondance car ce qui est avancé, par définition, ne permet pas de faire un lien avec ce qui suit dans une séance de la séquence.

La recherche des épisodes de correspondance des épisodes codés avec un mot clé appartenant aux catégories d'articulations ne donne pas toujours un résultat. Il est possible de trouver un épisode codé par un mot clé de la catégorie d'articulation sans trouver effectivement un épisode de correspondance dans la séquence.

À partir du tableau de correspondance, il est possible de procéder par zoom out pour catégoriser les liens de cohérence entre les connaissances des différents épisodes aux échelles microscopique, mésoscopique ou macroscopique. La structure du tableau de correspondance est dans le tableau 7 ; les épisodes codés par le mot clé « constante de temps » et au moins un mot clé de la catégorie d'articulation sont présentés dans le tableau dans l'ordre chronologique.

Nom de l'épisode codé	Nom de la catégorie d'articulation	Nom de l'épisode de correspondance	Contenu commun	Responsable	In(déterminé)
-----------------------	------------------------------------	------------------------------------	----------------	-------------	---------------

Tableau 7 : Structure du tableau de correspondance.

2.4 Episode de référence et schéma pour étudier la cohérence

Dans cette partie, nous précisons d'abord la méthode à suivre pour trouver l'épisode central correspondant à un même contenu dans le tableau de correspondance (voir annexe 9). Ensuite, nous développons la technique pour créer des schémas à partir des épisodes dans le tableau pour un contenu donné afin d'étudier la cohérence.

2.4.1 Episode de référence

Au fur et à mesure que nous progressons dans le temps didactique c'est-à-dire plus nous avançons dans le tableau de correspondance, nous avons la possibilité de trouver des « appels » ou des « rappels » pour un même contenu scientifique. Dans ce cas, le dernier épisode codé par une catégorie d'articulation pour un même contenu donné est considéré comme l'épisode de référence. Nous exemplifions dans le tableau 8 ci-dessous par un petit extrait du tableau (voir annexe 9) l'épisode de référence pour un contenu scientifique précis :

Nom de l'épisode codé	Nom de la catégorie d'articulation	Nom de l'épisode (des épisodes) de correspondance	Contenu commun	Responsable	In(déterminé)
2011_01_14_36	Appel	2011_01_14_14	Effet de la variation des paramètres C et de R sur le temps de charge	Enseignant	I
2011_01_24_54	Appel	2011_01_14_36 2011_01_14_38 2011_01_14_56 2011_01_24_47 2011_01_24_48 2011_01_24_51	Influence des paramètres R et C sur tau dans le cas du dipôle RC ; Effet des paramètres R, L et U ₀ sur tau dans le cas du dipôle RL.	Enseignant	D (chapitre1)
2011_01_25_30	Appel	2011_01_24_54	Effet des variables R, C et U sur tau dans le cas du dipôle RC ; effet des paramètres R, L et U sur tau dans le cas du dipôle RL	Enseignant	D

Tableau 8 : Extrait du tableau de correspondance en annexe 9.

Dans ce tableau où nous présentons la dernière occurrence, l'« épisode de référence » est le dernier épisode codé par une catégorie d'articulation pour un même contenu donné, 2011_01_25_30 ; les épisodes codés par une catégorie d'articulation permettent d'assurer un lien vers un moment antérieur de la séquence.

Dans le cas d'épisodes codés par une catégorie d'articulation permettant d'assurer un lien entre un moment et un moment ultérieur dans la séquence (annonce, remise), l'épisode de référence est le premier épisode codé.

2.4.2 Schéma pour étudier la cohérence

Après avoir choisi la dernière apparition des épisodes en lien avec un contenu précis, nous effectuons une liste non seulement des connaissances mobilisées par épisode mais aussi les différents concepts relatifs au savoir (savoir, savoir-faire) pour chacun des épisodes. Ensuite, nous groupons dans un même schéma les connaissances mobilisées de tous les épisodes ayant un contenu commun.

Chaque épisode est présenté dans le schéma par une case qui porte un titre « numéro de la séance_année_mois_jour_numéro épisode ». Ce titre n'est autre que la dénomination de l'épisode sous Transana précédé par le numéro de la séance « Sx » ; S pour désigner séance et x pour désigner le numéro de la séance dans la séquence. Par exemple le titre « S3_2011_01_28_11 » signifie que c'est l'épisode numéro 11 de la troisième séance de la séquence qui a eu lieu le 28 janvier 2011.

Dans certains cas particuliers, plusieurs épisodes sont présentés dans le schéma par une même case car ils font partie de la même séance et appartiennent à un sous-thème identique. En effet, il est possible qu'un même contenu soit :

- discuté dans plusieurs épisodes successifs ;
- discuté dans plusieurs épisodes non successifs : cette non succession est due à des épisodes qui sont liés à la gestion de l'ordre ou à des épisodes où l'enseignant évoque des contenus différents.

Après la présentation dans un schéma des connaissances présentes dans le discours de la classe dans les épisodes ayant un même contenu, nous signalons la nature de la catégorie d'articulation par une case grisée. Cette case porte une flèche pour indiquer la nature du lien entre l'épisode de référence et les autres épisodes (lien vers le passé ou lien vers le futur). Nous signalons la nature de la cohérence entre les connaissances qui émergent dans le discours de la classe dans les épisodes dans des cases non-grisées.

Nous présentons dans ce qui suit un schéma de la méthodologie qui permet d'étudier la cohérence que nous avons décrite plus haut :

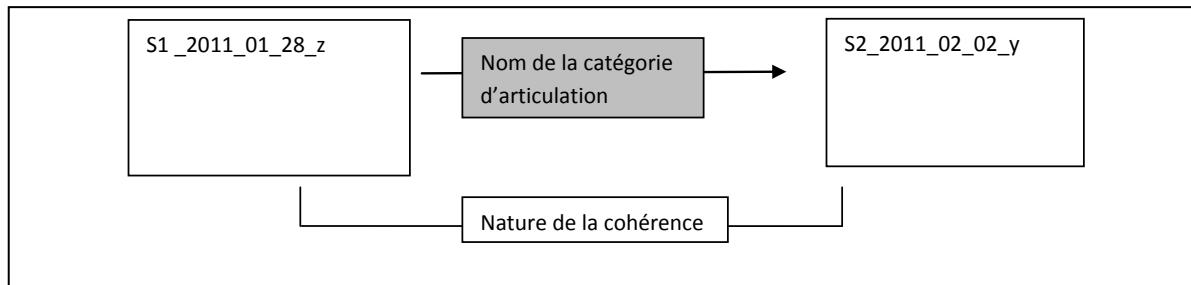


Figure 12 : Modèle du schéma permettant d'étudier la cohérence entre les connaissances d'un même contenu

Dans la figure 12, nous remarquons qu'il y a deux épisodes : l'épisode « z » de la première séance et l'épisode « y » de la deuxième séance (S1 _2011_01_28_z et S2_2011_02_02_y). L'épisode de la première séance a un seul épisode de correspondance.

La case qui porte le nom de la nature de la catégorie d'articulation porte une flèche. Etant donné que le sens de la flèche dépend de la nature de la catégorie d'articulation, nous pouvons déduire que la catégorie d'articulation permet d'assurer des liens avec des moments ultérieurs dans la séance ou la séquence : annonce ou remise.

La comparaison des connaissances entre l'épisode de référence « z » de la première séance et l'épisode « y » de la deuxième séance nous permet de qualifier la nature des liens entre les connaissances des différents épisodes et de préciser si le discours est cohérent ou pas.

3 Méthodologie d'analyse pour étudier les inscriptions

Dans cette partie, nous développons comme nous l'avons signalé dans le paragraphe (§ 1.4) la méthodologie d'analyse de nos vidéos pour étudier les inscriptions. Nous commençons d'abord par développer le choix de l'unité de découpage du discours ainsi que les critères pour effectuer ce découpage (§ 3.1), ensuite le codage des unités découpées, clips, par des mots clés (§ 3.2) puis l'étude des débriefings (§ 3.3) et en dernier lieu l'analyse par inscriptions de la phase didactique « débriefing » (§ 3.4).

3.1 Le tableau synoptique (synopsis)

Le tableau synoptique permet d'avoir une vue rapide et globale de ce qui s'est déroulé pendant la séance, à la fois sur le plan du contenu et sur le plan de l'organisation de la classe, des ressources utilisées (Tiberghien et al, 2007).

Les critères de découpage en synopsis sont les six dimensions pour construire le synopsis. Ils sont développés par Tiberghien et al (2007) :

- l'organisation de la classe dans le sens comment se déroule le travail ; le déroulement est-il en classe entière, en petits groupes, individuellement ;
- les sous-thèmes ;
- les ressources matérielles utilisées : livre, dispositif, etc ;
- la phase didactique : les phases didactiques sont reprises de travaux antérieurs de (Stigler et al, 1999 ; Fischer et al, 2005). Elles sont : introduction, développement du

- cours ou du modèle, contrôle oral de connaissances, réalisation de l'activité ou de l'exercice, correction de l'activité ou de l'exercice et la clôture ;
- l'action de l'enseignant et des élèves ;
 - la description du contenu.

Chaque dimension a un rythme spécifique (Sowayssi, 2005). Le découpage selon chaque dimension peut donner des durées différentes mais indépendantes.

3.2 Découpage du discours en synoptique

Une inscription peut s'étendre sur un ou plusieurs épisodes successifs. Par conséquent, nous ne pouvons pas étudier les inscriptions en nous servant uniquement des épisodes codés par le mot clé « constante de temps », car nous isolons parfois des épisodes qui ne sont pas successifs. Nous avons besoin d'une unité discursive plus grande que l'épisode comme le sous-thème ou le synopsis pour étudier les inscriptions.

Nous postulons que la phase didactique « correction », est très riche en catégorie d'articulation et qu'il y a plus de chance pour que les phénomènes de tissage se manifeste. Nous ajoutons même que la phase de corrections des activités expérimentales va être plus riche que la phase de corrections des activités non-expérimentales ou des exercices, car l'enseignant n'a pas le temps de vérifier si chaque binôme a réussi à faire tout ce qui est demandé dans l'activité. L'enseignant veut s'assurer que les élèves ont effectué les tâches prescrites dans les activités expérimentales, ont acquis d'une certaine façon les objectifs d'apprentissages et ont acquis les compétences nécessaires pour valider leurs épreuves expérimentales. Nous donnons à titre d'exemple quelques compétences : brancher le circuit, réaliser des acquisitions et des traitements qui doivent être effectuées avant l'activité de débriefing du TP. En général, les phases de correction des activités expérimentales viennent à la fin de la séance ou dans la séance de cours qui suit le TP. Si la phase de correction d'une activité expérimentale vient dans la séance de cours immédiatement après le TP, nous pouvons alors appeler cette phase de correction : *débriefing* (Khanfour Armalé, 2008). Durant le débriefing, « *l'enseignant reprend la responsabilité de la manipulation du savoir* », en passant en revue une activité expérimentale réalisée par les élèves dans une phase antérieure. La mise en relation de deux moments différents de la séquence d'enseignement doit respecter simultanément deux conditions : les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage dans l'activité doivent se retrouver dans le débriefing, de même que le contexte dans lequel l'activité a été conçue pour la mise en œuvre de ces connaissances (Khanfour Armalé, 2008).

Par conséquent, l'unité pour découper le discours de toute la séquence est la phase didactique qui reste un des critères du découpage en synopsis (§ 3.1). Nous segmentons le discours de l'enseignant quand il s'adresse à tous les élèves. Ce découpage lors de changement de la phase didactique génère des unités plus grandes que les épisodes. Pour éviter toute confusion, nous les appelons clips.

3.3 Codage des clips par des mots clés

Les mots clés choisis pour coder les clips sont les mots clés des phases didactiques : introduction, développement du cours ou du modèle, contrôle oral de connaissances, réalisation de l'activité ou de l'exercice, correction, clôture. Nous avons ajouté le mot clé « débriefing » quand il s'agit de la correction d'une activité expérimentale.

3.3.1 Création d'une collection « débriefing » dans Transana

Nous avons utilisé la fonction « rechercher » de Transana pour regrouper dans une même collection les clips qui sont codés par le mot clé la phase didactique « débriefing ». Ces clips sont les parties de vidéos sur lesquelles nous étudions les inscriptions.

3.3.2 Unité du découpage des clips de vidéo codés par le mot clé « débriefing »

Les inscriptions sont combinables (§ 1.4 du cadre théorique). Lors de la projection de l'écran de l'ordinateur, la présence de chaque objet inscrit au tableau par l'enseignant est justifiée par une raison didactique. Ainsi, une inscription est composée de plusieurs objets inscrits, ces objets inscrits visent des objectifs d'apprentissage. Nous pouvons regrouper les objets inscrits ayant un même but sous le nom « état d'inscription ».

Par conséquent, nous découpons les inscriptions suivant un découpage téléologique qui génère des états d'inscription ayant des buts différents.

Nous considérons qu'une inscription est terminée et qu'une deuxième inscription a commencé lors du changement de la projection de l'écran.

3.3.3 Limitation de l'étude des « débriefings » au tissage seulement

L'étude de la cohérence entre les épisodes codés par des catégories d'articulation dans les débriefings et les épisodes de correspondance est un travail complexe pour différentes raisons : raisons liées à l'enseignant, raisons liées aux élèves et raisons liées aux savoirs. Elles sont les suivantes :

- l'enseignant peut débriefer parfois plusieurs activités en même temps ;
- l'enseignant peut accomplir des parties de la fiche modèle lors du débriefing ;
- l'enseignant peut poser des questions supplémentaires aux activités débriefées ;
- les interactions entre l'enseignant et les élèves peuvent amener à un changement dans l'approche communicative adoptée par l'enseignant ;
- les concepts deviennent de plus en plus riches au fur et à mesure de l'avancement du temps didactique. Par conséquent, l'étude de la cohérence entre un débriefing situé au début de la séquence où le savoir à enseigner est constitué de notions élémentaires et où l'activité débriefée est différente est moins complexe que l'étude d'un débriefing situé au milieu ou à la fin de la séquence où les notions et les concepts deviennent de plus en plus complexes et articulés.

Pour ces raisons, nous n'étudions pas la cohérence entre les épisodes du débriefing uniquement et les épisodes correspondants. Nous nous intéressons au geste de tissage effectué par l'enseignant lors du débriefing ; pendant cette phase didactique, il y a une forte probabilité que l'enseignant tisse des liens au moment où il généralise les savoirs.

3.4 Grille d'analyse des inscriptions

L'analyse des inscriptions lors des débriefings se fait en se basant sur une grille (tableau 9) contenant trois rubriques :

- la modélisation : la place du discours dans le monde de modélisation (§ 1.1.2 du cadre théorique) ;
- les registres sémiotiques : la nature des registres sémiotiques (§ 1.2.1 du cadre théorique), le nombre des registres sémiotiques et les opérations sur ces derniers (§ 1.2.2 du cadre théorique) ;
- les gestes : un constituant essentiel du discours multimodal (§ 2.1 du cadre théorique).

La grille est la suivante :

Modélisation	Registres sémiotiques (RS)		Gestes
	Registres sémiotiques	Opérations sur les RS	
-Monde des théories et des modèles	-Langage naturel	-Traitement	
-Monde des objets et des évènements	-Registre symbolique -Symboles ; icônes	-Conversion	
-Mise en relation de deux mondes de modélisation	-Registre algébrique -Schéma -Tableau -Graphe		

Tableau 9 : Récapitulatif des catégories d'analyse des inscriptions

Pour la colonne intitulée modélisation : nous cochons la case monde des théories/modèles quand il s'agit des lois, des explications entre grandeurs physiques ou leur représentation symbolique. Les valeurs de mesures converties dans un autre système d'unités font partie de ce monde. Nous cochons le monde des objets et des évènements quand il s'agit de la mise en œuvre des grandeurs mesurées sur des appareils des mesures, des logiciels d'acquisition des données. Le critère du classement du discours dans ces mondes ou pour qualifier qu'il va dans le sens de la mise en relation de ces deux mondes est en lien avec les termes utilisés par l'enseignant (§ 1.1.2 du cadre théorique).

Pour la colonne intitulée registre sémiotique : l'analyse des registres sémiotiques est complémentaire à l'analyse des activités de modélisation. Elle permet d'étudier les signes (§ 4 du cadre théorique) employés pour mettre en jeu chaque niveau de la modélisation ainsi que le processus complet de modélisation.

Nous allons centrer également nos analyses sur les opérations effectuées sur les registres sémiotiques (§ 1.2.2 du cadre théorique) car la transformation dans un registre sémiotique ou entre le registre sémiotique amène très souvent à une meilleure compréhension (Duval, 1995).

Cette méthodologie nous permet d'étudier le tissage des liens entre les différents états d'inscription et les différentes inscriptions lors de la projection de l'écran de l'ordinateur de l'enseignant.

4 Conclusion

L'étude de la cohérence d'un concept s'inscrit dans la suite des travaux sur la gestion de la progression du savoir dans le temps, notamment les travaux sur la chronogenèse (Sensevy, 2001). En effet, en passant par l'étude des gestes du tissage, nous pouvons étudier la construction et la transformation que subit un concept au fil du temps, que ce soit au niveau microscopique, mésoscopique ou macroscopique, dans ses différents contextes d'émergence.

4.1 La première branche de la méthodologie d'analyse

Elle porte sur l'étude de la cohérence du concept, constante de temps, (première branche de la figure 9) consiste à :

- découper le discours de l'enseignant en unité microscopique, épisodes (Mortimer et al., 2007). Ce découpage (sur Transana) permet de localiser les épisodes où l'enseignant effectue des articulations entre des épisodes dans la séquence d'une part, et de visualiser le rôle des TICE sur ces articulations d'autre part ;
- indexer les épisodes avec deux catégories de mots clés : « catégorie d'articulation » et « constante de temps ». Ces épisodes codés permettent de retracer, au plan macroscopique de la séquence, le déroulement réel et l'avancement des savoirs en fonction du temps didactique ;
- à partir de la collection intitulée « constante de temps », créer un tableau permettant de préciser les épisodes codés avec des catégories d'articulations et les épisodes de correspondance que, cela se présente dans la séquence ou pas.

À partir du tableau créé, il est possible de :

- effectuer ce que Lemke (2001) appelle un zoom out à partir de la caractérisation des unités du niveau microscopique pour étudier la cohérence au niveau : microscopique, mésoscopique et macroscopique, entre les différents épisodes d'un même contenu ;

- catégoriser les différents moyens - dans la pratique enseignante - permettant d'assurer la cohérence entre différents moments de la séance et entre les séances avec ou sans utilisation de logiciels (logiciel d'acquisition et de traitement des données) ;
- qualifier la nature de la cohérence entre les connaissances présentent dans le discours de la classe dans des épisodes ayant un même contenu relié à la constante de temps.

4.2 La deuxième branche de la méthodologie d'analyse

Elle permet d'étudier des inscriptions pendant les débriefings (deuxième branche de la figure 9) :

- découper le discours public de l'enseignant en unité mésoscopique, le synopsis, en se servant du critère phase didactique (Tiberghien et al, 2007) ;
- indexer le synopsis avec les mots clés de la phase didactique ;
- sélectionner les clips qui correspondent à la phase didactique « débriefing » et créer une collection sur Transana ;
- découper chaque clip dans la collection intitulée « débriefing » selon les buts (découpage téléologique).

À partir de cette méthodologie, il nous semble qu'il est possible de :

- déterminer si la pratique de l'enseignant qui consiste à effectuer des inscriptions lors de la projection de l'écran du logiciel ou même des diaporamas influe sur la fréquence des catégories d'articulations ;
- étudier le rôle des inscriptions dans le tissage des liens entre des registres sémiotiques dans une même inscription et entre les inscriptions ;
- déterminer le rôle des inscriptions dans la mise en relation du monde des objets et des évènements et le monde des théories et des modèles.

Nous mettons en œuvre, dans les deux suivants chapitres, nos deux types de méthodologie d'analyse. Ces méthodologies qui sont réduites, dans notre thèse, à l'étude de la cohérence du concept « constante de temps » et à l'étude des inscriptions lors des débriefings, peuvent être utilisées pour d'autres concepts, d'autres phases didactiques. Elles peuvent être adaptées à d'autres questions de recherche, grâce à l'aspect élémentaire des unités d'analyse choisies (épisode et clip).

VI. Analyse : Etude de la cohérence

Dans ce chapitre, nous souhaitons étudier la cohérence entre plusieurs épisodes à l'échelle microscopique, mésoscopique et macroscopique de la séquence d'enseignement, sur un savoir à enseigner déterminé « la constante de temps ».

Nous avons structuré ce chapitre en deux parties :

- la première partie est une analyse quantitative des épisodes codés avec le mot clé « constante de temps » et les épisodes de correspondance présents dans le tableau de correspondance (voir annexe 9) ;
- la deuxième partie est une analyse qualitative qui porte sur le contenu des épisodes présents dans le tableau de correspondance.

Quand nous avons étudié les rapports entre les connaissances que l'enseignant a impliquées dans les épisodes codés par des catégories d'articulation et leurs épisodes de correspondances, nous avons remarqué que les rapports entre les connaissances peuvent-être regroupés en catégories. Nous allons préciser ces catégories de cohérence au fur et à mesure de ce chapitre.

1. Eléments quantitatifs

1.1 Interprétation du tableau de correspondance des épisodes codés avec le mot clé « constante de temps »

D'après le tableau regroupant les épisodes ayant pour mot clé « constante de temps » ainsi qu'au moins un mot clé de la catégorie d'articulation, et les épisodes de correspondance (voir annexe 9), nous remarquons que certains épisodes codés par des catégories d'articulation ont : (1) aucun épisode de correspondance ou (2) un seul épisode de correspondance (3) plusieurs épisodes de correspondance.

Les épisodes de correspondance se situent dans : (1) la séquence d'électricité renvoyant au groupe de TP filmée, (2) la séquence d'électricité renvoyant au groupe de TP non filmé, (3) hors de la séquence c'est-à-dire ne renvoient pas à la séquence d'électricité, par exemple les épisodes codés pointent vers la séquence de cinétique et/ou de radioactivité.

1.2 Répartition des catégories d'articulation dans le corpus délimité¹¹

Nous avons trouvé 73 épisodes où l'enseignant parle du concept « constante de temps ». Parmi ceux-ci, 36 épisodes ont été codés par des catégories d'articulation et 37 épisodes ne sont codés par aucun mot clé de la catégorie intitulée « catégorie d'articulation » (voir annexe 9). Ces chiffres soulignent l'articulation dans le discours de l'enseignant.

Les 36 épisodes codés sont codés avec 52 mots clés (figure 12). 71,2% des épisodes sont codés avec les mots clés « appel » et « rappel ». Ces résultats semblent indiquer que

¹¹ Le corpus délimité contient les épisodes codés avec le mot clé « constante de temps » ; ces épisodes sont décrits dans l'annexe 8.

l'enseignant utilise ce moyen pour assurer une articulation du discours de différents concepts entre leur passé et leur progression ; l'enseignant « appelle » les savoirs élémentaires au fur et à mesure de la progression du temps où les concepts deviennent de plus en plus complexes. Nous avons trouvé également dans ce tableau des liens avec des séances et des savoirs à venir plus tard dans la séquence : dans 15,4% l'enseignant « annonce » trois fois la venue d'un sujet et dans 2% il fait une « avance ». Nous avons trouvé 11,5% des épisodes codés avec le mot clé « reprise » où l'enseignant poursuit un contenu en cours de présentation.

Nous avons analysé les épisodes codés par des catégories d'articulation : « appel », « rappel », « annonce ». Nous n'avons pas analysé les « reprises » entre deux épisodes car il n'y a pas assez de temps écoulé pour comparer les connaissances entre les deux épisodes successifs portant sur le même contexte ; de même, nous ne pouvons pas analyser les épisodes codés avec le mot clé « avance ». Par définition, il y a une « avance » lorsque l'enseignant aborde immédiatement un contenu qu'il était prévu d'aborder ultérieurement (§ 3.1.2 du cadre théorique). Par conséquent, une avance n'a pas d'épisode de correspondance.

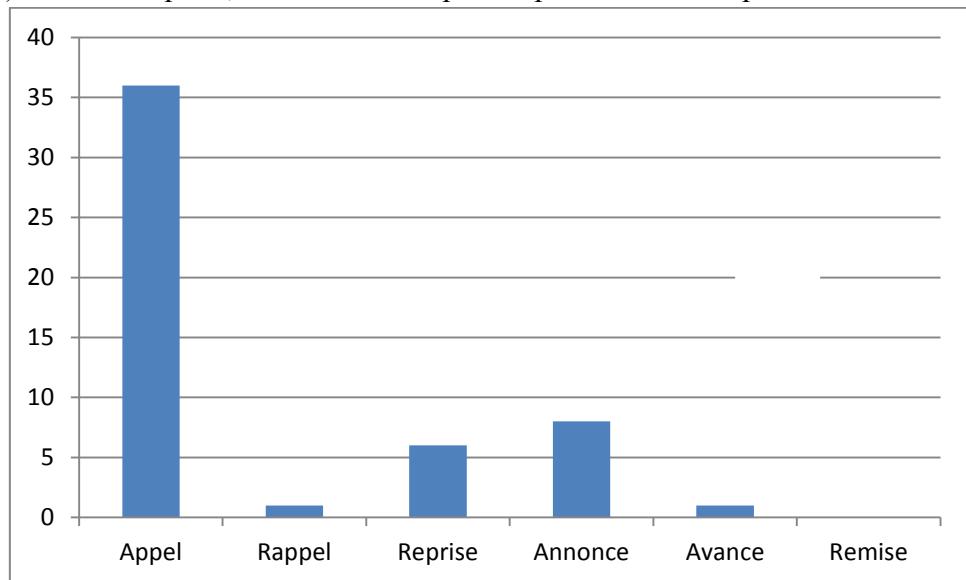


Figure 12 : Ce graphique représente la comparaison entre les effectifs des différentes catégories d'articulation dans l'ensemble des épisodes codés par tau.

1.3 Qui est à l'initiative des articulations ?

À plusieurs reprises, les élèves sont à l'initiative des articulations se produisent lors des interactions entre l'enseignant et les élèves. Certains épisodes sont codés par la catégorie d'articulation « appel » car les élèves posent une question à l'enseignant et pour y répondre l'enseignant fait appel à des moments passés¹². D'autres épisodes sont codés par des catégories d'articulation car l'enseignant « appelle » publiquement (devant toute la classe) à des questions précédemment posées par des élèves lors d'une discussion privée (quand l'enseignant circule entre les binômes en TP, quand l'enseignant se déplace dans la salle, etc.). Ces résultats montrent que les élèves contribuent à la dynamique du savoir enseigné et en particulier au tissage entre les différents éléments du savoir enseigné.

¹² Il y a une colonne dans le tableau de correspondance intitulée « responsable » qui permet de préciser si l'enseignant ou les élèves sont à l'initiative du tissage.

2 Eléments qualitatifs

Nous avons étudié les différents rapports entre les épisodes mis en correspondance. Nous avons distingué quatre catégories de cohérence : expansion, réduction, auto-reformulation et répétition.

Nous dirons qu'il y a « expansion » lorsque les connaissances dans l'épisode de correspondance sont plus étendues que l'épisode codé par une catégorie d'articulation.

Nous dirons qu'il y a « réduction » lorsque les connaissances dans l'épisode de correspondance sont plus réduites que l'épisode codé par une catégorie d'articulation.

Nous dirons qu'il y a « auto-reformulation » lorsque l'enseignant réélabore ses propres énoncés et les reformule.

Nous dirons qu'il y a « répétition » lorsque les connaissances dans les épisodes de correspondances sont répétées sur le même modèle syntaxique et lexical que dans l'épisode codé par une catégorie d'articulation.

Nous allons donner des exemples sur ces catégories de cohérence au fur et à mesure de ce chapitre.

2.1 Exemples de la catégorie de cohérence : Expansion

Nous allons présenter la catégorie de cohérence « expansion » par deux exemples.

2.1.1 Premier exemple de la catégorie de cohérence : Expansion

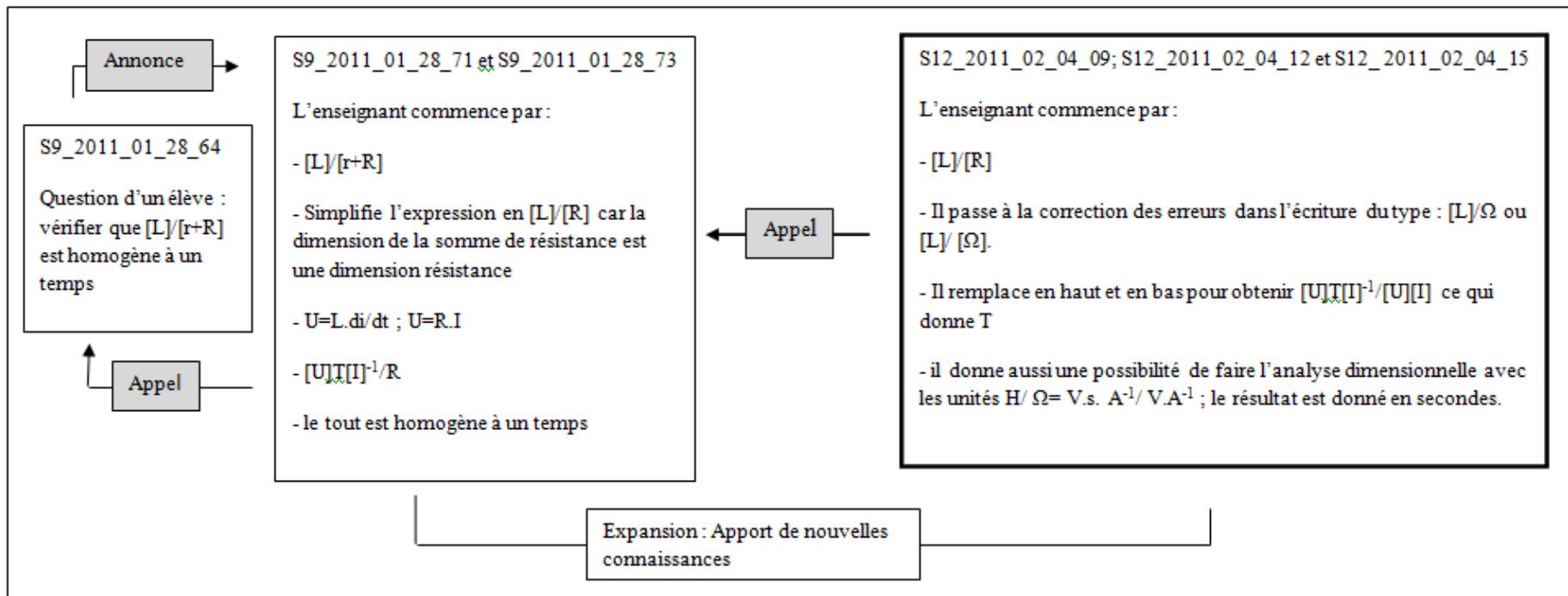


Schéma 1 : Ce schéma représente les connaissances dans les épisodes sur le contenu signalé au-dessus du tableau. Les cases grisées correspondent aux catégories d'articulation et les flèches au sens de l'articulation. Les cases blanches figurées entre les épisodes représentent la nature de la cohérence entre les connaissances des épisodes. La case qui a la bordure épaisse est l'épisode de référence.

Dans le schéma 1, nous avons illustré la catégorie de cohérence expansion sur les épisodes ayant un contenu commun : analyse dimensionnelle de tau dans le cas du dipôle RL ($\tau = L/\sum R$).

Analyse du schéma 1

Le schéma 1 contient six épisodes car le tableau de correspondance (annexe 9) montre six épisodes articulés ayant le même contenu commun.

La première fois où l'enseignant a travaillé sur l'analyse dimensionnelle de la constante de temps pour le dipôle RL se situe lors des épisodes 71 et 73 de la neuvième séance (S9_2011_01_28_71 et S9_2011_01_28_73)¹³, lors de la correction de l'activité 4. Dans l'épisode 71, l'enseignant fait appel à la question d'un élève posée dans la même séance (S9_2011_01_28_64) sur l'analyse dimensionnelle de L.

La deuxième fois où l'enseignant a travaillé sur l'analyse dimensionnelle de la constante de temps pour le dipôle RL, se trouve dans les trois épisodes de la douzième séance (S12_2011_02_04_09, S12_2011_02_04_12 et S12_2011_02_04_15)¹⁴, lors de la résolution d'un exercice. Dans le neuvième épisode de la douzième séance (S12_2011_02_04_09), l'enseignant fait un appel explicite et déterminé au travail déjà fait sur l'analyse dimensionnelle dans la neuvième séance.

Si nous comparons les connaissances entre les deux épisodes dans la neuvième séance et les trois épisodes de la douzième séance, nous constatons que l'enseignant a apporté de nouvelles connaissances dans les épisodes de la douzième séance (S12_2011_02_04_09, S12_2011_02_04_12, S12_2011_02_04_15). Ces nouvelles connaissances sont les erreurs à éviter lors du travail d'un exercice portant sur l'analyse dimensionnelle. Ces nouvelles connaissances sont plus détaillées, nous considérons qu'elles appartiennent à la catégorie expansion.

Nous pouvons donner deux raisons à l'apport de nouvelles connaissances traduit lors de la résolution des exercices par :

- l'enseignant a pu se permettre de rajouter des nouvelles connaissances, car il a déjà travaillé en partie sur l'analyse dimensionnelle une première fois dans la neuvième séance. Il a déjà montré que $[L]/[R]$ est un temps et l'enseignant peut considérer que les élèves l'ont acquis ;
- l'enseignant a la possibilité, lors de la correction d'un exercice, de mentionner les erreurs classiques que les élèves commettent en analyse dimensionnelle.

Étant donné que les nouvelles connaissances apportées dans la douzième séance ne se contredisent pas avec les connaissances de la neuvième séance, nous pouvons ainsi déduire qu'il y a une cohérence entre les épisodes articulés dans cette situation.

¹³ Les épisodes ne sont pas successifs car l'enseignant a évoqué que la longueur est exprimée également avec le symbole « L » comme l'inductance d'une bobine.

¹⁴ Les épisodes ne sont pas successifs car l'enseignant a travaillé sur la dimension pression entre ces épisodes pour expliquer que la dimension pression [P] peut s'exprimer avec plusieurs unités.

Dans ce schéma, nous avons la catégorie de cohérence expansion où il y a eu un apport de nouvelles connaissances. Les épisodes articulés sont cohérents.

2.1.2 Deuxième exemple de la catégorie de cohérence : Expansion

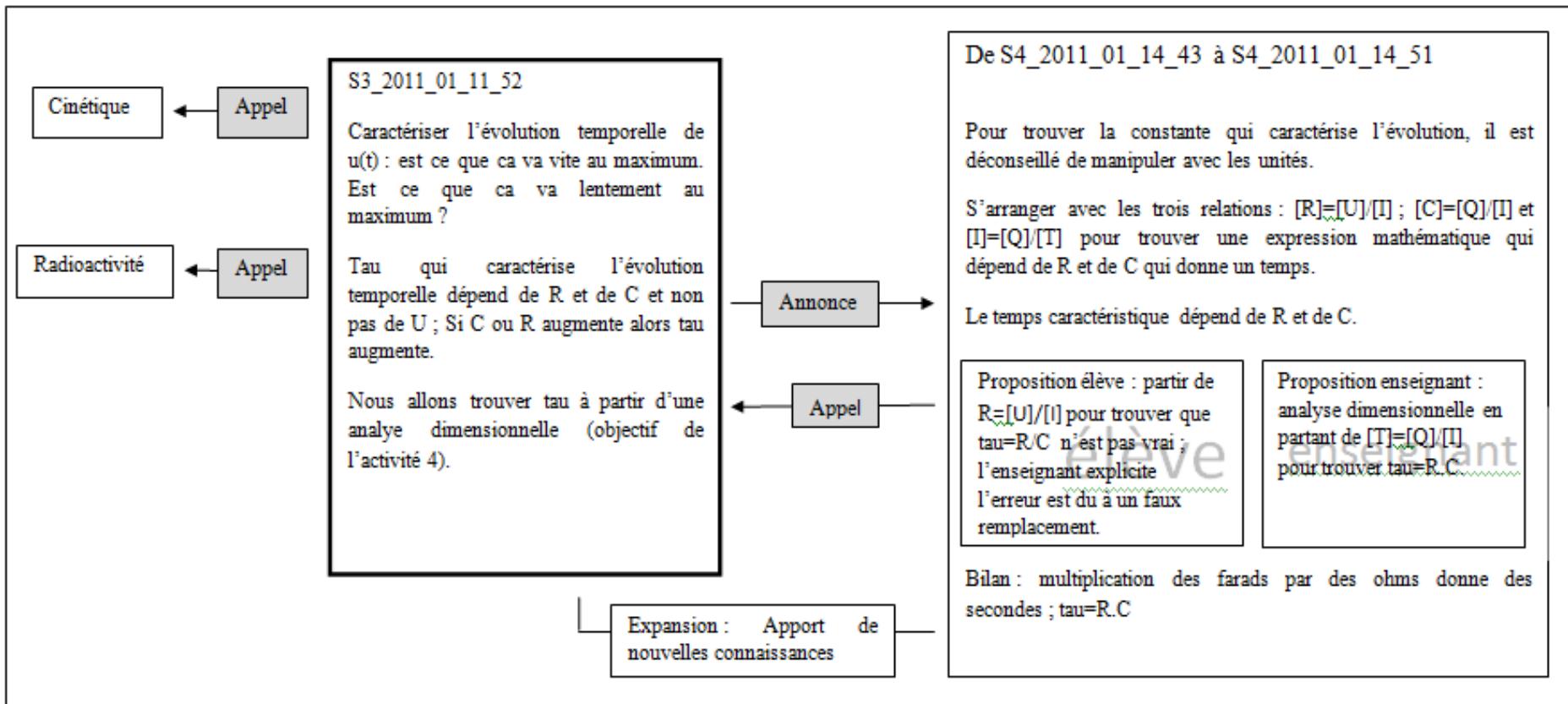


Schéma 2 : Ce schéma représente les connaissances dans les épisodes sur le contenu signalé au-dessus du tableau. Les cases grisées correspondent aux catégories d'articulation et les flèches au sens de l'articulation. Les cases blanches figurées entre les épisodes représentent la nature de la cohérence entre les connaissances qui émergent dans le discours de la classe dans des épisodes. La case qui a la bordure épaisse est l'épisode de référence. Les trames « enseignant » et « élèves » servent pour distinguer la proposition de l'élève de la proposition de l'enseignant.

Dans le schéma 2, nous avons illustré la catégorie de cohérence expansion sur les épisodes ayant un contenu commun : analyse dimensionnelle de tau dans le cas du dipôle RC ($\tau=R.C$).

Analyse du schéma 2

Dans cette partie, nous analysons d'abord les articulations entre les épisodes pour passer ensuite à l'étude de la cohérence entre les épisodes de ce schéma.

L'enseignant a annoncé dans l'épisode 52 de la troisième séance (S3_2011_01_11_52) que les élèves et lui-même vont trouver l'expression de tau à partir d'une analyse dimensionnelle demandée dans l'activité 4 du dipôle RC. Dans cet épisode, l'enseignant fait deux « appels » pointant hors de la séquence d'électricité : la séquence de cinétique et de radioactivité.

Cette « annonce » a huit épisodes de correspondance qui sont successifs dans la quatrième séance (de l'épisode S4_2011_01_14_43 à l'épisode S4_2011_01_14_51). Dans le schéma 3 et dans la case où nous avons présenté les huit épisodes, nous avons inséré deux petites cases pour distinguer l'analyse dimensionnelle effectuée par l'enseignant en prenant en compte l'expression de tau proposée par un élève, de l'analyse dimensionnelle effectuée par l'enseignant lui-même. En effet, dans un des épisodes, l'enseignant est interactif/dialogique. Il a écrit au tableau la proposition de la relation mathématique proposée par un élève : commencer par $[R]=[U]/[I]$ pour trouver que $\tau=R/C$. Après cette étape, l'enseignant signale à l'élève que l'erreur ne vient pas du principe qui consiste à partir de $[R]=[U]/[I]$ mais d'un problème de remplacement. L'enseignant propose de partir de l'expression de $[T]=[Q]/[I]$ pour trouver l'expression de tau qui vaut $R.C$. Ce discours dialogique permet d'offrir aux élèves une opportunité d'apprentissage qui consiste à remarquer qu'il y a deux façons possibles pour trouver l'expression mathématique de tau pour un dipôle RC. Nous signalons que nous ne codons pas les épisodes de correspondances avec le mot clé « appel » à chaque fois qu'un épisode est codé « annonce ». À l'épisode 46, l'enseignant a fait un appel déterminé des variables influençant tau ; cet appel renvoyait à l'épisode 52 de la troisième séance codé annonce.

Les connaissances dans les épisodes de la quatrième séance sont plus développées que dans l'épisode de la huitième séance. Il y a un apport de nouvelles connaissances en ce qui concerne les variables R et C. Cela rentre dans la catégorie expansion. Nous pouvons remarquer que les connaissances entre ces deux épisodes ne se contredisent pas et nous pouvons ainsi qualifier les épisodes de cohérents.

Nous constatons qu'il y a une information qui a été signalée dans l'épisode 52 (S3_2011_01_11_52) et n'a été reprise explicitement ou rediscutée dans aucun des épisodes de la 4^{ème} séance. L'information consiste à préciser que tau ne dépend pas de la tension aux bornes du générateur, U. Le fait que les élèves regardent l'expression mathématique de tau n'est pas suffisante pour que tous comprennent que tau ne dépend pas de U, elle ne dépend que de la valeur de la résistance et de la valeur de la capacité du condensateur. Effectivement,

le passage sous silence de l'absence d'effet de la tension sur tau a causé un problème chez un élève plus tard dans la séquence. Dans la quatrième séance et dans l'épisode 58 (2011_01_14_58), un élève pose une question sur l'effet de U sur le temps de la charge de C. Nous reviendrons plus loin à l'analyse de cet épisode dans le schéma 6.

Nous pouvons considérer que, dans ce cas, il y a eu un apport de nouvelles connaissances sur l'analyse dimensionnelle même si l'enseignant n'a pas reparlé de U. Cela nous semble normal car l'enseignant travaille l'analyse dimensionnelle de la constante de temps et U est une variable qui n'a pas d'influence sur tau.

Quant à la qualification de la nature de cohérence entre les connaissances de deux appels effectués dans l'épisode 52 de la troisième séance (S3_2011_01_11_52) vers l'épisode de cinétique et de radioactivité, nous ne pouvons pas qualifier les relations entre les connaissances car nous n'avons pas accès aux connaissances présentées dans le discours de la classe dans les épisodes appelés en cinétique et en radioactivité.

Dans ce schéma, nous avons présenté un deuxième exemple de la catégorie de cohérence « expansion » où l'enseignant a développé des connaissances. Cette catégorie a été repérée lors de l'analyse dimensionnelle de la constante de temps que ce soit pour le dipôle RC ou le dipôle RL. Nous n'avons pas pu qualifier la nature de la cohérence entre l'épisode 52 et les épisodes qui se situent hors de la séquence d'électricité.

2.2 Exemple de la catégorie de cohérence : Réduction

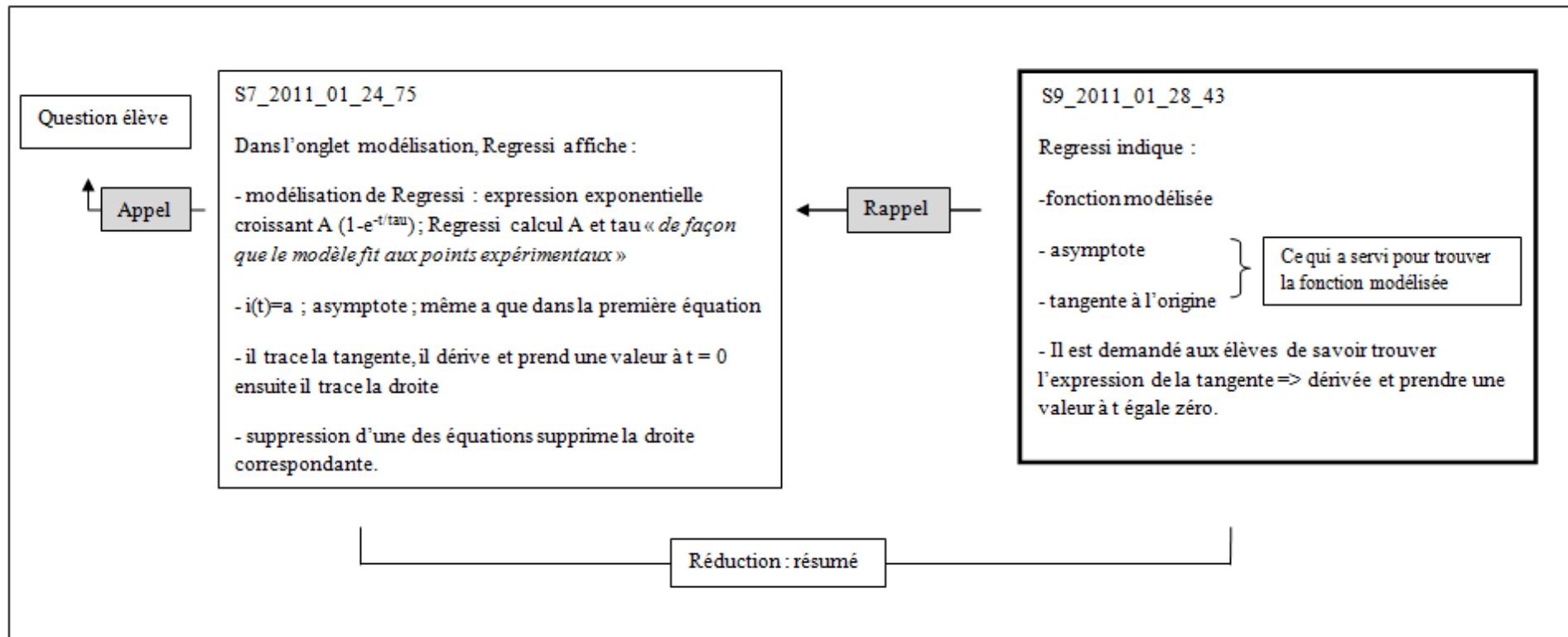


Schéma 3 : Ce schéma représente les connaissances dans les épisodes sur le contenu signalé au-dessus du tableau. Les cases grisées correspondent aux catégories d'articulation et les flèches au sens de l'articulation. Les cases blanches figurées entre les épisodes représentent la nature de la cohérence entre les connaissances des épisodes. La case qui a la bordure épaisse est l'épisode de référence.

Par le schéma 3, nous allons illustrer un autre rapport de cohérence que celui présenté dans le schéma 1 et le schéma 2 : c'est celui de « la réduction ». Nous présentons cette catégorie sur les épisodes ayant un contenu commun : l'explication de l'enseignant sur le mode de fonctionnement de Rgregssi pour calculer tau dans le cas du dipôle RL.

Nous allons tout d'abord présenter la transcription partielle des deux épisodes du schéma 2. La transcription permet d'une part de montrer la catégorie « rappel », et d'autre part d'éclaircir la discussion du schéma 3 liée à ces épisodes. Ensuite, nous analysons le schéma qui contient ces deux épisodes du point de vue de la cohérence.

La transcription du codage de l'épisode 43 de la neuvième séance (S9_2011_01_28_43) est la suivante (tableau 10) :

Enseignant	Donc, je vous rappelle que Rgregssi indique la fonction modélisée /il pointe son doigt sur la première fonction ayant pour titre : expression du modèle/ puis ensuite ce qui a servi à trouver cette fonction : l'asymptote et la tangente à l'origine /il pointe son doigt sur la deuxième et troisième fonction ayant pour titre : expression du modèle/. /Il montre la troisième fonction/ ça c'est l'équation de la tangente à l'origine. Vous devez être tous capables de la déterminer. Déjà, c'est la dérivée et on prend t=0.
------------	---

Tableau 10 : Transcription de l'épisode 43 de la neuvième séance. Les gestes de l'enseignant sont décrits en italiques.

Nous avons codé cet épisode par la catégorie d'articulation « rappel » car l'enseignant fait la synthèse de ce qu'il a expliqué et présenté dans une séance antérieure et non pas à cause de l'utilisation du verbe rappelée au début de l'épisode. Le « rappel » est fait par l'enseignant lui-même et non pas par un élève comme dans la majorité des cas de rappel (§ 3.1.2 du cadre théorique). L'enseignant n'a ni précisé la date de la séance ni le numéro de l'activité où les élèves ont vu ces éléments de savoir comme il le fait en général. Nous avons regardé nos vidéos par ordre chronologique et nous avons trouvé que ce rappel est en lien avec l'épisode 75 de la septième séance (S7_2011_01_24_75). La transcription de cet épisode de TP est dans le tableau

11 :

Enseignant	<p>Quand vous faites la modélisation, Regressi vous affiche trois équations : la première c'est la modélisation de $i(t)$. <i>Regardez ici, j'ai une question intéressante : « Pourquoi il y a trois trucs ici ? » /L'enseignant pointe son doigt sur les équations ayant pour titre : expression du modèle/</i> Le $i(t)$ modélisé c'est la première expression, il sait Regressi que l'exponentiel croissante est du type A ($1-e^{-t/\tau}$) ; Regressi calcule « A » et tau pour que le modèle fit aux points expérimentaux. Et après, il y a deux équations : $i(t)=a$ ce n'est pas dur, c'est l'asymptote <i>/il montre l'asymptote et fait le geste d'une ligne droite/</i>. En fait, il donne l'équation de tout ce qu'il trace. Il a tracé l'asymptote $i(t)=a$; même a que dans la première équation évidemment. C'est comme ça qu'il calcule a ; il regarde à combien ça finit et il dit voilà ça c'est « a ». Et après, il trace la tangente. Il fait la même méthode que vous avec la tangente. Il trace $a.t + \tau$, ça il sait, il dérive il prend une valeur à $t=0$ et trace la droite de pente a/τ. Donc, il a tracé la tangente, il a tracé l'asymptote, c'est pour cela qu'il y a ces deux équations. Si vous enlevez une des équations, normalement vous pouvez essayer, il enlève la courbe correspondante.</p>
------------	---

Tableau 11 : Transcription de l'épisode 75 de la 7^{ème} séance. Les gestes de l'enseignant sont décrits en italiques.

Analyse du schéma 3

Le schéma 3 contient deux épisodes car le tableau de correspondance montre que ces deux épisodes sont articulés (voir annexe 9). Cette articulation est indéterminée.

Dans l'épisode 75 de la septième séance (S7_2011_01_24_75), l'enseignant tisse par le langage naturel et par des gestes, des liens entre les deux fenêtres de Regressi. Par le pointage du doigt, par des gestes de la main, l'enseignant a effectué des conversions entre :

- l'expression mathématique de l'asymptote $i(t)=a$ et la droite graphique figurant dans les deux fenêtres différentes de Regressi ;
- l'équation de la tangente à l'origine ($a.t + \tau$) et la droite figurant dans les deux fenêtres différentes de Regressi.

Dans cet épisode très riche en gestuelle, l'enseignant explique que Regressi calcule « A » et tau « *de façon que le modèle fit aux points expérimentaux* ». Ce terme « fit » utilisé en anglais signifie « correspondre » en français ; il est en lien avec « la vraie » technique de Regressi pour calculer tau. Du point de vue du fonctionnement de Regressi, ce logiciel procède par la méthode de régression pour trouver la valeur de tau en se servant des points expérimentaux (voir annexe 2).

Regressi affiche : (1) des expressions sous le titre « expression du modèle » et (2) des représentations graphiques comme l'asymptote et la tangente qui correspondent aux expressions algébriques. Cela n'a aucune influence pour déterminer des valeurs de tau. Nous pouvons dire que ces représentations ont des finalités didactiques.

Dans l'épisode 43 de la neuvième séance (S9_2011_01_28_43) codé « rappel », l'enseignant explique que Regressi se sert de la tangente et de l'asymptote pour trouver la valeur de tau. Les connaissances dans l'épisode 43 sont réduites par rapport aux connaissances dans l'épisode 75. Cela rentre dans la catégorie que nous appelons réduction.

Nous pouvons dire que l'enseignant présente dans l'épisode 43 de la neuvième séance (S9_2011_01_28_43) un mode de fonctionnement de Regressi qui est différent de ce qu'il a dit dans l'épisode 75 de la septième séance (S7_2011_01_24_75). Il nous semble que même si les élèves ne veulent pas chercher dans ces épisodes et s'ils n'ont pas compris le terme « fit » (terme considéré bizarre de la part des élèves dont l'un a répété ce terme), l'enseignant a présenté deux modes différents de fonctionnement de Regressi ; les connaissances de ces deux épisodes se contredisent. Par conséquent, dans ce cas, les connaissances des deux épisodes codés par une catégorie d'articulation sont partiellement incohérentes.

Pour conclure, dans le schéma 3, nous avons montré la catégorie de cohérence « réduction ». Dans ces épisodes, les connaissances de deux épisodes articulés ne sont pas cohérentes, elles sont partiellement incohérentes. Dans ces deux épisodes, les gestes ont facilité l'opération de conversion sur un registre sémiotique. L'enseignant a fait à la main, en même temps qu'il verbalise avec le registre du langage naturel, les allures de l'asymptote et de la tangente.

2.3 Exemples de deux catégories de cohérence : Expansion et réduction

Nous allons donner deux exemples ; chacun contient deux catégories de cohérence : la catégorie expansion et la catégorie réduction.

2.3.1 Premier exemple de deux catégories de cohérence : Expansion et réduction

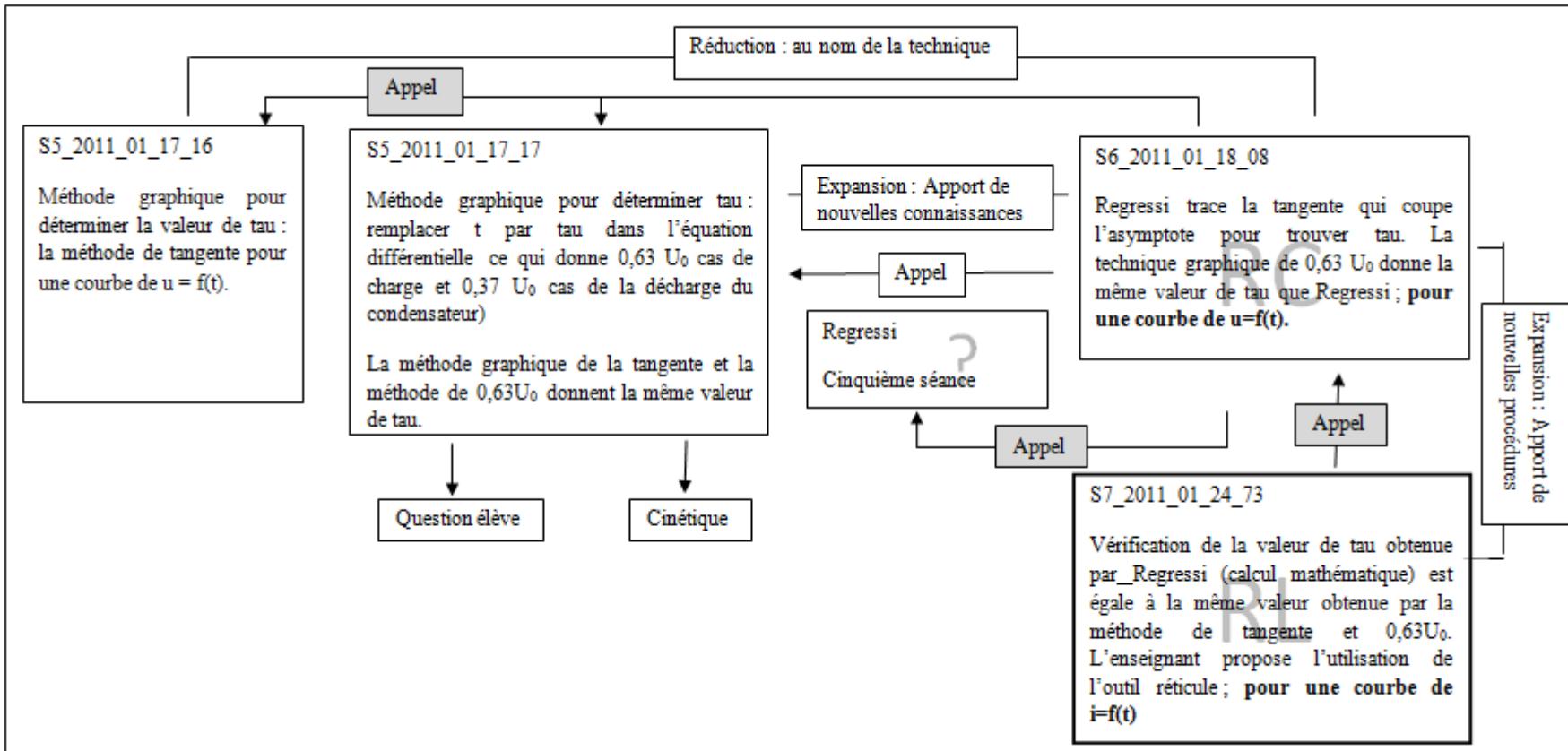


Schéma 4 : Ce schéma représente les connaissances dans les épisodes sur le contenu signalé au-dessus du tableau. Les cases grisées correspondent aux catégories d'articulation et les flèches au sens de l'articulation. Les cases blanches figurées entre les épisodes représentent la nature de la cohérence entre les connaissances des épisodes. La case en bordure grasse est l'épisode de référence. Les trames « RC » et « RL » indiquent la partie à laquelle nous faisons référence.

Nous avons présenté dans le schéma 4 ci-dessus un exemple contenant deux types de la catégorie de cohérence : expansion et réduction. Ce schéma rassemble les épisodes qui ont comme contenu : les techniques graphiques pour déterminer la valeur de tau, soit pour le dipôle RC soit pour le dipôle RL.

Analyse du schéma 4

Le tableau de correspondance (voir annexe 9) montre qu'il y a du tissage entre quatre épisodes définis et des épisodes non définis. C'est pour cela que le schéma contient quatre épisodes avec des noms et des épisodes non identifiés.

Dans le schéma 5, nous avons mis en italique des détails qui font partie de l'épisode sans que l'enseignant attire l'attention des élèves sur eux. L'enseignant n'a, à aucun moment de la première à la septième séance, abordé le fait que les techniques graphiques utilisées pour déterminer la valeur de tau sont applicables pour des courbes $u(t)$ pour le dipôle RC, sont aussi applicables pour des courbes de $i(t)$ pour le dipôle RL.

L'épisode 8 de la sixième séance (S6_2011_01_18_08) fait appel à trois épisodes : un appel à un épisode indéterminé où l'enseignant parle du logiciel de modélisation des données, Regressi, et deux appels à la cinquième séance portant sur les méthodes graphiques pour déterminer la valeur de tau.

Nous supposons que l'appel à Regressi effectué dans la cinquième séance a eu lieu dans la cinquième séance en TP, en se basant sur le discours de l'enseignant dans l'épisode 8 : « [...] vous avez tous remarqué hier quand vous avez modélisé avec Regressi que Regressi trace cette tangente dès qu'il calcule le modèle. Pourquoi ? Car pour lui c'est très important, c'est une façon de trouver l'expression de l'exponentielle. En particulier, il trace cette tangente parce que ça lui donne tau. Ici vous avez vraiment la valeur de tau affichée dans le modèle. Voilà ça c'est tau. D'accord ? Il y a cette méthode-là, sinon il y a la méthode de 0,63U0 ». Même si l'enseignant suppose que tous les élèves des deux groupes de TP ont remarqué que Regressi trace la tangente, nous n'avons pas réussi à trouver l'épisode correspondant dans nos données. Deux explications sont possibles : (1) soit l'enseignant n'a pas parlé de la méthode de fonctionnement de Regressi pour le moment dans les séances antérieures à la séquence, (2) soit l'enseignant l'a déjà évoquée mais avec le deuxième groupe de TP non filmé. En effet, nous avons des épisodes où l'enseignant fait appel à des connaissances qu'il considère comme ayant déjà été vues par les élèves alors qu'un seul groupe les a observées ; on peut citer comme exemple l'épisode 51 de la troisième séance (S3_2011_01_11_51 ; schéma 2) portant sur l'effet de la variation de la capacité du condensateur et de la résistance sur la valeur de la constante de temps.

Un des deux appels de l'épisode 8 de la sixième séance (S6_2011_01_18_08) renvoie à l'épisode 17 de la cinquième séance (S5_2011_01_17_17). Si nous comparons les connaissances entre ces deux épisodes, nous remarquons que dans l'épisode 8, l'enseignant a développé des connaissances ; il a expliqué la méthode de fonctionnement de Regressi et le lien étroit avec la méthode des tangentes. Or, les connaissances ajoutées ne sont pas cohérentes ni avec la méthode de fonctionnement de Regressi (voir annexe 3) ni avec des explications données précédemment (schéma 3).

Le deuxième appel de l'épisode 8 renvoie à l'épisode 16 ; les connaissances de l'épisode 16 et 8 sont réduites aux connaissances de l'épisode 16. Cela rentre dans la catégorie « réduction ». Cette réduction est différente de celle présentée dans le schéma 3 où l'enseignant a énuméré les étapes à suivre pour réaliser une tâche ; c'est une réduction au nom de la technique. Les connaissances entre ces deux épisodes articulés sont cohérentes.

Nous allons parler maintenant de l'épisode 73 de la septième séance (S7_2011_01_24_73) où nous avons considéré qu'il y a un appel entre cet épisode et l'épisode (S6_2011_01_18_08) car il s'agit de ce qui est en lien avec les TICE.

Dans l'épisode 73, l'enseignant a apporté de nouvelles procédures pour trouver la valeur de la tangente ; l'outil réticule dans le logiciel de traitement des données. Il nous semble normal que l'enseignant ait parlé de réticule en TP (S7_2011_01_24_73) et non pas avant la septième séance d'une part car les élèves avaient en main les outils dont l'enseignant était en train de parler, et d'autre part car il a travaillé à plusieurs reprises les méthodes classiques.

L'enseignant a essayé de tisser des liens entre les techniques graphiques classiques pour trouver tau et les techniques TICE (valeur affichée par Rgressi et outil réticule) ; c'est un lien entre les activités non-TICE mises en jeu dans les évaluations écrites et les activités TICE. Or, ce qu'il manquait, c'était d'expliquer qu'il est possible d'utiliser les mêmes règles classiques pour déterminer la valeur de tau sur des courbes de $u(t)$ pour un dipôle RC et sur les courbes de $i(t)$ pour un dipôle RL. Ce tissage a eu lieu dans une séance ultérieure mais non pas au moment du TP. Il nous semble qu'étant donné que la septième séance est une séance de TP, l'enseignant est obligé de travailler des activités en TP et d'aborder le dipôle RL, avant même de conclure son cours sur le dipôle RC. L'enseignant suppose que les similitudes des expressions mathématiques des exponentielles, dans le cas du dipôle RC et dans le cas du dipôle RL d'une part, et la similitude des allures des courbes d'autre part, permet de faire comprendre aux élèves la possibilité de passer de la tension en intensité et du dipôle RC au dipôle RL. Nous tenons à préciser qu'à un moment donné, plus tôt dans la séquence, l'enseignant a fait un lien entre le modèle exponentiel, l'allure de la courbe et la séquence de radioactivité (quatrième séance, épisode : 2011_01_14_55). De nombreuses similitudes peuvent être relevées dans le registre graphique. Ajoutons à cela que, lors de l'entretien avec le sosie, l'enseignant a parlé de la similitude des courbes qui évoluent en forme exponentielle du dipôle RC et du dipôle RL. L'enseignant a précisé au sosie, lors de l'explication de l'ordre de présentation des connaissances des activités du dipôle RL, qu'il faut « *préciser que l'allure de la courbe pour le dipôle RL est comme le dipôle RC : une évolution exponentielle avec un régime permanent et un régime transitoire [...] ils peuvent appliquer là aussi les techniques graphiques pour trouver tau* ».

Pour conclure, nous avons trouvé dans cet exemple deux catégories de cohérence : expansion et réduction. L'expansion et la réduction sont différentes de celles présentées dans les schémas antérieurs de ce chapitre. Nous pouvons ainsi dire que l'expansion peut être une expansion avec apport de connaissances ou une expansion avec apport de nouvelles techniques /procédures. De même, la catégorie réduction contient deux sous-catégories : une réduction où l'enseignant résume des connaissances qui sont vues précédemment et une réduction au nom de la technique. Dans cet exemple, les épisodes articulés sont cohérents.

2.3.2 Deuxième exemple de deux catégories de cohérence : Expansion et réduction

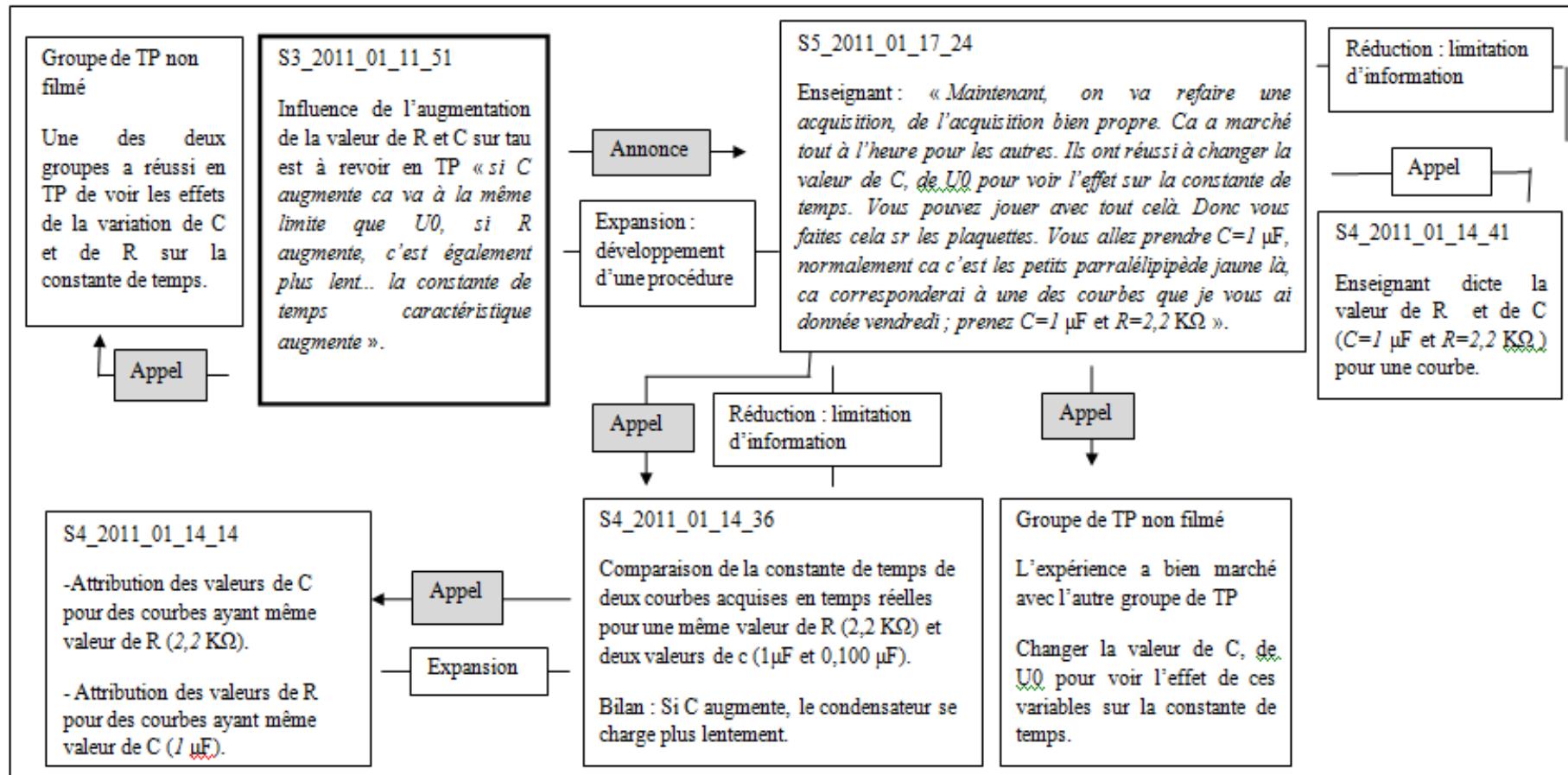


Schéma 5 : Ce schéma représente les connaissances dans les épisodes sur le contenu signalé au-dessus du tableau. Les cases grisées correspondent aux catégories d'articulation et les flèches au sens de l'articulation. Les cases blanches figurées entre les épisodes représentent la nature de la cohérence entre les connaissances des épisodes. La case en bordure grasse est l'épisode de référence.

Dans le schéma 5, il y a plusieurs épisodes articulés ayant un contenu commun : effet des variations de C et R sur tau (voir annexe 9). Par conséquent, nous avons plusieurs types de catégories de cohérence.

Analyse du schéma 5

Puisque nous avons plusieurs catégories de cohérence dans le schéma 5, nous sommes amenés à analyser alors les connaissances entre les épisodes par partie :

Dans la première partie, nous allons parler de deux épisodes : l'épisode 51 de la troisième séance (S3_2011_01_11_51) qui constitue l'épisode de référence de ce schéma et l'épisode 24 de la cinquième séance (S5_2011_01_17_24). Le contenu de l'épisode 51 de la troisième séance annoncé est bien prévu dans la progression de l'enseignant. Effectivement, des tâches amenant au même contenu ont été demandées aux élèves durant le TP dans la cinquième séance. L'enseignant n'a pas parlé de l'effet des trois variables C, R et U0 sur la constante de temps dans l'épisode 24 de la cinquième séance (S5_2011_01_17_24) ; il a parlé de deux variables de C et de U0 (transcription dans le schéma). Même si dans cet épisode l'enseignant n'a pas parlé de l'effet de la variation de R, le discours privé de l'enseignant avec les différents binômes contient des consignes pour changer la valeur de R afin de visualiser l'effet de R sur l'allure de la courbe $u(t)$ et sur la constante de temps. Les transcriptions suivantes illustrent notre propos : l'enseignant « *alors, je vais vous donner un deuxième condensateur et une deuxième résistance pour regarder les effets du condensateur et de la résistance* » et l'enseignant : « *c'est magnifique comme courbe, il vous manque quoi ?* » Un élève : « *on a vu la variation de R, il nous manque un condensateur pour voir l'effet de C* ». Par conséquent, nous considérons que toutes les connaissances évoquées dans l'épisode 51 de la troisième séance sont développées sous forme de procédure pour faire la manipulation dans l'épisode 24 de la cinquième séance. La tâche effective des élèves dans la cinquième séance de TP constitue un apport d'une procédure pour visualiser l'effet des variations de C et de R sur les allures des courbes obtenues sur l'écran de Regressi ; cela rentre dans la catégorie expansion. Regressi a servi pour valider et observer ce que l'enseignant a inscrit au tableau lors du débriefing de l'activité 3 (copie d'écran de l'épisode 2011_01_11_51) ; il a inscrit sur les mêmes axes l'allure en trait continu et en trait discontinu de $u(t)$ en changeant la valeur de C. Les épisodes articulés sont cohérents.

Dans cette deuxième partie, nous allons parler des connaissances de l'épisode 24 de la cinquième séance (S5_2011_01_17_24) et des épisodes de la quatrième séance.

Dans l'épisode 14 de la quatrième séance (S4_2011_01_14_14), l'enseignant a distribué un document contenant trois figures. Les trois figures sont des courbes de la tension en fonction du temps pour un dipôle RC (voir annexe 2). L'enseignant demande aux élèves d'attribuer des valeurs de C pour les courbes quand la valeur de R est constante d'une part, et d'attribuer les valeurs de R quand la valeur de C est constante, d'autre part.

Dans l'épisode 36 de la même séance (S4_2011_01_14_36) l'enseignant projette le résultat d'une acquisition réalisée en temps réel (épisode 2011_01_14_35) pour deux courbes de $u(t)$ en prenant la valeur 2,2 K Ω pour la résistance et deux valeurs pour la capacité du

condensateur : $1\mu\text{F}$ et $0,100 \mu\text{F}$. Ces valeurs correspondent aux deux courbes du document que l'enseignant a distribué plus tôt dans la séance. Nous pouvons dire qu'il y a une expansion car dans l'épisode 14, l'enseignant demande aux élèves d'attribuer les valeurs à des courbes prêtes alors que dans l'épisode 36, l'enseignant explique la logique pour attribuer les valeurs de C.

L'appel déterminé de l'épisode 36 vers l'épisode 14 est limité à l'allure de la courbe de $u(t)$ pour $R = 2,2 \text{ K}\Omega$ et $C = 1\mu\text{F}$; l'appel est limité au registre graphique d'une seule courbe sans rien appeler sur l'effet de C et de R sur tau. Voici un extrait de la transcription: « *ça correspondrait à une des courbes que je vous ai donnée vendredi* ». À priori et en toute logique, l'allure de la courbe appelée devrait être identique à l'allure de la courbe à obtenir par les élèves après une acquisition des données avec ME et modélisation par Regressi. Par conséquent, nous pouvons déduire qu'il y a eu une réduction des connaissances. Étant donné que les connaissances ne se contredisent pas, alors les connaissances entre les épisodes sont cohérentes.

Nous signalons que l'enseignant a effectué un appel dans l'épisode 24 (S5_2011_01_17_24) à l'épisode 41 de la quatrième séance ; un appel limité au registre graphique traduit par l'appel de l'allure de la courbe qui a une même valeur de C et de R. Ce type de réduction est différent des deux sous-catégories que nous avons trouvées plus tôt dans ce chapitre ; cette réduction est du type limitation d'information où l'enseignant extrait une connaissance précise dans un registre choisi d'une situation plus riche. Les connaissances entre ces deux épisodes ne se contredisent pas ; elles sont cohérentes.

Dans ce schéma, nous avons deux catégories de cohérence : expansion et réduction. Nous avons mis en évidence une nouvelle sous-catégorie de la réduction : « limitation d'information ». Dans ce cas, les épisodes articulés sont cohérents.

2.4 Exemple de la catégorie de cohérence : Auto-reformulation

Nous allons présenter dans ce qui suit la transcription de l'épisode 58 (S4_2011_01_14_58) qui porte sur le générateur de courant et le générateur de tension. À partir de cette transcription, nous allons étudier le tissage entre plusieurs épisodes lorsque l'enseignant répond à la question d'un élève ; nous nous basons également sur cette transcription (tableau 12) pour construire le schéma 6.

Elève	Si on augmente U_0 , le condensateur se charge plus rapidement ?
Enseignant	Non ça ne charge pas plus vite ; <u>c'est ce que je viens de dire</u> . Si U_0 change, je ne change rien au dipôle RC.
Elève	Mais pas U_0 ! Ce que je veux dire est ce que le condensateur se charge plus rapidement si on augmente l'intensité du générateur ?
Enseignant	/il touche la boite noire sur le bureau de l'enseignant ; générateur de tension/Lui, il ne délivre pas I_0 . Il délivre U. <u>Ça, ce n'est pas un générateur de courant.</u> <u>Lui, depuis le début c'est un générateur de tension qu'on utilise sauf dans l'activité 2.</u>
Elève	Ça c'est un générateur de tension constant ?
Enseignant	Oui de tension.
Elève	Ah, d'accord.
Enseignant	Lui c'est U_0 . Qu'est-ce qu'il impose ? Il impose la tension. Le courant, il varie tout le temps.
Elève	Et le générateur de courant ?
Enseignant	Il impose le courant et la tension peut varier.

Tableau 12 : Transcription de l'épisode 58 de la quatrième séance (S4_2011_01_14_58).

Dans cet épisode transcrit, l'enseignant a fait deux appels déterminés que nous avons soulignés dans la transcription :

- un appel explicite vers l'épisode 57 de la même séance (S4_2011_01_14_57) qui se situe juste avant l'épisode transcrit ;
- un appel explicite vers l'activité 2 en général sans précisons particulières. Étant donné que que l'activité 2 est constituée de plusieurs épisodes, nous revisualisons notre corpus pour trouver les épisodes de correspondance. Nous avons trouvé trois épisodes de correspondance dans la deuxième séance portant sur l'activité 2 en lien avec les connaissances de l'épisode transcrit. Ces trois épisodes n'appartiennent pas à la catégorie des épisodes intitulée « constante de temps » car ils ne sont pas codés avec ce mot clé.

Par conséquent, le schéma 6 contient au moins cinq cases de cinq épisodes définis. Tout dépend si chacun de ces cinq épisodes a des correspondances ou non.

A partir de cette transcription, nous constatons que l'enseignant a adopté un discours interactif/autoritatif dans le sens de notre cadre théorique (§ 3.2). L'enseignant adopte une approche interactive car il échange avec un élève et, en même temps, son discours est

autoritatif car il n'a toujours pas répondu à la question de l'élève dans le fil de la discussion. L'enseignant ne tient pas compte de la deuxième question, une vraie question de l'élève que nous avons mise en gras dans le tableau 12, en répondant que le générateur qu'il utilise est un générateur de tension et clôture la question sur le générateur de courant. Il nous semble qu'il était possible d'adopter un discours plus dialogique qui lui permettrait de tisser plus de liens vers l'activité 2, en expliquant qu'avec un générateur de courant, l'allure de la courbe n'est pas exponentielle. Ils vont obtenir une droite comme ils l'ont vu dans l'activité 2 et par conséquent il n'y a pas de « constante de temps ». Ce type de discussion était possible car l'enseignant avait déjà évoqué l'activité 2 pour y répondre.

Dans la partie suivante, nous présentons dans le schéma 6, tous les épisodes en lien avec l'épisode de référence (S4_2011_01_14_58) qui ont un contenu commun : générateur de courant et générateur de tension, effet d' U_0 sur tau pour un dipôle RC. Nous allons présenter un autre rapport de cohérence qui est l'auto-reformulation.

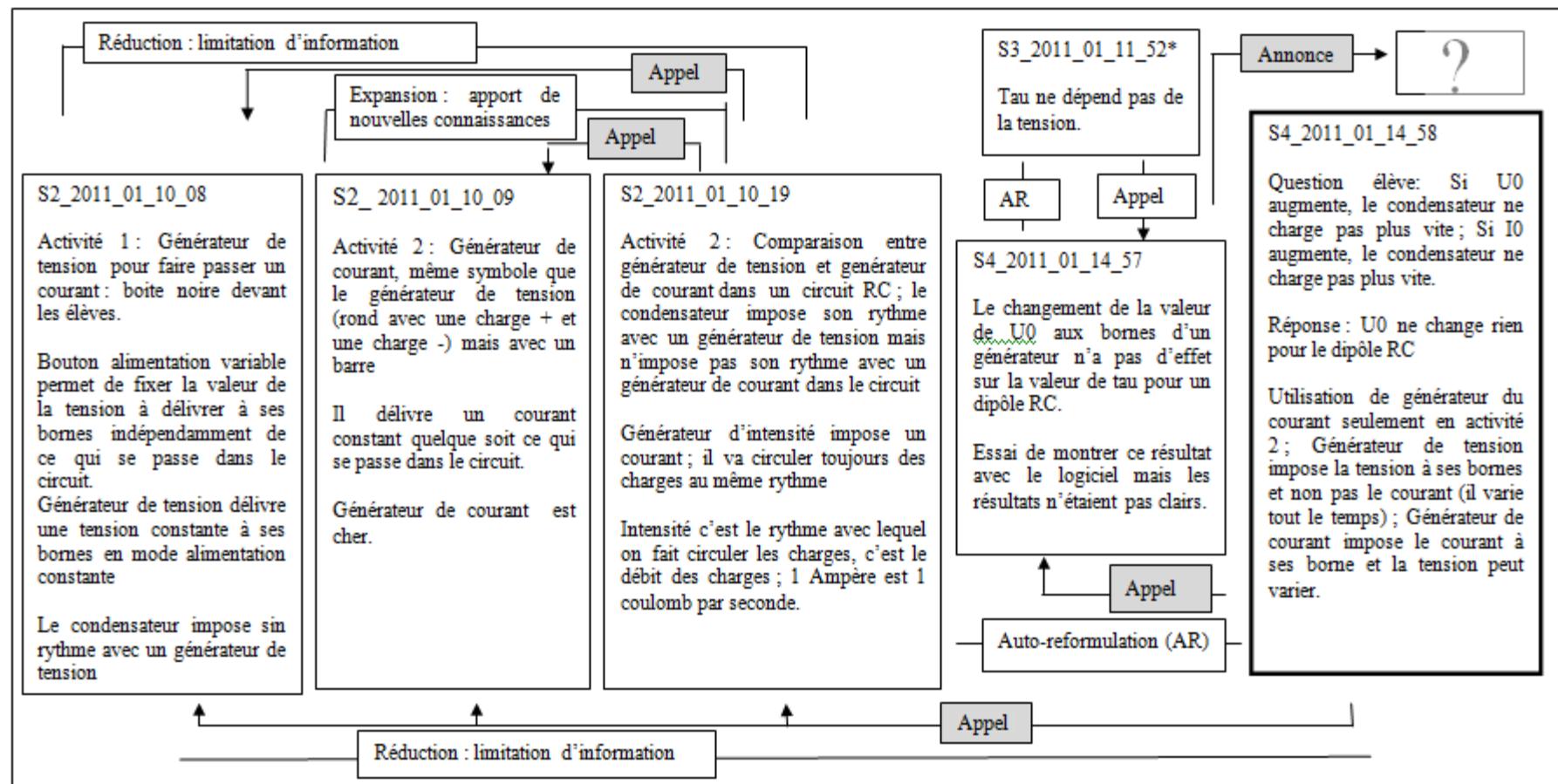


Schéma 6 : Ce schéma représente les connaissances dans les épisodes sur le contenu signalé au-dessus du tableau. Les cases grisées correspondent aux catégories d'articulation et les flèches au sens de l'articulation. Les cases blanches figurées entre les épisodes représentent la nature de la cohérence entre les connaissances des épisodes. La case en bordure grasse est l'épisode de référence. Le point d'interrogation figure une annonce qui n'est pas réalisée. L'étoile (*) signifie que nous pouvons nous reporter aux connaissances de cet épisode dans un schéma antérieur, le schéma 2. Nous ne l'avons pas inséré dans ce schéma pour éviter une répétition et un encombrement.

Analyse du schéma 6

Nous présentons dans un premier temps les articulations entre les trois épisodes qui ne font pas partie du corpus délimité (voir annexe 7) ainsi que la nature de la cohérence avant de passer aux autres épisodes du schéma.

L'épisode 19 est codé avec deux « appels » ; un appel vers l'épisode 8 qui porte sur le générateur de tension et l'épisode 9 qui porte sur le générateur de courant.

Si nous comparons les connaissances entre l'épisode 19 et 9 de la deuxième séance, nous remarquons que le registre symbolique mobilisé dans l'épisode 9 de la deuxième séance (S2_2011_01_19_09) est absent dans l'épisode 19 : « *un générateur de courant a le même symbole qu'un générateur de tension avec une barre* ». Mais dans ce dernier épisode l'enseignant a expliqué, dans le monde des théories et des modèles au niveau microscopique, la signification de l'intensité : « *l'intensité c'est le rythme avec lequel on fait circuler les charges¹⁵, c'est le débit des charges. 1 Ampère est 1 coulomb par seconde* ». Nous considérons qu'il y a une expansion des connaissances dans l'épisode 19 par rapport au neuvième épisode (S2_2011_01_10_09), car nous estimons que l'enseignant a considéré que les élèves ont appris l'icône du générateur. Ces connaissances ne se contredisent pas ; le discours dans ces épisodes est cohérent.

Si nous comparons les connaissances entre l'épisode 8 et l'épisode 19, nous voyons alors qu'il y a une réduction des connaissances ; une réduction avec une limitation d'information. Le contenu de ces deux épisodes est cohérent.

Après avoir fini le rapport entre les trois épisodes, nous passons aux suivants épisodes. Si nous comparons les connaissances en jeu dans l'épisode de référence (2011_01_14_58) et les trois épisodes de correspondances dans la deuxième séance (S2_2011_01_10_08, S2_2011_01_10_09 et S2_2011_01_10_19), nous remarquons que les connaissances dans chacun des trois épisodes sont plus riches et plus détaillées. Les connaissances appelées sur le générateur de tension et le générateur de courant sont réduites à des connaissances élémentaires :

- le générateur de tension délivre une tension constante ;
- le générateur de courant délivre un courant constant.

Nous présentons ci-après un extrait du discours de l'enseignant de deux épisodes de la quatrième séance et un extrait de l'épisode 52 de la deuxième séance pour pouvoir illustrer le rapport d'auto-reformulation :

¹⁵ L'article devant le terme « charge » indique une échelle différente. Si l'enseignant utilise l'expression « la charge », on peut considérer qu'il parle d'une unité macroscopique (q). Si l'enseignant utilise le terme « les charges », on peut considérer qu'il parle d'une unité microscopique (e⁻).

- dans l'épisode 52 de la troisième séance (S3_2011_01_11_52) l'enseignant a abordé en une phrase l'effet de U sur tau alors qu'il a détaillé l'effet de C et de R : « [...] la constante de temps tau dépend de R, de C. **Tau ne dépend que de ça et non pas de la tension.** Cette constante de temps, vous voyez déjà qu'elle augmente avec R. Plus R est grand ou plus C augmente, plus ce temps tau est grand [...] » ;
- dans l'épisode 57 (S4_2011_01_14_57) l'enseignant a dit que : « **Le changement de la valeur de U_0 aux bornes d'un générateur n'a pas d'effet sur la valeur de tau pour un dipôle RC** » ;
- dans l'épisode 58 (S4_2011_01_14_58), l'enseignant a exprimé : « [...] c'est ce que je viens de dire, **si U_0 change, je ne change rien au dipôle RC** ».

Nous avons mis en gras les connaissances reliées à U_0 . Elles ne sont que des reformulations du discours de l'enseignant. L'enseignant n'a pas développé l'idée, il ne l'a pas non plus répétée ; il a reformulé son propre énoncé pour expliquer que la tension délivrée aux bornes du générateur n'a pas d'effet sur la constante de temps dans le cas d'un circuit RC.

Dans l'épisode 57 de la quatrième séance (S4_2011_01_14_57), l'enseignant explique qu'il va parler de quelque chose que les élèves ont probablement vu lors de la réalisation des expériences en TP et que lui a passé sous silence « *effet de U_0 sur tau dans le cas du dipôle RC* ». L'enseignant a essayé de réaliser l'expérience devant les élèves en salle de cours en se servant de la carte d'acquisition. Les résultats étaient dramatiques (figure 13) et par conséquent l'enseignant annonce que les élèves vont retravailler cette expérience dans le prochain TP. Cette « annonce » n'a pas de correspondance plus tard dans la séquence ; les élèves n'ont pas réalisé cette expérience dans le cas du dipôle RC. Ils ont retravaillé l'effet de U_0 sur la constante de temps pour le dipôle RL.

Nous faisons l'hypothèse que l'élève n'a pas posé la question sur l'effet de U_0 sur la constante de temps dans deux cas :

- soit si l'enseignant avait développé davantage l'effet de la variation de la valeur de la tension aux bornes du générateur sur la valeur de tau ;
- soit si l'expérience d'illustration visant à montrer que la tension aux bornes du générateur n'a pas d'effet sur la valeur de tau avait réussie (voir figure 13) dans la séance qui a suivi cette annonce.

Cela nous permet de déduire que l'élève n'a pas réussi à faire le lien entre l'expression algébrique de tau et les variables qui influencent la valeur de tau pour le dipôle RC.

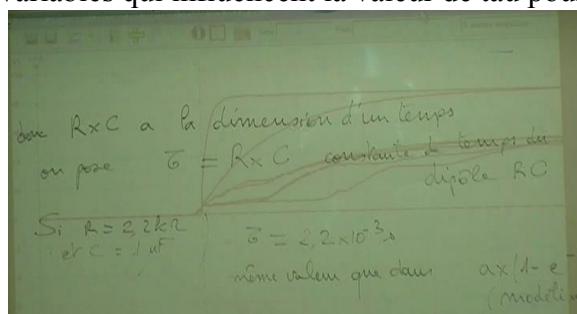


Figure 13: Copie d'écran de l'épisode 57 de la quatrième séance (S4_2011_01_14_57).

Ce schéma contient des épisodes qui ne sont pas codés avec le mot clé « constante de temps ».. L'enseignant a essayé d'être interactif et il a appelé des connaissances élémentaires qu'il a développées dans la deuxième séance de la séquence. Le nouveau rapport de cohérence « auto-reformulation » a une occurrence de deux. Est-ce que cela dépend de l'importance que l'enseignant attribue aux effets des variables sur la constante de temps ? Est-ce que l'enseignant ne voulait pas développer pour éviter de passer beaucoup de temps sur l'effet de U_0 sur tau ? Nous n'avons pas trouvé ce rapport dans le cas des variables influençant tau.

2.5 Exemples de la catégorie de cohérence : Répétition

Nous allons donner deux exemples portant sur deux contenus différents sur la catégorie de cohérence « répétition ».

2.5.1 Premier exemple de la catégorie de cohérence : Répétition

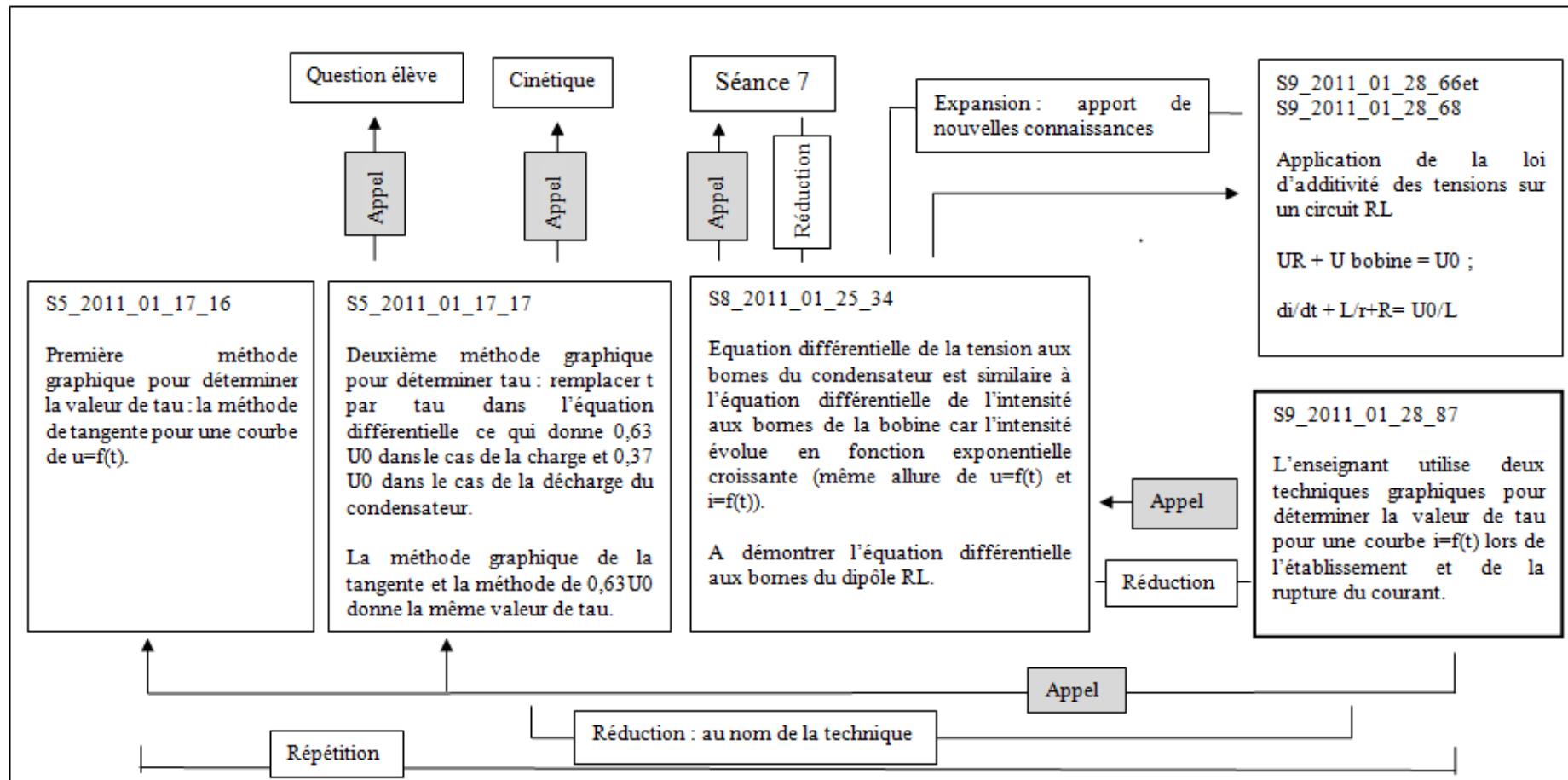


Schéma 7 : Ce schéma représente les connaissances dans les épisodes sur le contenu signalé au-dessus du tableau. Les cases grisées correspondent aux catégories d'articulation et les flèches au sens de l'articulation. Les cases blanches figurées entre les épisodes représentent la nature de la cohérence entre les connaissances des épisodes. La case en bordure grasse est l'épisode de référence.

Dans le schéma 7, nous allons présenter une nouvelle catégorie de cohérence : « la répétition ». Le schéma porte sur les épisodes ayant un contenu commun : dipôle RL, techniques pour déterminer la valeur de la constante de temps ; cas de $i(t)$.

Analyse du schéma 7

Ce schéma contient plusieurs épisodes portant sur l'analogie entre $u(t)$ et $i(t)$ et les techniques classiques graphiques pour déterminer la valeur de tau sans aucun rôle pour les TICE. C'est pour cela, dans ce schéma, nous n'avons pas intégré les épisodes où l'enseignant évoque les techniques en lien avec les TICE pour déterminer tau : S8_2011_01_25_34 (cet épisode est analysé dans le schéma 6), S9_2011_01_28_66 et S9_2011_01_28_68.

L'épisode de référence : l'épisode 87 de la séance 9 (S9_2011_01_28_87) est codé « appel » trois fois car cet épisode renvoie à des contenus différents situés dans trois épisodes : deux épisodes de la séance 5 et un épisode de la huitième séance.

Dans l'épisode 87, l'enseignant était en train de compléter la fiche modèle du dipôle RL (voir annexe 2). Il complète la fiche avec l'expression mathématique $\tau = L/(R+L)$. L'enseignant propose aux élèves d'ajouter aux modèles au moins deux techniques graphiques pour déterminer la valeur de tau sur une courbe de $i(t)$. Pour cela, il a fait deux appels explicites vers les épisodes 16 et 17 de la cinquième séance (S5_2011_01_17_16 et S5_2011_01_17_17). Les appels, dans le discours de l'enseignant, pointent les deux méthodes graphiques pour trouver tau, que les élèves ont vues pour des courbes de $u(t)$ pour un dipôle RC. L'appel vise à appliquer ces mêmes techniques sur une courbe $i(t)$ pour le dipôle RL ; l'enseignant trace l'asymptote et la tangente pour déduire tau. Par conséquent, nous constatons qu'il y a une répétition des connaissances entre l'épisode 87 de la neuvième séance (S9_2011_01_28_87) et l'épisode 16 de la cinquième séance (S5_2011_01_17_16). L'enseignant a simplement précisé la place de 0,63 U0 alors qu'il y a une réduction au nom de la technique entre l'épisode 87 (S9_2011_01_28_87) et l'épisode 17 (S5_2011_01_17_17). Les connaissances évoquées dans l'épisode 87 ne contredisent pas celles de l'épisode 16 et 17. Par conséquent, nous pouvons qualifier les connaissances pointées comme cohérentes.

Nous n'avons pas reparlé des appels de l'épisode 17 vers la question d'un élève et de la séquence de cinéétique car nous en avons abordé ce point dans le schéma 4.

En ce qui concerne l'appel de l'épisode 87 (S9_2011_01_28_87) vers l'épisode 34 (S8_2011_01_25_34) qui se situe dans la séance antérieure, il était implicite. Dans l'épisode de la huitième séance, l'enseignant procède par analogie entre l'équation différentielle de $u(t)$ pour un dipôle RC et de l'équation différentielle de $i(t)$ pour un dipôle RL car les deux courbes évoluent d'une façon exponentielle. Le but de l'analogie est de déduire que l'expression devant « i » vaut l'expression mathématique de tau. Pendant l'épisode, l'enseignant n'a pas fait un appel explicite et clair dans son discours vers l'épisode 34. Il nous semble que l'enseignant a considéré que les élèves avaient remarqué le lien entre ces deux épisodes qui se traduit par l'allure de la courbe exponentielle croissante, ce qui rend légitime l'utilisation des techniques classiques, graphiques, pour déterminer la valeur de tau. D'ailleurs, l'enseignant avait signalé dans l'entretien au sosie qu'il faut que son sosie explique

qu'il est possible d'appliquer les deux techniques graphique pour déterminer la valeur de tau à cause de l'analogie des allures des courbes de $u(t)$ aux bornes du dipôle RC et de $i(t)$ aux bornes du dipôle RL.

Malgré l'importance que l'enseignant accorde sur ce point, nous pouvons dire qu'il y a une réduction des connaissances. Ces dernières ne se contredisent pas, nous pouvons ainsi considérer qu'il y a une cohérence entre l'épisode 87 (S9_2011_01_28_87) et les autres épisodes.

Nous allons parler maintenant de l'épisode 34 de la neuvième séance et des deux épisodes de la neuvième séance (S9_2011_01_28_66 et S9_2011_01_28_68). L'épisode 34 appelle la septième séance (séance de TP) ; l'enseignant a verbalisé : « *vous avez déjà vu que « i » évolue en exponentielle croissante* » et effectivement les élèves ont réalisé des acquisitions de données et des traitements. Même si l'enseignant n'a pas tenu un discours public sur l'évolution de l'intensité en TP, les élèves ont réalisé des manipulations. Nous considérons ainsi qu'il y a une cohérence entre les connaissances et que la nature de cette cohérence est une réduction : une réduction de l'activité expérimentale à l'allure d'une courbe.

Après l'avance effectuée par l'enseignant et l'analogie entre les équations différentielles, l'enseignant « annonce » qu'il va démontrer l'équation différentielle pour le dipôle RL, dans une autre séance. Cette annonce renvoie à deux épisodes de correspondance que nous avons présentés dans une seule case. Nous remarquons qu'il y a eu un développement des connaissances entre l'épisode codé « annonce » (S8_2011_01_25_34) et les deux épisodes de la neuvième séance. Les connaissances ne se contredisent pas, nous pouvons ainsi considérer qu'il y a une cohérence entre ces épisodes articulés. On se rend bien compte qu'il est impossible de définir une catégorie de cohérence avec un épisode codé par « avance », car nous n'avons pas d'épisode de correspondance.

Ce schéma contient plusieurs épisodes et plusieurs catégories de cohérence. Nous avons une expansion avec apport de nouvelles connaissances, une réduction de type limitation d'information et une nouvelle catégorie de cohérence qui est la « répétition ».

2.5.2 Deuxième exemple d'une catégorie de cohérence : Répétition.

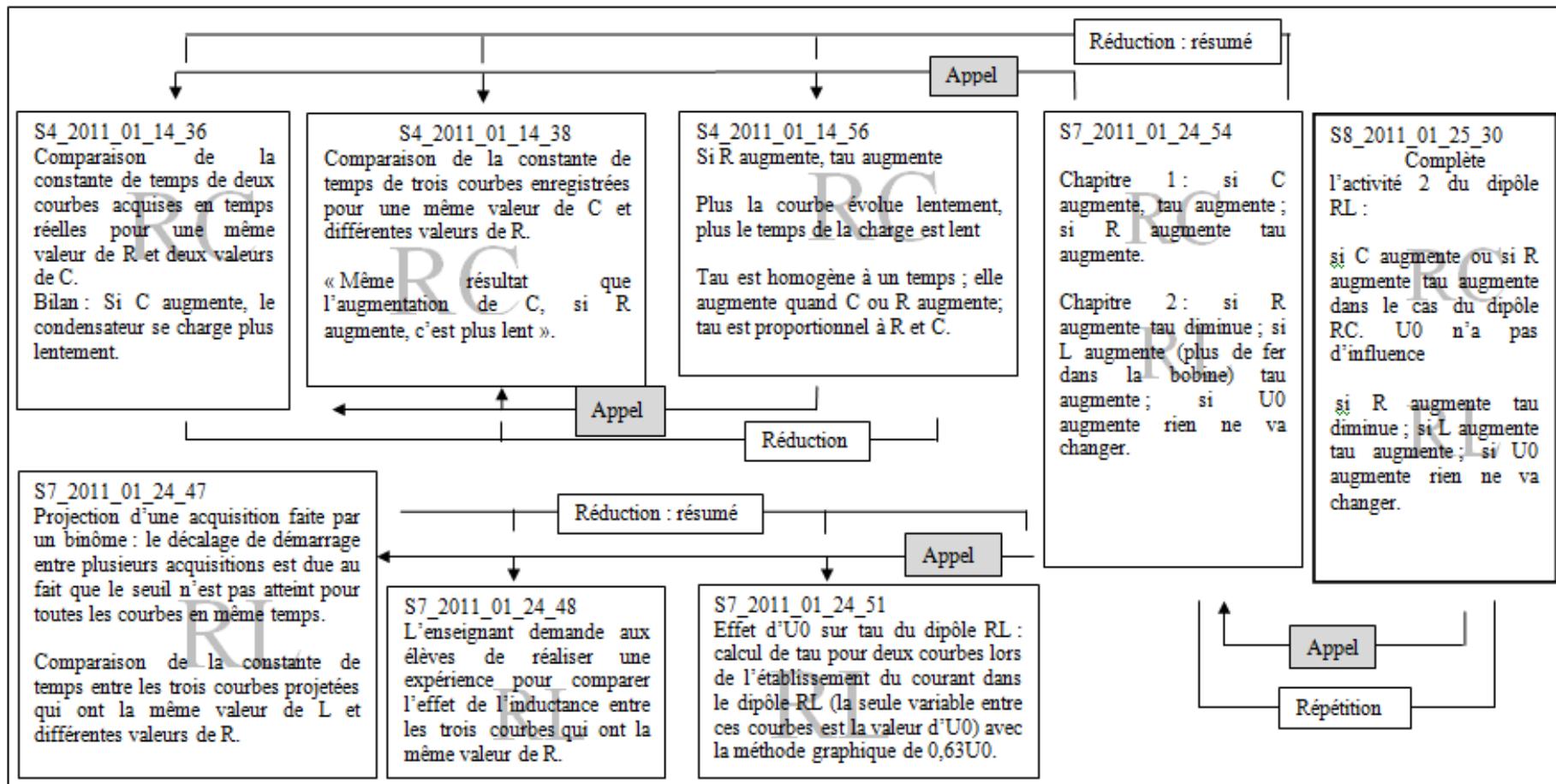


Schéma 8 : Ce schéma représente les connaissances dans les épisodes sur le contenu signalé au-dessus du tableau. Les cases grisées correspondent aux catégories d'articulation et les flèches au sens de l'articulation. Les cases blanches figurées entre les épisodes représentent la nature de la cohérence entre les connaissances des épisodes. La case en bordure grasse est l'épisode de référence. Les trames RC et RL indiquent la partie à laquelle nous faisons référence.

Dans le schéma suivant, nous avons illustré la nouvelle catégorie de cohérence répétition et des autres catégories de cohérence. Le schéma regroupe les épisodes ayant un même contenu commun (tableau de correspondance) qui porte sur les effets des différentes grandeurs pouvant a priori influencer la constante de temps dans le cas du dipôle RC et dans le cas du dipôle RL.

Analyse du schéma 8

Dans l'épisode 52 de la septième séance (S7_2011_01_24_ 54) l'enseignant fait un résumé devant tous les binômes de TP ; il liste les différents paramètres et leurs effets sur la constante de temps pour le dipôle RC et pour le dipôle RL. L'enseignant fait un appel explicite au chapitre 1 tout en précisant qu'ils ont mis en évidence que quand R augmente, tau augmente, quand C augmente, tau augmente. Il fait une comparaison avec les résultats dans ce TP. Il précise verbalement tout en notant au tableau que quand R augmente, tau diminue, quand L augmente (plus de fer dans la bobine) tau augmente et quand U0 augmente, rien ne change. En effet, il est difficile de comparer les appels entre les trois épisodes de TP de la 7^{ème} séance ; les épisodes où l'enseignant demande publiquement aux élèves filmés de réaliser des manipulations afin d'observer le rôle de ces paramètres sur la constante de temps. Or, en toute logique, nous estimons que les élèves ont réalisé les expériences demandées : ils ont réalisé des acquisitions avec ME et des modélisations avec Regressi pour observer les différentes courbes. Par conséquent, il y a une réduction des connaissances qui se traduit par un résumé des trois épisodes (S7_2011_01_24_47 ; S7_2011_01_24_48 et S7_2011_01_24_51) où les élèves avaient réalisé la manipulation par rapport à l'épisode 54 de la même séance (S7_2011_01_24_54).

C'était également le cas pour les connaissances de l'épisode 56 (S4_2011_01_24_ 56) et les trois épisodes de la 4^{ème} séance. L'enseignant énumère les principaux résultats obtenus dans la quatrième séance en ne parlant que des rapports entre les grandeurs. Les connaissances entre l'épisode 52 et les trois épisodes de la quatrième séance ne se contredisent pas, nous pouvons ainsi déduire que ces épisodes sont cohérents tout en précisant que l'épisode 56 de la quatrième séance fait appel à deux épisodes ; il y a un résumé par rapport aux variables R et C et une expansion par rapport à tau. Dans ce cas, l'enseignant institutionnalise les connaissances de l'activité 2 en complétant le tableau. Il a contribué ainsi à l'augmentation du tissage et de la cohérence. De même, les quatre épisodes de la septième séance sont cohérents. Dans l'épisode 30 (S8_2011_01_25_30), l'enseignant corrige l'activité 2 du dipôle RL et complète le tableau de l'activité 2 sur l'effet des paramètres R, C et U pour le dipôle RC et des paramètres R, L et U pour le dipôle RL (voir annexe 2). Si nous comparons l'épisode 52 de la septième séance (S7_2011_01_24_ 54) et l'épisode 30 de la huitième séance (S8_2011_01_25_30), nous remarquons que l'enseignant a complété une seule connaissance de manière brève concernant l'influence de la tension sur tau pour le dipôle RC ; nous pouvons dire qu'il y a presque une répétition. Les connaissances entre ces deux épisodes ne se contredisent pas et par conséquent sont cohérentes.

3 Rôle des TICE dans le corpus sélectionné

Pour illustrer le rapport entre articulation et cohérence et pour mettre en lumière le rôle des TICE, nous reprenons deux exemples : un exemple sur la méthode de fonctionnement de Regressi pour trouver la valeur de la constante de temps et ensuite un exemple qui porte sur la nature de la valeur obtenue par Regressi :

- 1- Le premier exemple correspond aux épisodes où l'enseignant a expliqué le « vrai » mode de fonctionnement de Regressi en disant qu'il « *fit les points expérimentaux* ». Lors de l'explication de ce mode de fonctionnement, l'enseignant a fait appel à un autre épisode où il a dit que la méthode de fonctionnement de Regressi est en lien étroit avec la méthode des tangentes « *Regressi trace l'asymptote pour trouver tau* » ;
- 2- Le deuxième exemple correspond aux quatre épisodes codés avec le mot clé « constante de temps » où l'enseignant a parlé de la valeur de tau obtenue par Regressi. Les quatre épisodes sont situés dans deux séances successives. Nous donnons plus de détails ci-dessous.

Dans les épisodes 54 et 55 de la quatrième séance (S4_2011_01_14_54 et S4_2011_01_14_55), l'enseignant a : (1) calculé ce qu'il appelle la valeur théorique de tau ($c=2,2 \text{ k}\Omega$ et $c=1 \mu\text{F}$; $\tau=2,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$) et (2) expliqué que la valeur de tau obtenue par calcul de $\tau=R.C$ est la même que celle obtenue par Regressi qui modélise par un modèle exponentiel $A(1-e^{-t/\tau})$.

Dans l'épisode 77 de la quatrième séance (S4_2011_01_14_77), l'enseignant fait référence aux deux épisodes ci-dessus. Il a « *démontré que Regressi modélise sous la forme $U_c=U_0(1-e^{-\tau/RC})$* ; « *A* » de Regressi n'est autre que U_0 et τ de Regressi vaut $R.C$ »

Dans l'épisode 51 de la cinquième séance (S5_2011_01_17_51), l'enseignant dit que la valeur de tau affichée sur Regressi est une valeur expérimentale et pour trouver la valeur théorique de tau, il faut utiliser : 2,2 kΩ et 1 μF.

En conclusion, à travers ces deux exemples, nous pouvons déduire que le critère « articulation » entre les épisodes n'est pas suffisant pour établir une cohérence entre les connaissances de ces épisodes. Dans le premier exemple, le tissage n'a pas amené à une cohérence. Dans le deuxième exemple, nous avons également des épisodes articulés sans que cette articulation amène à une cohérence. Nous pouvons dire que la place de Regressi n'est pas la même dans le processus de modélisation ; sa place n'est pas fixe. En effet, l'enseignant considère parfois que la valeur de tau est un résultat expérimental (S5_2011_01_17_51) et la considère parfois comme aspect théorique (S4_2011_01_14_54, S4_2011_01_14_55 et S4_2011_01_14_77).

3.1 La légitimité de l'utilisation des TICE

L'enseignant a parlé de la carte d'acquisition et du logiciel Mesure Electrique dans deux TP de la séquence, le premier TP sur le dipôle RC (séance 2) et le premier TP sur le dipôle RL (séance 5).

Lors de la première séance de TP et dans la première activité sur le dipôle RC, l'enseignant a projeté un chronomètre commun à tous les élèves. Le but est de relever la valeur de la tension sur le voltmètre aux bornes d'un générateur de courant chaque 20 secondes pour tracer $u(t)$. Après un laps de temps, l'enseignant a introduit la carte d'acquisition et le logiciel Mesure Electrique. Il a réalisé la même expérience mais en remplaçant le voltmètre par la carte d'acquisition : « *je vais brancher les deux fils électriques relié à la carte d'acquisition là où j'ai exactement branché le voltmètre. L'avantage avec l'ordinateur, c'est qu'il va enregistrer en même temps, il va faire ce que vous avez fait* ». L'enseignant explique qu'à partir de ce dispositif (carte d'acquisition et ME), ils vont obtenir le même résultat de $u(t)$ mais avec plus de précision car ME prend une valeur toutes les 7 ms (ME mesure 32768 points en 200 secondes) et il est plus rapide que les élèves.

Lors de la troisième séance de TP et dans la première activité sur le dipôle RL, les élèves ont réalisé l'expérience de l'activité 1 en se servant d'un voltmètre et d'un ampèremètre pour tracer $u(t)$ en régime permanent. Ensuite, l'enseignant parle de la nécessité d'utiliser la carte d'acquisition pour pouvoir mesurer la tension aux bornes de la bobine en régime transitoire car le voltmètre ne permet pas d'avoir le changement de valeur sur 20 ms contrairement à la carte avec ME.

Dans la première séance, l'enseignant a montré que la carte est l'équivalent d'un voltmètre mais qu'il relève plus de valeurs et qu'il trace simultanément l'allure de la courbe ou de la droite à obtenir (il a comparé l'allure de la courbe $u(t)$ tracé par un élève sur un papier millimétré et l'allure de la courbe projetée). Dans la troisième séance, l'enseignant a parlé de l'incapacité du voltmètre à faire ce dont ils ont besoin alors que la carte avec ME permet de le faire.

Ces deux discours tenus par l'enseignant pour légitimer le remplacement du matériel physique classique avec une carte d'acquisition des données et un logiciel d'acquisition sont cohérents bien qu'ils ne soient pas articulés avec un marqueur langagier explicite ; l'enseignant a montré aux élèves le besoin de la carte d'acquisition pour savoir ce qui se passe en régime transitoire dans une bobine.

4 Conclusion

Dans cette étude de cas, nous remarquons que l'étude de la cohérence d'un concept au niveau microscopique, mésoscopique et macroscopique est possible en découplant systématiquement le discours de l'enseignant en unité microscopique : les épisodes. Dans certains cas, nous avons sélectionné deux épisodes qui sont séparés entre eux par un seul épisode portant sur un contenu différent. Par exemple le schéma 1 portait sur l'analyse dimensionnelle de la

constante de temps dans le cas du dipôle RL. Dans ce chapitre, nous avons montré que les épisodes sont des briques élémentaires permettant d'étudier le discours.

Le découpage en épisodes permet également de préciser les notions qui tournent autour d'un concept défini. Dans notre cas, le concept « constante de temps » est relié à plusieurs notions. En regardant le tableau de correspondance (voir annexe 9) nous pouvons constater que le concept « constante de temps » est relié aux concepts suivants : générateur de tension, générateur de courant, capacité d'un condensateur, convention générateur, effet de la variation de la résistance sur l'allure de $u(t)$, effet de la variation de la résistance sur l'allure de $i(t)$, analyse dimensionnelle.

Nous constatons que notre hypothèse initiale est validée : le concept « constante de temps » permet à l'enseignant de tisser des liens non seulement entre les séances d'une même séquence mais aussi avec d'autres séquences (§ 2.2.1 de la méthodologie d'analyse).

L'étude de la cohérence d'un seul concept, dans une séquence est complexe. Au fur et à mesure de l'avancement du temps didactique, certains concepts reviennent à différents moments de la séquence ; d'autres apparaissent une seule fois avant de disparaître. Les concepts de générateur de tension et de générateur de courant étaient utilisés au début de la séquence. Ils sont apparus plus loin dans la séquence car un élève a posé une question à l'enseignant (revoir schéma 6).

Les concepts peuvent ou non être liés avec des catégories d'articulation. Or, nous ne pouvons pas affirmer qu'à chaque fois que l'enseignant tisse des relations entre deux épisodes ayant un contenu commun cela signifie que les connaissances et le discours sont cohérents. Autrement dit, le tissage des relations entre les épisodes n'est pas un critère suffisant pour assurer une cohérence.

Il nous semble, à travers cette analyse, que le tissage des relations entre différents concepts dans une séquence permet d'offrir aux élèves des indications sur les relations entre ce qu'ils ont travaillé dans une activité durant un TP et ce qu'ils ont travaillé et appris ou ce qu'ils ont fait dans le passé proche et le passé lointain.

Chaque épisode peut contenir une ou plusieurs connaissances. L'examen des connaissances que l'enseignant a impliqué dans les épisodes articulés portant sur un contenu commun peut contribuer à la qualification de la nature des transformations entre les connaissances d'un ou d'un ensemble d'épisodes, épisodes codés par la catégorie d'articulation, et un ensemble d'épisodes de correspondance.

À travers cette analyse, nous avons caractérisé quatre types de liens pouvant exister entre les connaissances des différents épisodes ayant un contenu commun : l'expansion, la réduction, la répétition et l'auto-reformulation. Nous pouvons maintenant en donner une définition plus précise.

Expansion

On dit qu'on a une expansion quand les connaissances dans l'épisode de correspondance sont plus étendues que l'épisode codé par une catégorie d'articulation. Cette catégorie se divise en deux sous-catégories :

- apport de nouvelles connaissances (exemple : schéma 1, schéma 2, etc.) ;
- apport de nouvelles procédures (exemple : schéma 4, schéma 5, etc.)

Réduction

On dit qu'on a une réduction quand les connaissances dans l'épisode de correspondance sont plus réduites que l'épisode codé par une catégorie d'articulation. Cette catégorie se divise en trois sous-catégories :

- résumé : cette sous-catégorie se caractérise par une réduction des connaissances à une énumération des étapes à suivre pour effectuer une tâche demandée (exemple : schéma 3), ou une énumération des principaux résultats obtenus dans une ou plusieurs séance(s) (exemple : schéma 8) ;
- limitation d'information : cette sous-catégorie se caractérise par une réduction où l'enseignant extrait des connaissances précises parmi d'autres (exemple : schéma 5, schéma 6) ;
- nom de la technique : cette sous-catégorie se caractérise par une réduction de la procédure ou de la technique à son nom (exemple : schéma 4).

Répétition

On dit qu'il y a une répétition quand les connaissances dans l'épisode de correspondance sont répétées sur le même modèle syntaxique et lexical que dans l'épisode codé par une catégorie d'articulation (exemple : schéma 8).

Auto-Reformulation

Selon Gulich & Kotschi (1987) « *la reformulation est une opération linguistique de la forme xRy , qui établit une relation d'équivalence sémantique entre un énoncé-source X et un énoncé reformulateur y, R étant le marqueur de reformulation* » (ibid, page 30). Nous faisons la distinction entre reformulation et auto-reformulation. Il y a auto-reformulation lorsqu'une personne, dans notre cas l'enseignant, réélabore ses propres énoncés et les reformule (exemple : schéma 6).

Pour conclure, nous présentons par le schéma 9, les différentes transformations entre les connaissances de l'épisode codé par une catégorie d'articulation et l'épisode de correspondance. Les épisodes peuvent appartenir à la même activité, à la même séance ou à différentes séances ; les transformations entre les connaissances permettent donc d'étudier la cohérence entre les différentes échelles temporelles.

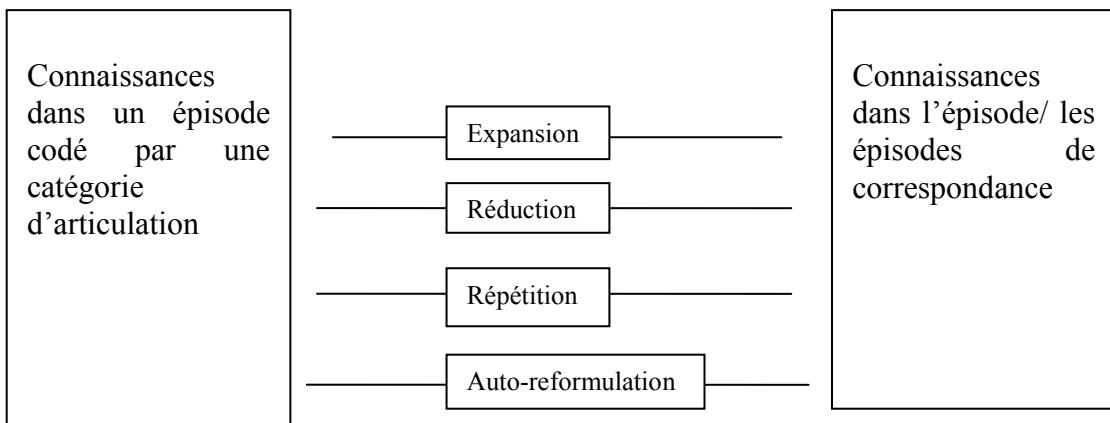


Schéma 9 : Schéma reproduisant les catégories de cohérence entre les connaissances d'un épisode codé avec une catégorie d'articulation et l'épisode de correspondance. L'épisode de correspondance peut être antérieur ou postérieur à l'épisode codé.

VII. Analyse : Etude des inscriptions dans les débriefings

Dans ce chapitre, nous exposons les différents résultats sur la base méthodologique que nous venons de présenter dans le § 3 de la méthodologie d'analyse.

Nous nous intéressons au tissage lors des inscriptions de l'écran pendant les activités expérimentales. L'étude de ces débriefings permet de voir comment l'enseignant peut tisser des liens entre les concepts abordés dans les séances de Travaux Pratiques (TP) et les séances de cours. Nous rappelons que nous nous intéressons à l'étude du tissage lors des débriefings, car le savoir en jeu dans cette phase didactique doit, a priori, être relié à d'autres savoirs. C'est une occasion pour les élèves de réviser des savoirs apparus antérieurement dans la classe et leurs relations. Le découpage synoptique révèle plusieurs activités débriefées sur la totalité de la séquence : deux activités pour le dipôle RC, une activité¹⁶ pour le dipôle RL et aucune activité pour le dipôle RLC.

Dans ce chapitre, nous avons découpé les débriefings par inscription ; puis nous avons découpé chaque inscription (p.84, § 3.2.2) en plusieurs états d'inscriptions selon leurs buts. L'analyse nous a permis de distinguer deux états d'inscription : ceux qui contiennent des objets directement liés à la projection de l'écran et ceux qui contiennent des objets inscrits complémentaires par rapport à la projection.

1 Dipôle RC, débriefing des connaissances

Pendant le premier TP de la séquence (2011_01_10), les élèves ont réalisé deux activités (activité 2 et activité 3, voir annexe 2). Dans la première séance de cours qui a suivi le TP (2011_01_11), l'enseignant a débriefé les deux activités :

- le débriefing de l'activité 2 de la partie RC a duré 14 minutes environ. Il est composé de deux parties séparées dans le temps, car l'enseignant a débriefé l'activité 2 puis il a annoncé qu'il allait commencer le débriefing de l'activité 3 et projeter un diaporama. Suite à la projection du diaporama, l'enseignant a parlé de l'électroscopie. Il passe au deuxième diaporama en lien avec l'activité 2 et le commente ;
Dans la première partie de ce débriefing, l'enseignant projette une courbe obtenue par Rgressi. Dans la deuxième partie, l'enseignant projette un diaporama.
- le débriefing d'une partie de l'activité 3 du dipôle RC (partie charge) a duré 15 minutes. Dans ce débriefing, l'enseignant projette un diaporama où il y a un schéma du circuit RC et l'icône du condensateur.

Dans ce qui suit, nous présentons le débriefing des connaissances de chaque activité.

¹⁶ Il y a deux activités expérimentales débriefées pour le dipôle RL. Or, nous n'avons gardé que l'activité débriefée avec une projection de l'écran.

1.1 Activité « charge d'un condensateur à courant constant »

Nous commençons d'abord avec une présentation de l'activité (§ 1.1.1) intitulée « *charge d'un condensateur à courant constant, définition de la capacité* ». Dans cette partie, nous décrivons : le contenu de l'activité¹⁷, le déroulement de l'activité en TP et l'introduction du déroulement effectif du débriefing de l'activité. Ensuite, nous présentons les deux inscriptions dans le débriefing. La première inscription porte sur la charge d'un condensateur avec un générateur de courant (§ 1.1.2) et la deuxième inscription porte sur le stockage des charges électriques opposées aux bornes du condensateur (§ 1.1.3). Nous finissons cette partie avec une conclusion sur ce débriefing (§ 1.1.4).

1.1.1 Présentation de l'activité

L'activité 2 consiste pour l'enseignant à réaliser le schéma du circuit de la figure 14, puis à lancer un chronomètre et un voltmètre visibles par toute la classe.

Les élèves doivent : (1) mesurer différentes valeurs de la tension aux bornes du condensateur, u , toutes 10 secondes pour tracer $u(t)$, (2) exploiter la courbe pour donner les expressions algébriques de la charge accumulée aux bornes du condensateur en fonction du temps et (3) déterminer la valeur expérimentale de la capacité du condensateur en se servant des mesures prises en TP et comparer la valeur obtenue à la valeur nominale indiquée sur le condensateur.

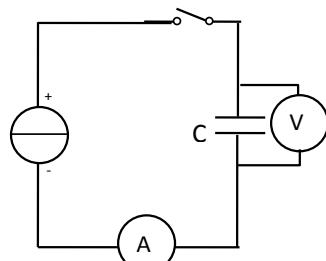


Figure 14 : Schéma du circuit de l'activité 2.

En TP, l'enseignant a réalisé le montage de l'activité 2 (figure 14) en utilisant un chronomètre, voltmètre et ampèremètre visibles par tous les élèves de la classe. Après cette première expérience, l'enseignant a introduit la carte d'acquisition et le logiciel d'acquisition des données ME en disant : « *regardez, je vais faire la même expérience mais au lieu d'utiliser un voltmètre, je vais utiliser une carte d'acquisition. Regardez /il montre une carte d'acquisition/. C'est du matériel tout nouveau* ». Il explique que ME donne les mêmes résultats qu'avec du matériel classique (voltmètre, ampèremètre) et ajoute que ME donne plus de précisions car il prend beaucoup plus de valeurs. Il ajoute que ME est plus rapide « *vous avez pris des valeurs toutes les 10 s et lui il prend une valeur toutes les 6ms* ».

Les élèves ont travaillé par binômes pour achever les tâches prescrites. Certains élèves n'ont pas réussi à finir toutes les tâches demandées dans l'activité 2 avant de passer à l'activité 3 (consigne de l'enseignant).

¹⁷ L'activité complète est en annexe 2.

Lors du débriefing dans la séance qui a suivi le TP (2011_01_11), l'enseignant commence le débriefing de cette activité en notant au tableau ce qu'il appelle « la valeur théorique de C ». Il regarde la valeur nominale mentionnée sur le condensateur et l'inscrit au tableau : $C=0,1000 F \pm 20\%$. Ensuite, il projette la courbe de $u(t)$ qu'il a réalisée à l'avance en se servant de ME et de Regressi. L'enseignant fait un « rappel » de l'activité en expliquant que l'évolution de $u(t)$ est une évolution linéaire sachant qu'il faut déclencher le chronomètre au moment de la fermeture du circuit et vérifier que le condensateur est complètement déchargé à l'instant initial.

L'enseignant fait un appel de la place de l'onglet « modélisation » sur l'interface de Regressi « *l'onglet modélisation est ce volet-là, c'est ce volet qui se replie* ». Il modélise avec Regressi en utilisant l'expression du modèle ($a.t$) et il ajuste ; il trouve une valeur de a ($a=0,039$) avec un écart inférieur à 2%. Nous signalons que pendant la réalisation de cette activité en TP, l'enseignant n'a utilisé que ME. L'enseignant demande aux élèves du premier groupe de TP et du deuxième groupe de TP la valeur de « a » qu'ils ont trouvée par calcul après avoir tracé $u=f(t)$ en se servant des valeurs expérimentales prises en TP. Les élèves des deux groupes de TP ont trouvé la même valeur de « a » : $a = 0,044$.

1.1.2 Inscription « Charge d'un condensateur avec un générateur de courant »

Cette inscription se produit lorsque l'enseignant projette l'écran de Regressi. Elle dure neuf minutes et nous l'avons décomposée en cinq états d'inscription selon les buts (§ 3.2.2 de la méthodologie). Dans ce qui suit, nous développons les différents états de chaque inscription où nous précisons l'objectif de chacun d'état.

1.1.2.1 Etat 1 : calcul de la pente « a »

L'enseignant inscrit, à droite de la projection, la valeur de « a » obtenue par les élèves $a=0,044 V \cdot s^{-1}$. Il dit aux élèves : « *vous devez avoir présenté sur votre courbe en pointillé le point qui a servi pour calculer la pente* ».

L'enseignant explique aux élèves que la différence de valeur de a (valeur de « a » affichée par Regressi= $0,039$; valeur de « a » calculée = $0,044$) est due à deux raisons : (1) il a utilisé la carte d'acquisition pour trouver la valeur de « a », (2) « *il y a un petit décalage entre la courbe expérimentale et la courbe modélisée* » alors l'intensité délivrée par le générateur de courant n'est pas restée constante durant toute la période de l'acquisition.

Dans cet état d'inscription, l'enseignant a essayé d'expliquer que la différence entre la valeur de « a » donnée par Regressi et la valeur trouvée par les élèves en se servant des valeurs expérimentales est due probablement aux problèmes techniques (l'intensité n'est pas restée constante). L'enseignant a essayé de demander aux élèves de matérialiser en pointillé la façon utilisée pour trouver a comme Regressi le fait.

Nous considérons que les objets inscrits dans cet état d'inscription sont directement liés à la projection. L'enseignant a probablement planifié cela, car c'est un objectif de l'activité débriefé et clairement annoncé dès le début du débriefing.

1.1.2.2

Etat 2 : expression reliant la tension et la charge

L'enseignant appelle l'expression algébrique de la capacité ($q=C.u$). Il explique qu' « *on avait défini la capacité comme $q=C.u$. Cette formule-là est la définition de la capacité. J'ai la coutume de dire que cette formule là est la définition du modèle de la capacité* ». Il précise la nécessité de toujours tracer l'icône du condensateur à côté de l'expression algébrique. Sur l'icône, il faut signaler le sens de u et q sinon : « *ça n'a aucun sens d'écrire la formule si on n'a pas fait à côté un schéma où on dit ce qu'est q et u* ». En inscrivant l'icône du condensateur, l'enseignant parle de « la convention récepteur » et met une flèche « i » et une flèche portant le nom de « u » dans des sens opposés (figure 15).

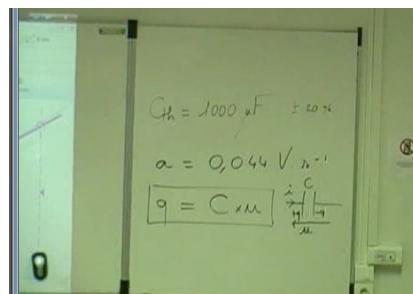


Figure 15 : Copie d'écran de l'état 2.

Dans cet état de l'inscription, l'enseignant met en lien deux registres sémiotiques situés dans le monde des théories et des modèles : le registre algébrique traduit par l'expression mathématique reliant q , c et u ($q=C.u$) et le registre symbolique (l'icône du condensateur ; les symboles C , i et q).

Cet état d'inscription est comme le précédent (§ 1.1.2.1). Il est probablement planifié dans l'activité de l'enseignant. Nous le considérons comme directement lié à la projection car l'enseignant visait à corriger et à répondre à ces questions ; ces questions figurent dans l'activité et apparaissent dans la fiche modèle. L'enseignant considère cette fiche comme « *un résumé de cours, un support pour la résolution des activités et pour réviser le chapitre d'électricité* »¹⁸.

1.1.2.3

Etat 3 : convention « récepteur » et convention « générateur »

L'enseignant poursuit le débriefing de l'activité 2. Il trace sur la surface de la projection l'icône d'un conducteur ohmique (figure 16). Il inscrit le sens de i (de gauche à droite) et de u (de droite à gauche). Il précise qu'indépendamment de la nature du dipôle à étudier « *cette tension là /il pointe u /, si le courant est comme ça /il pointe i /, cette tension est positive si le courant est effectivement comme ça... ça c'est qu'on appelle la convention récepteur* ». L'enseignant dit l'expression suivante : « *la tension aux bornes d'un condensateur* » signifie « *la tension aux bornes d'un condensateur en convention récepteur* ». L'enseignant change

¹⁸ Extrait de l'entretien au sosie.

ensuite de place par rapport au tableau, il revient à droite du tableau où il a déjà inscrit l'expression algébrique $q=C.u$ et précise « *que c'est bien avec cette convention qu'on travaille* ».

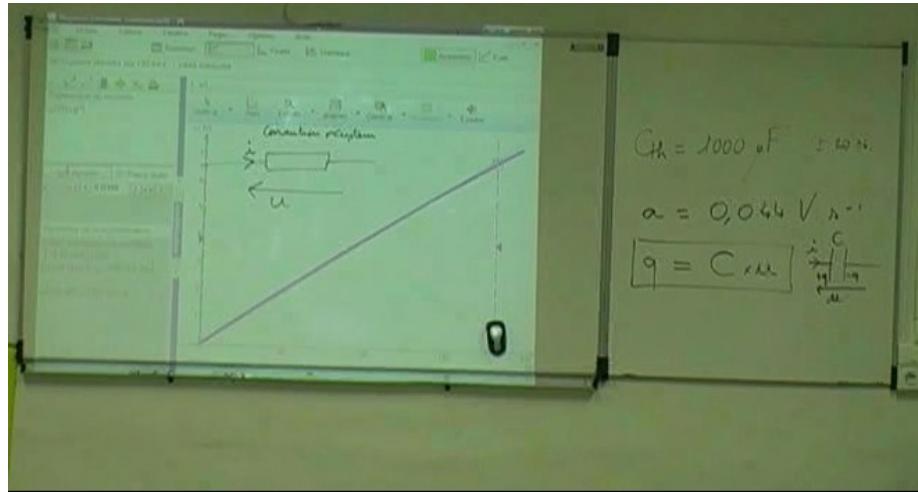


Figure 16 : Copie d'écran de l'état 3

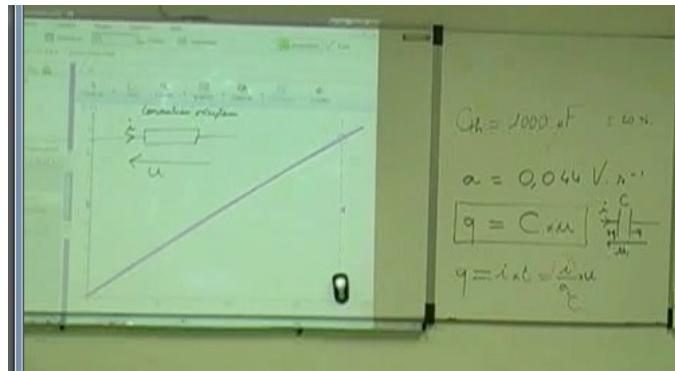
Dans cet état de la première inscription, l'enseignant a davantage insisté sur la signification de la convention « générateur » et de la convention « récepteur » précédemment évoquées. Cette explication multimodale avec les gestes et le registre symbolique (icône, symbole) sert à exprimer que la convention « récepteur » a lieu quand la tension aux bornes du condensateur (de la droite à gauche) est opposée à l'orientation du courant dans le circuit (de gauche à droite).

Les objets inscrits sont différents des autres états d'inscriptions développés ci-dessus. L'enseignant a inscrit les symboles car les élèves n'ont pas réagi à l'histoire de convention générateur et convention récepteur. Ces objets sont inscrits sur la surface de la projection contrairement aux précédents. L'enseignant les a réalisés sur l'autre bout du tableau avant de retourner à droite pour reprendre et continuer, ce qu'il nous semble, qu'il a planifié.

1.1.2.4

Etat 4 : expression de la capacité aux bornes de condensateur

L'enseignant « appelle » les conditions qu'ils ont vues dans l'activité 2 en TP et qui ont permis d'écrire $q=C.u$. Il inscrit $q=i.t$ (i est le débit de charge qui est constant) ; $q=iu/a$ L'enseignant pose ensuite $C=i/a$ comme rapport entre deux constantes (figure 17).



Par son discours multimodal qui appartient au monde des théories et des modèles, l'enseignant a :

- effectué une conversion entre le registre du langage naturel (q et u sont directement proportionnels) et le registre algébrique ($q=C.u$) ;
- effectué un traitement dans le registre algébrique pour déduire que $C=i/a$; c'est en comparant $q=i/a.u$ et $q=C.u$ qu'il a pu déduire l'expression algébrique de la capacité du condensateur (C) ;
- tissé des relations entre l'état 2 et cet état. Il précise que la définition de la capacité est $q=C.u$ alors que $C=i/a$ est une situation particulière qui dépend du générateur de courant.

Cet état d'inscription est de la même nature que les états d'inscriptions 1 et 2. Les objets inscrits sont réalisés dans la même place (à droite du tableau), ils sont directement liés à la projection car pour trouver $C=i/a$, les élèves peuvent se référer à une droite linéaire et non à une courbe qui évolue dans un modèle exponentielle.

1.1.2.5 *Etat 5 : calcul de la valeur expérimentale de la capacité du condensateur*

L'enseignant calcule la valeur de C avec un marqueur rouge. Il inscrit $C=i/a$ sur la surface de la projection ; il remplace « i » par la valeur ($50 \mu A$) et « a » par la valeur que les élèves ont trouvé ($0,044 V.s^{-1}$). La valeur de la capacité trouvée est $1,2 \cdot 10^{-3} F$ (figure 18). L'enseignant convertit la valeur de C obtenue en microfarad pour pouvoir la comparer à la valeur théorique de C qu'il a noté au tableau dès le début du débriefing de l'activité 2. Il déduit que la valeur trouvée appartient à l'intervalle $1000 \mu F$ ($[800 \mu F, 1200 \mu F]$). Tout ce qui est décrit constitue l'état 5 de la première inscription.

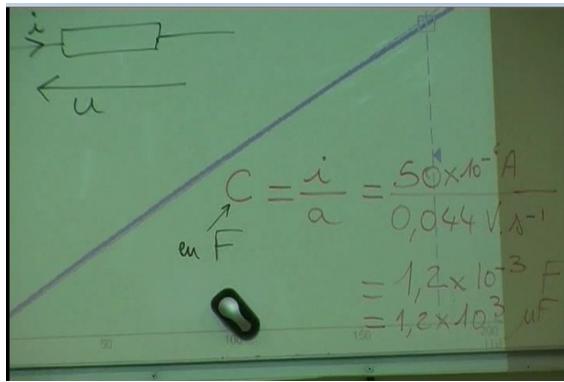


Figure 18 : Copie d'écran de l'état 5.

Dans cet état, l'enseignant a calculé la valeur expérimentale de C (en se servant de la valeur de « a » des élèves) et il l'a comparée avec la valeur théorique.

Par cette comparaison, l'enseignant met en relation les deux mondes de la modélisation. Il a montré la compatibilité entre les résultats obtenus dans chacun des deux mondes et il l'a exprimée par des expressions du langage naturel : « *oui, c'est bon* », « *on est pile poil* ». Un des critères permettant d'expliquer qu'il change de monde de modélisation est le changement de couleur du marqueur. Souvent, l'enseignant utilise le marqueur noir quand il a travaillé dans le monde des théories et des modèles dans tous les états d'inscriptions ci-dessus alors qu'il a changé de marqueur en utilisant le rouge pour calculer la valeur expérimentale de la capacité du condensateur. L'enseignant a tissé des relations entre le premier état d'inscription (valeur de a, valeur théorique de C) et l'état actuel.

Cette inscription est directement liée à la projection. L'enseignant avait planifié le calcul de la valeur de C en se servant de la valeur de a (état 2) trouvée par les élèves et la comparaison avec la valeur théorique. Les objets inscrits à la surface de la projection sont directement liés à la projection contrairement aux objets inscrits dans l'état 3 (§ 1.1.2.3). L'enseignant l'a réalisée sur la surface de la projection, faute de place sur le tableau.

1.1.3 Inscription « stockage des charges électriques opposées sur les armatures d'un condensateur »

Cette inscription a eu lieu lors de la projection d'un diaporama. Elle dure quatre minutes. Nous avons considéré qu'elle était constituée d'un seul état car l'enseignant n'a pas changé la projection. L'inscription a comme objectif « la charge des armatures du condensateur ». Nous l'analysons dans le paragraphe suivant.

L'enseignant projette un diaporama (figure 19) et dit : « *moi, ce qui m'intéresse est de voir ce qu'il passe si je charge le condensateur à courant constant, c'est l'expérience d'hier* ». Il explique que i est le débit de charges. L'enseignant explique que la présentation microscopique des charges aux bornes du condensateur se fait par les symboles des électrons (e^-) alors que la présentation macroscopique des charges se fait par les symboles $+q$ et $-q$. L'enseignant précise que : « *ce qui nous intéresse n'est pas ce qui se passe microscopiquement, macroscopiquement et on va noter qu'on a $-q$ et $+q$* ». Il inscrit ensuite

les symboles $+q$ et $-q$ aux bornes de l'icône du condensateur (figure 19) sur le schéma du circuit.

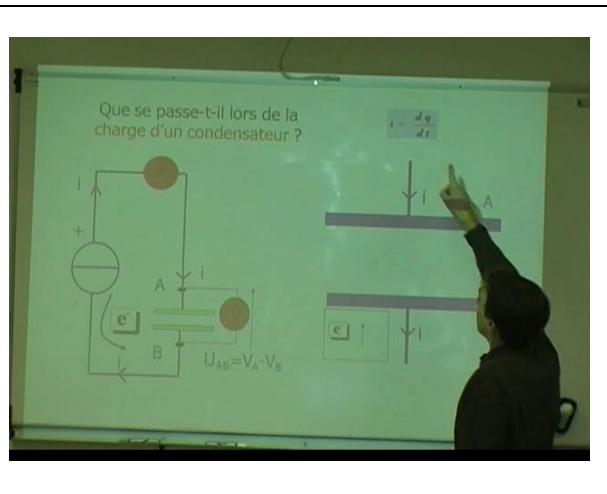
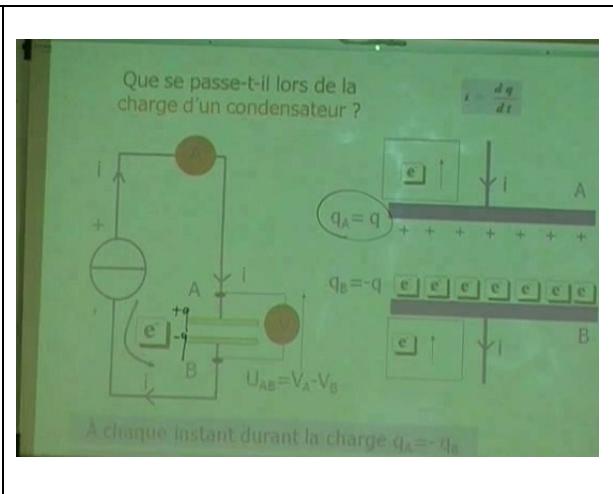
	
<p>Figure 19a : copie d'écran du diaporama projeté.</p>	<p>Figure 19b : copie d'écran du diaporama projeté après que l'enseignant a fait progressé l'animation ; nous visualisons les objets inscrits par l'enseignant.</p>

Figure 19 : Copie d'écran du diaporama projeté.

Comme nous l'avons signalé dans la méthodologie (§ 3.2.3 dans la partie méthodologie), le changement de la projection est un critère de la fin de la première inscription et du début de la deuxième inscription. L'enseignant projette un diaporama alors qu'il projetait l'écran de Regressi.

Dans cette inscription, l'enseignant a effectué explicitement :

- des liens à l'intérieur du monde des théories et des modèles ; des liens entre l'échelle macroscopique ($+q$ et $-q$) et l'échelle microscopique (e^- et e^+),
- des liens entre différents registres sémiotiques : une conversion entre le registre algébrique ($i=dq/dt$) et le registre du langage naturel (i c'est le flux de charge),
- une conversion entre les deux registres sémiotiques ci-dessus et le registre symbolique, présentation de charge sur les armatures du condensateur ($+q$ et $-q$).

Ces objets inscrits sont planifiés par l'enseignant. Il nous semble que l'enseignant a planifié l'inscription de ces objets à côté du schéma du circuit car lors de la progression de l'animation du diaporama, les symboles $+q$ et $-q$ s'affichent à côté de l'icône du condensateur, et car il a dit qu'il s'intéressait à la présentation de la charge au niveau macroscopique.

1.1.4 Conclusion du débriefing des connaissances de l'activité

Ce débriefing est riche en catégories d'articulation permettant de tisser des liens vers le passé et, plus précisément, des liens vers l'activité 2 et l'activité 3 (partie charge) que les élèves ont travaillé en TP dans une séance antérieure. L'enseignant a tissé des liens entre différents concepts de la séquence d'électricité.

Le débriefing de l'activité 2 contient deux inscriptions : une inscription lors de la projection de l'écran de Regressi et une inscription lors de la projection du diaporama.

Nous avons découpé la première inscription en cinq états d'inscription alors que la deuxième inscription contient un seul état.

Nous avons remarqué que le tissage n'est pas fait seulement au niveau du langage naturel mais aussi en mobilisant au moins un autre registre sémiotique. L'enseignant fait un geste professionnel qui se traduit par le tissage des liens entre différents registres sémiotiques d'une même inscription et entre les inscriptions.

Lors des inscriptions réalisées lors de la projection de l'écran du logiciel, il y a eu une mise en lien entre le monde des objets et des évènements et le monde des théories et des modèles.

Les états d'inscription ne sont pas tous de la même nature par rapport à la projection. Nous avons repéré deux types d'inscriptions : les inscriptions qui sont reliées à l'activité planifiée de l'enseignant et celles qui permettent d'apporter des informations supplémentaires par rapport à la projection et qui ne sont pas planifiées dans l'activité de l'enseignant.

1.2 Activité « charge et décharge d'un condensateur dans un dipôle RC »

L'enseignant a débriefé la partie charge de l'activité 3 deux fois : une première fois dans cette séance (2011_01_11) après le premier TP et une deuxième fois dans la sixième séance (2011_01_18) après la deuxième séance de TP.

Dans ce qui suit, nous allons commencer par une présentation de l'activité intitulée « *Suivi expérimental de la charge et de la décharge d'un condensateur à travers un conducteur ohmique ; dipôle RC* » (§ 1.2.1). Dans cette partie, nous décrivons le contenu de l'activité, le déroulement de l'activité en TP et l'introduction du déroulement effectif du débriefing de l'activité. Ensuite, nous présentons l'inscription qui porte sur la charge du condensateur avec un générateur de tension (§ 1.2.2). Nous finissons cette partie avec une conclusion sur ce débriefing (§ 1.2.3).

1.2.1 Présentation de l'activité

L'activité 3¹⁹ est composée de deux parties : charge et décharge.

Dans la partie charge : il est demandé aux élèves de réaliser un montage (figure 20), de brancher la carte d'acquisition permettant d'observer la tension u_C aux bornes du condensateur.

Ensuite, les élèves devront répondre à quatre questions : (1) indiquer le branchement de la carte d'acquisition sur le schéma, (2) reproduire l'allure de u_C , (3) transférer les données dans Regressi et les prises de valeurs numériques des paramètres du modèle données par Regressi, (4) effectuer de nouveaux enregistrements pour étudier qualitativement l'influence de R et C sur l'évolution de $U_C(t)$.

Pour la décharge : il est demandé de réaliser le circuit de la décharge et de répondre aux mêmes questions.

¹⁹ L'activité complète est en annexe 2.

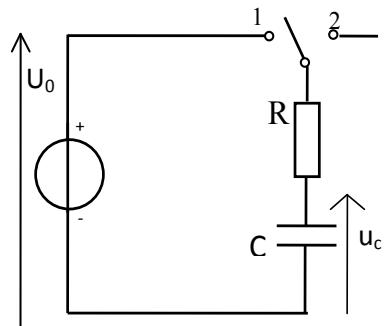


Figure 20 : Montage de l'activité 3 à réaliser dans le cas de la charge (position 1).

Pendant le TP, les élèves ont travaillé cette activité ; l'enseignant a demandé aux élèves de « *commencer à réaliser le montage de la partie charge de l'activité 3* ». L'enseignant projette une fiche de la carte d'acquisition pour que les élèves arrivent à effectuer correctement le montage (figure 21) et à brancher la carte d'acquisition. L'enseignant a répondu aux questions des élèves : « *il faut démarrer Regressi avant d'envoyer les données de ME vers Regressi* », « *régler correctement ME, cocher le mode permanent* ». Certains élèves ont réussi à répondre à toutes les questions de l'activité concernant la partie charge. D'autres n'ont pas réussi²⁰.

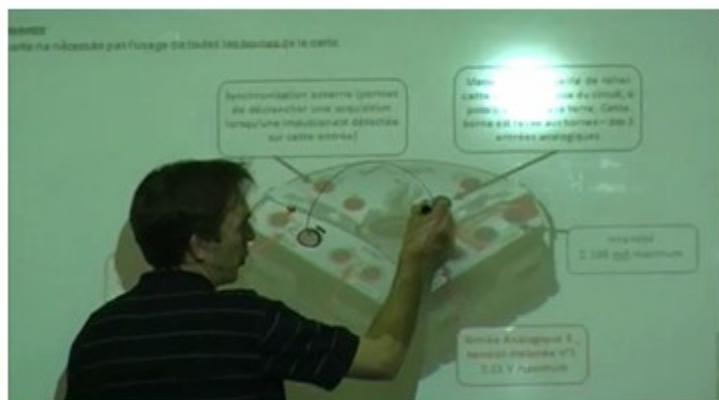


Figure 21 : Copie d'écran des objets inscrits lors de la projection de la carte d'acquisition.

L'enseignant annonce explicitement qu'il va commencer le débriefing de l'activité 3 : « *bon, activité 3 maintenant, on va la reprendre* ». Il projette un diaporama (figure 21) où il y a le schéma d'un circuit électrique et l'icône d'un condensateur. Il commence son discours sur la nature du générateur dans le circuit : « *attention cette fois on n'impose pas le courant comme ici, on impose la tension aux bornes. Vous voyez, une fois que l'on ferme l'interrupteur dans l'activité 3 (sauf que je n'ai pas mis un ampèremètre, j'ai mis interrupteur), on ferme l'interrupteur* /l'enseignant se met à côté du schéma du circuit et fait le geste de l'interrupteur où le symbole de l'ampèremètre est dans le circuit/ ».

²⁰ Nous pouvons savoir que tous les élèves n'ont pas réussi à achever de réaliser les tâches prescrites en fonction des questions des différents binômes ; deux binômes ont posé des questions en lien avec la partie 2 ou 3 de l'activité à la fin de la séance de TP.

Avant de commencer à analyser les états de l'inscription, nous analysons le discours de cette introduction et qui va aider à comprendre les inscriptions plus loin.

Le discours de l'introduction du débriefing de l'activité 3 fait appel à l'activité 2 où il a eu une utilisation d'un générateur de courant ; cet appel est effectué en utilisant le terme « ici » accompagné de la place de l'enseignant par rapport au tableau. Il nous semble que ce discours multimodal est significatif :

- au début de la deuxième séance de la séquence (2011_01_10), l'enseignant a débriefé l'activité 1 et a expliqué que la différence avec l'activité 2 est liée à la nature du générateur « *l'activité 2 est la seule activité avec un générateur de courant* ». Ce discours a été accompagné d'un schéma du circuit du dipôle RC avec un générateur de courant à droite du tableau blanc (figure 22). Par conséquent, le terme « ici » utilisé par l'enseignant quand il était à droite du tableau où il y avait des inscriptions du débriefing de l'activité 2 est en lien avec le schéma du circuit avec un générateur de courant ;



Figure 22 : Copie d'écran du premier TP (2011_01_10).

- l'enseignant « fait » le symbole de l'interrupteur avec un geste à la main, main un peu inclinée, (figure 23) ; il approche du circuit et imite le geste de l'interrupteur où il y a l'ampèremètre. Ce geste sert à expliciter les points communs entre le schéma du circuit projeté sur le diaporama et le circuit de l'activité 3 que les élèves ont travaillée en TP. L'enseignant adapte son discours qui accompagne le diaporama pour tisser des liens entre le schéma du circuit projeté et le schéma de l'activité 3 en cours de débriefing et qui n'est pas projeté. En effet, le schéma du circuit projeté contient quelques icônes supplémentaires par rapport au circuit de l'activité 3 : l'icône d'un ampèremètre, d'un voltmètre branché aux bornes du condensateur, le symbole d'un électron (e^-) avec une flèche qui va dans le sens opposé à la flèche de « i ». Le schéma de l'activité 3 contient un seul symbole qui n'est pas dans le circuit du schéma projeté : celui de l'interrupteur.

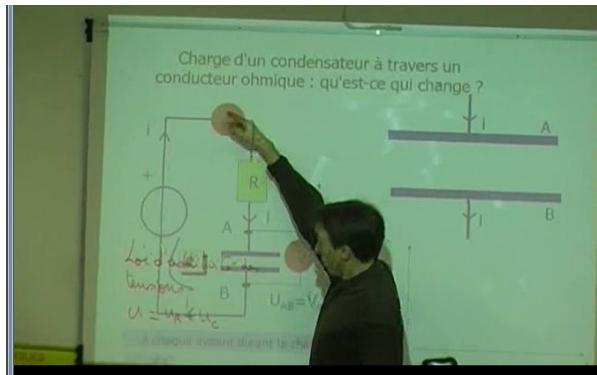


Figure 23 : L'enseignant fait le geste de l'interrupteur à la place de l'ampèremètre, il fait le geste à l'endroit exact où il y avait l'interrupteur dans l'activité 3.

Ce pointage avec la main et l'élémentarisation de l'interrupteur (figure 23) permettent de se focaliser sur une dimension particulière qui est la charge du dipôle RC. Étant donné que ce pointage a été « décontextualisé » d'une certaine façon et sans lien direct avec la charge du condensateur, cela a causé une certaine déstabilisation chez quelques élèves, ces derniers ont posé des questions sur l'interrupteur dans la prochain séance de TP (§ 1.3.1.2 page 144).

Cette décontextualisation accompagnée d'un schéma du circuit différent de l'activité 3 peut expliquer le fait que les élèves aient reposé des questions à l'enseignant sur la charge lors du travail du deuxième TP pendant que l'enseignant abordait la décharge d'un dipôle RC. Pour ces raisons, l'enseignant a re-débriefé cette activité dans une séance ultérieure.

1.2.2 Inscription « charge d'un condensateur avec un générateur de tension »

Cette inscription a été faite lors de la projection d'un diaporama. Nous avons découpé cette inscription en cinq états d'inscription. Nous allons décrire et analyser chaque état.

1.2.2.1 Etat 1 : branchement des interfaces pour mesurer la tension aux bornes d'un condensateur

L'enseignant appelle la tâche prescrite de l'activité 3 qui consiste à préciser, sur le schéma du circuit, le branchement de la carte d'acquisition « *je vous ai demandé hier, de noter comment a été branchée l'interface* ». Il inscrit une flèche et note « u » aux bornes du condensateur tout en expliquant qu'il y a plusieurs possibilités pour répondre à la question :

- la première : « *vous pouvez dire comme ça [voltmètre]* » ; il inscrit le terme « com » et le symbole « V » aux bornes du voltmètre ;
- la deuxième : « *vous pouvez brancher une carte d'acquisition ou un oscilloscope* » ; l'enseignant parle de ces deux appareils et en même temps, il alterne.

L'enseignant s'éloigne du tableau et s'approche de la table où il y a du matériel physique. Il manipule et dit qu' « *il faut indiquer sur le schéma le branchement la masse de la carte d'acquisition /il a à la main un fil électrique/ en noir qui correspond à la borne moins et /il montre un deuxième fil électrique dans l'autre main/ l'autre borne qui n'est pas la masse pour avoir la bonne tension* ». Ensuite, l'enseignant revient à la question qui consiste à

indiquer ce qu'il a montré aux élèves. L'enseignant précise tout en inscrivant qu'il faut indiquer : la place de « Y1 » accompagnée d'une flèche pour un oscilloscope ou « EA1 » pour une carte d'acquisition sur le schéma du circuit d'une part, et la place de « com » de la carte d'acquisition ou de la masse de l'oscilloscope d'autre part (figure 24).

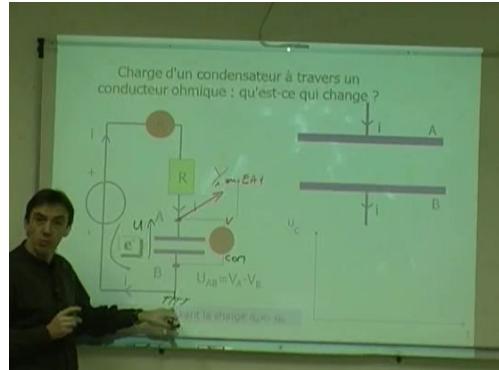


Figure 24 : Copie d'écran de l'état 1.

Dans cet état d'inscription, l'enseignant a parlé de trois appareils qui ne sont pas tous classiques (voltmètre, carte d'acquisition, oscilloscope et voltmètre) pour montrer la manière dont il faut brancher une interface pour mesurer la tension aux bornes d'un condensateur :

- pour le branchement du voltmètre, l'enseignant a effectué une conversion entre le registre du langage naturel et le registre symbolique ;
- pour le branchement de la carte d'acquisition, l'enseignant a mis en relation les deux mondes de la modélisation en réalisant l'expérience et en la présentant dans le registre symbolique (le monde des objets/des événements : condensateur, fil électrique, carte d'acquisition ; le monde des théories/des modèles : présentation du branchement à faire sur le schéma du circuit). L'enseignant a effectué une conversion entre le registre du langage naturel et le registre symbolique ;
- pour le branchement de l'oscilloscope, l'enseignant a effectué une conversion entre le registre du langage naturel et le registre symbolique.

Dans les deux dernières techniques (la carte d'acquisition et l'oscilloscope), l'enseignant a effectué également un traitement verbal dans le registre du langage naturel : le fil noir qui correspond à la borne moins, le noir est la masse, le fil rouge n'est pas la masse.

Nous considérons que les trois objets inscrits sont en lien direct avec la projection car l'enseignant a appelé la question posée dans l'activité de TP et qui consiste à montrer le branchement. Ces objets inscrits sont de même nature que les objets inscrits (§ 1.1.3 de ce chapitre) du point de vue de leur rapport direct à la projection.

1.2.2.2

Etat 2 : allure de u(t) lors de la charge du condensateur

L'enseignant fait avancer l'animation du même diaporama. Il appelle et inscrit l'allure du graphe de $u(t)$ après réalisation de l'expérience. De même, il inscrit l'asymptote sur la courbe et demande aux élèves à quoi correspond l'asymptote.

Après une réponse de la part d'un élève stipulant que l'asymptote correspond à U_{max} , l'enseignant reformule sa question et la pose de la manière suivante : « *quelle est la caractéristique commune entre l'asymptote et le montage ?* ». L'enseignant accepte la réponse d'une élève qui dit que l'asymptote est la tension aux bornes du générateur. Il inscrit avec un marqueur rouge une flèche à côté de l'icône du générateur dans le circuit sur le diaporama et l'appelle U_0 d'une part, et inscrit U_0 à coté de l'asymptote tracé sur le graphe de $u(t)$ d'autre part.

Dans cet état d'inscription, l'enseignant fait d'abord appel au registre graphique de $u(t)$. Ensuite, il effectue un tissage entre le schéma du circuit électrique faisant partie de l'état de l'inscription précédente et l'asymptote faisant partie de cet état d'inscription. Ce tissage est accompagné d'une conversion entre deux registres sémiotiques : le registre symbolique (U_0) et le registre graphique (l'asymptote).

Ces objets inscrits sont en rapport direct avec la projection car lors de la progression dans l'animation du diaporama, il a eu des axes de u et de t pour que l'enseignant trace l'allure de la courbe. Par conséquent, nous pouvons déduire que les objets inscrits à la surface de projection semblent être relié à l'activité planifiée de l'enseignant.

1.2.2.3

Etat 3 : allure de q(t) lors de la charge du condensateur

L'enseignant pose une question supplémentaire à l'activité qui consiste à tracer l'allure de $q(t)$ « *tiens, si je devais dessiner la charge au cours du temps, ça serait quoi, ça serait quelle allure ?* ». L'enseignant répète la réponse correcte d'un élève : « *il doit avoir la même allure que $u(t)$* ». L'enseignant explique en verbalisant que q et u sont proportionnelles car $q=C.u$ et inscrit l'allure de la courbe $q(t)$ à côté de la projection.

Dans cet état 3, l'enseignant a assuré une conversion entre deux registres sémiotiques : le registre du langage naturel (q et u sont proportionnelles) et le registre algébrique ($q=C.u$). En outre, l'enseignant a tissé des liens entre cet état d'inscription et l'état précédent dans le registre graphique (l'allure de $u(t)$ est la même que l'allure de $q(t)$).

Nous considérons que cet état d'inscription hors de la surface de projection est de différente nature que la précédente ; ces objets inscrits ont apporté des informations supplémentaires et complémentaires à ce que l'enseignant avait prévu de travailler durant le débriefing ; le marqueur langagier « *tiens ...* » avec la tonalité renforce l'idée que l'enseignant n'avait pas prévu de répondre à cette question.

1.2.2.4

Etat 4 : allure de $i(t)$ lors de la charge du condensateur

L'enseignant pose une deuxième question supplémentaire « quelle est l'allure de $i(t)$? ». Il demande aux élèves l'expression de l'intensité. Ensuite, il écrit $i = dq/dt$; l'enseignant répète et reformule l'expression $i = dq/dt$ de la façon suivante : « i c'est la dérivée de la courbe du dessus, donc ça varie d'une façon inverse c'est-à-dire que « i » est grande au départ /il montre la première moitié de la courbe $q(t)$) et de plus en plus faible /il pointe la deuxième moitié de la courbe de $q(t)$ / ». L'enseignant inscrit d'abord l'allure de $i(t)$ à côté de la projection et au-dessous de $q(t)$, ensuite l'expression algébrique de i (figure 25).

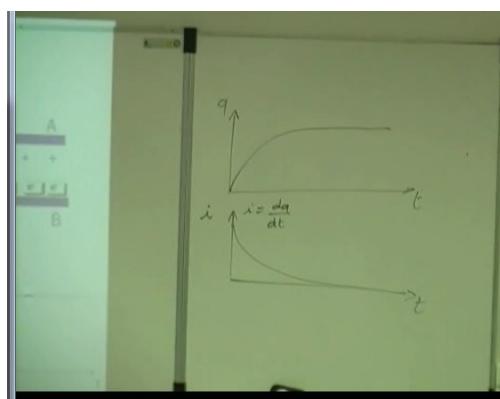


Figure 25 : Copie d'écran de la partie droite du tableau où nous visualisons deux inscriptions : $q(t)$ et $i(t)$.

Dans cet état d'inscription, les objets inscrits appartiennent à deux registres sémiotiques : le registre algébrique et le registre graphique. L'enseignant a effectué une conversion entre ces deux registres.

Par ailleurs, l'enseignant a effectué une conversion entre le registre algébrique « $i = dq/dt$ » de cet état d'inscription et l'état précédent constitué du registre graphique « i c'est la dérivée de la courbe du-dessus, donc ça varie d'une façon inverse ». Lors de la présentation graphique de $i(t)$, l'enseignant utilise un discours multimodal, il fait des gestes, pour comparer l'allure de la variation de $i(t)$ et $q(t)$ dans le même registre graphique.

Nous considérons que cet état d'inscription a apporté des informations supplémentaires et complémentaires à ce que l'enseignant avait planifié ; en effet, l'enseignant a dit aux élèves que l'allure de $i(t)$ est une question supplémentaire à l'activité. En outre, les connaissances qui sont impliquées dans cet état d'inscription ont une continuité avec l'état d'inscription précédent.

1.2.2.5

Etat 5 : effet de variation de R et de C sur tau dans le cas de la charge du condensateur

L'enseignant revient au deuxième état d'inscription de $u(t)$, § 1.2.2. Il trace en pointillé, sur le même graphe, l'allure des courbes obtenues lors de l'augmentation de la valeur de R et de C

dans le cas de la charge du condensateur (figure 26). L'enseignant « appelle » qu'en TP un groupe de deux a réussi à observer l'effet des variations de ces deux paramètres sur les allures de $u(t)$: « si C augmente ça va à la même limite que C plus grand, si R augmente, c'est également plus long /il fait le geste d'une courbe qui va mettre plus de temps pour arriver à l'asymptote/ ».

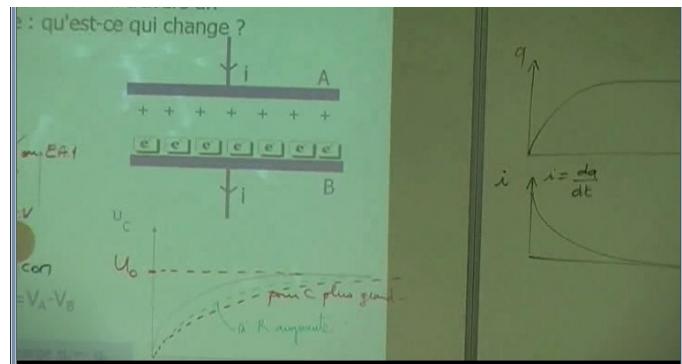


Figure 26 : Copie d'écran de l'état 5.

Dans cet état 5, l'enseignant a effectué une conversion entre le registre du langage naturel et le registre graphique. Il a tracé en pointillé et au marqueur rouge l'allure des courbes dans le cas où « C » augmente et compare l'allure de cette courbe à celle déjà tracée de $u(t)$ lors du deuxième état d'inscription. Il trace, au marqueur vert, l'allure de la courbe lors de l'augmentation de la valeur de « R ». L'enseignant a comparé, alors, dans le même registre, l'effet de l'augmentation de R et de C sur l'allure des courbes.

De cette manière, l'enseignant a effectué une mise en relation entre la deuxième inscription où il a tracé l'allure de $u(t)$ et cette inscription par le registre graphique.

Cet état d'inscription est en rapport direct avec la projection car cette question est posée dans l'activité et l'enseignant a prévu y répondre.

1.2.3 Conclusion du débriefing des connaissances de la partie charge du condensateur

Le débriefing de l'activité 3 est constitué d'une seule inscription : celle de la projection du diaporama. Cette dernière est découpée en cinq états dont la majorité est directement liée à la projection. Les deux états d'inscription ne sont pas dans la surface de la projection. Nous nous demandons ainsi si les inscriptions en dehors de la surface de la projection sont liées à la projection. Nous allons essayer d'apporter des éléments de réponse à cette question.

Nous pouvons remarquer que le débriefing est riche en catégories d'articulation non seulement vers le passé mais aussi des articulations vers le futur ; le tissage renvoie à différents moments de la séquence.

Dans ce débriefing, l'enseignant a effectué des inscriptions non seulement pour résoudre des questions de l'activité 3 mais aussi pour résoudre des questions supplémentaires à l'activité : les questions qui ne sont pas planifiées par lui à l'avance.

Par un discours multimodal, l'enseignant a effectué : des conversions entre des registres sémiotiques d'un même état d'inscription et entre les états d'inscription, du tissage entre les inscriptions et des mises en relation entre les deux mondes de modélisation.

1.3 Re-débriefing des connaissances de l'activité « charge et décharge d'un condensateur »

Les élèves ont travaillé sur l'activité 3 pour la première fois dans la deuxième séance (2011_01_10) et l'enseignant l'a débriefée pour la première fois dans la séance de cours qui a suivi le TP, (2011_01_11). Cette activité a été re-débriefée une deuxième fois dans la sixième séance (2011_01_18) après la cinquième séance de TP (2011_01_17) où les élèves ont travaillé la partie décharge de l'activité 3.

Lors du débriefing de l'activité 3, l'enseignant a essayé de compléter la deuxième partie de la fiche modèle du dipôle RC. Le débriefing de l'activité 3 porte sur la partie charge et sur la partie décharge car l'enseignant a constaté , lors du deuxième TP, (2011_01_17) que les élèves n'avaient pas bien assimilé ce qu'ils avaient travaillé dans la première partie de l'activité 3.

L'enseignant projette le même diaporama qu'il a projeté lors du premier débriefing de l'activité 3 (figure 19 a).

Dans ce qui suit, nous commençons par une présentation de deux inscriptions, la première porte sur la charge d'un condensateur avec une tension constante (§ 1.3.1) et la deuxième inscription porte sur la décharge d'un condensateur (§ 1.3.2). Nous finissons cette partie avec une conclusion (§ 1.3.3).

1.3.1 Inscription « charge d'un condensateur avec un générateur de tension »

Cette inscription a été faite de la projection d'un diaporama. Nous l'avons découpée en sept états d'inscription en fonction des buts. Nous détaillons chaque état dans les paragraphes suivants.

1.3.1.1 Etat 1 : la tension aux bornes d'un générateur de tension (U) est constante

L'enseignant inscrit le symbole U et une flèche, à côté du générateur de tension, sur le schéma du circuit projeté.

Nous disons que l'enseignant a ajouté « la flèche » car, juste avant de commencer le débriefing, il était en train d'expliquer l'usage des lettres majuscules et minuscules en électricité. Les symboles avec des lettres majuscules sont utilisés pour les grandeurs constantes (U pour la tension aux bornes du générateur, R pour la résistance aux bornes d'un conducteur ohmique) alors que les symboles en minuscules sont utilisés pour les grandeurs dépendant du temps.

Cette inscription de la lettre U en majuscule peut renforcer l'idée que : (1) la tension délivrée aux bornes du générateur de tension est constante, (2) la valeur de l'asymptote lors de la charge du condensateur est égale à la valeur de la tension délivrée par le générateur. Cette

information peut aider l'élève qui a posé la question sur l'influence de U_0 et I_0 sur la rapidité de la charge du condensateur à surmonter ses difficultés.

Cet objet inscrit sur la surface de la projection est directement lié à la projection comme l'état du § 1.2.2.1.

1.3.1.2 *Etat 2 : schéma du circuit d'un dipôle RC*

L'enseignant trace le schéma du circuit de l'activité 3 dans le cas de la charge du dipôle RC à côté de la projection en disant : « *hier en discutant avec certains en mi-classe, je me suis rendu compte que pour vous ça n'était pas trop clair lorsqu'on basculait l'interrupteur. Il faut bien comprendre que quand on bascule l'interrupteur en position 1 comme je l'ai appelé dans l'activité 3/ l'enseignant trace le circuit de l'activité 3 dans le cas de la charge/, le schéma il faut le connaître par cœur* ». Il compare ensuite le circuit projeté sur le diaporama et le circuit tracé : « *sur le circuit projeté, j'ai juste ajouté un ampèremètre et un voltmètre* » (figure 27). L'enseignant fait un appel au rôle du voltmètre qui permet de relever la tension aux bornes du condensateur.

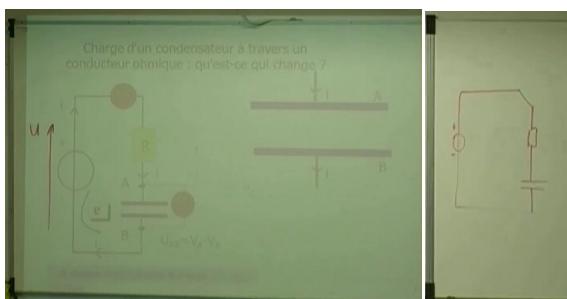


Figure 27 : Copie d'écran de l'état d'inscription.

Dans cet état 2 de l'inscription, l'enseignant inscrit le schéma du circuit que les élèves ont travaillé en TP à côté du schéma du circuit projeté. Cela permet de voir les similitudes entre les deux circuits présents simultanément au tableau blanc. Il permet de voir que l'ampèremètre et le voltmètre ne changent rien au circuit.

Nous pouvons dire que lors du premier débriefing, l'enseignant s'est contenté du circuit projeté et n'a pas retracé le circuit de l'activité 3. Cette présence simultanée de deux schémas pour un même circuit offre aux élèves la possibilité de visualiser la similitude et la différence entre les deux schémas du circuit.

Les objets inscrits sont directement liés à la projection. Nous supposons que l'enseignant avait planifié de tracer ce circuit à côté de la projection pour montrer la similitude et la différence entre ces deux circuits afin de répondre aux questions des élèves dans le TP précédent.

1.3.1.3 *Etat 3 : allure de $u(t)$ lors de la charge d'un condensateur*

L'enseignant trace au marqueur rouge l'allure de $u(t)$ sur la surface de la projection à côté du circuit projeté et en-dessous de l'icône condensateur (figure 28). Il trace l'asymptote et note à côté « U ». L'enseignant reparle de la fiche modèle, il demande aux élèves de tracer l'allure de $u(t)$ et de nommer les axes dans la fiche.

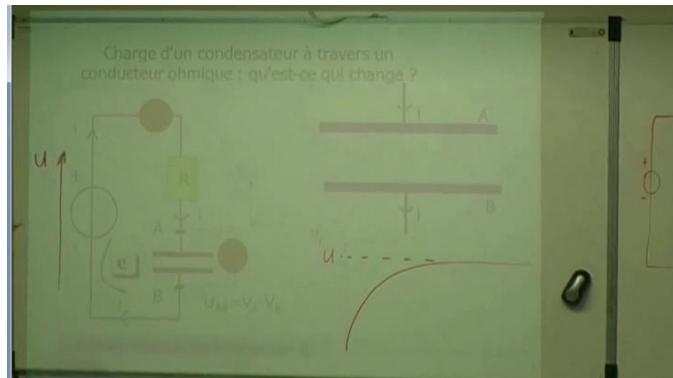


Figure 28 : Copie d'écran de la sixième séance (2011_01_18).

Dans cet état d'inscription, l'enseignant a tissé des liens entre cet état d'inscription et le premier état (§ 1.3.1.1). Ce tissage assure une conversion entre le registre graphique (asymptote) et le registre symbolique (U).

Nous considérons que cet état d'inscription est directement lié à la projection. L'enseignant avait prévu de tracer l'allure de la droite car sur le diaporama projeté, il y a déjà l'axe des abscisses (t) et des ordonnées (u).

1.3.1.4 Etat 4 : techniques graphiques pour déterminer la valeur de tau

L'enseignant propose aux élèves qui le souhaitent, d'ajouter des informations supplémentaires sur τ . Il inscrit sur la courbe de $u(t)$, deux techniques graphiques pour déterminer la valeur de τ (figure 29) : (1) méthode des tangentes « *que Regressi trace dès qu'il calcule le modèle pour trouver tau* » et (2) méthode de $0,63U$.

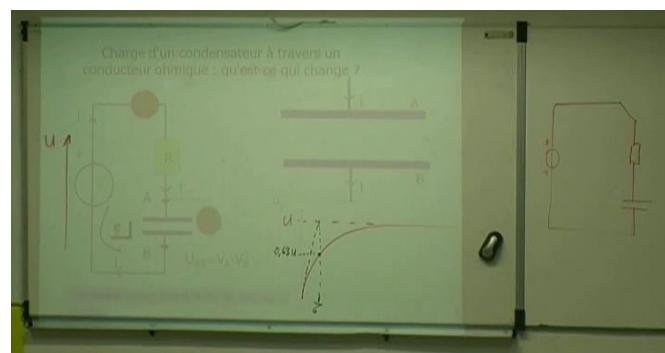


Figure 29 : Copie d'écran de l'état 4.

Dans cet état de l'inscription, l'enseignant fait un lien entre la méthode des tangentes et la façon dont Regressi procède pour calculer τ . De cette façon, l'enseignant tisse des liens entre les techniques graphiques classiques et la procédure utilisée par Regressi pour trouver la

valeur de tau, indépendamment de la cohérence du discours (nous l'avons abordé dans le chapitre précédent).

De même, l'enseignant a effectué une conversion entre : (1) l'expression algébrique $0,63U$ et sa représentation graphique et (2) la méthode des tangentes et ses représentations graphiques.

Nous pouvons dire que ces objets inscrits sur la surface de la projection sont supplémentaires à l'activité 3 et à la fiche modèle. Lors de ces inscriptions, l'enseignant a changé la couleur du marqueur et a signalé que ce n'était pas obligatoire d'ajouter ces savoirs enseignés, il a exprimé : « *si vous souhaitez ajouter au moins une technique pour déterminer tau* ».

1.3.1.5 *Etat 5 : équation différentielle aux bornes d'un dipôle RC, cas de la charge*

L'enseignant inscrit l'équation différentielle du dipôle RC lors de la charge du condensateur. Il inscrit à côté de l'icône résistance dans le schéma du circuit, l'expression algébrique de la tension en fonction de U_C pour écrire la loi d'additivité des tensions. L'enseignant avait évoqué la loi d'additivité des tensions et l'avait inscrit avant l'équation différentielle suite à la question d'un élève (figure 30).

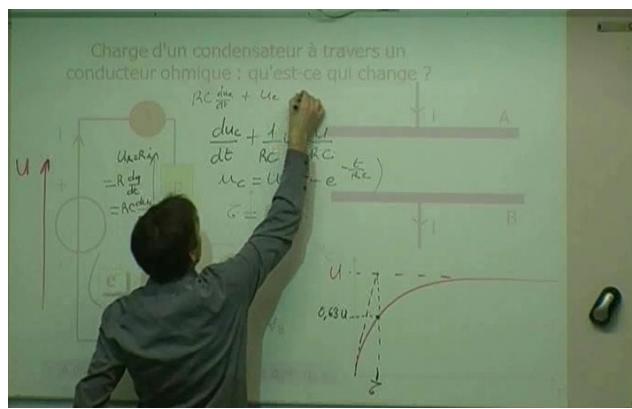


Figure 30 : Copie d'écran de l'état 5.

Dans cet état d'inscription, l'enseignant a tissé des relations entre le schéma du circuit tracé et l'expression algébrique de la loi d'additivité des tensions. Il a utilisé d'abord un discours multimodal pour exprimer oralement que la loi d'additivité des tensions n'est que la tension aux bornes de la résistance ajouté à la tension aux bornes du condensateur. Cette somme est égale à la tension (U) aux bornes du générateur. Ensuite, l'enseignant a écrit les expressions algébriques pour répondre à cette même question posée par un élève.

L'enseignant a effectué une conversion entre l'expression algébrique aux bornes d'un conducteur ohmique et son icône dans le schéma du circuit. De même, l'enseignant a effectué un traitement dans le registre algébrique pour écrire l'expression de la tension aux bornes de la résistance en fonction de U_C .

Les objets inscrits sur la surface de la projection nous semblent planifiés par l'enseignant ; il a dit au début du débriefing qu'il allait suivre un ordre défini et que cette étape était la dernière.

Il ajoute : « donc, maintenant il nous reste à écrire l'équation différentielle pour compléter le modèle ».

1.3.1.6

Etat 6 : charges aux bornes des armatures du condensateur

L'enseignant a exprimé qu'il allait développer les connaissances : « eh bien, j'en dis un peu plus ». Il inscrit le symbole de charge (+q et -q) sur l'icône du condensateur (figure 31). Ensuite, il rappelle que l'allure de la courbe de charge varie de la même façon que $u(t)$ car u et q sont proportionnels ; l'enseignant fait le geste de l'allure de $q(t)$ et ne trace pas la courbe.

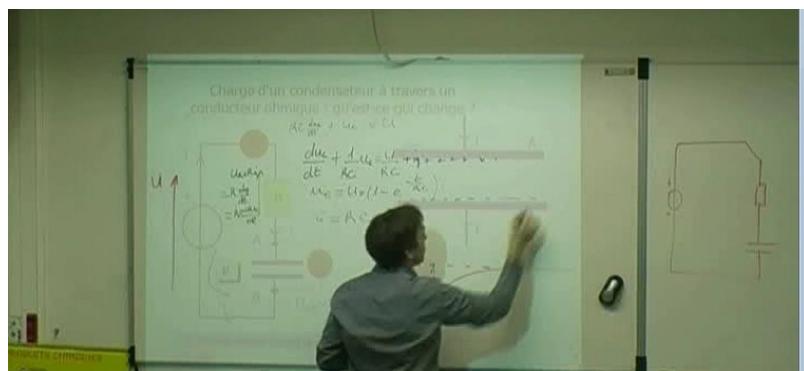


Figure 31 : Copie d'écran de l'état 6.

Dans cet état 6, l'enseignant a tissé des relations entre cet état d'inscription et l'état précédent par des gestes ; il s'est contenté du geste de l'allure de $q(t)$ contrairement au premier débriefing où il a tracé la courbe. Ces gestes ont également facilité la réalisation d'une conversion entre le registre du langage naturel et l'allure de la courbe.

Nous considérons que les objets inscrits dans cet état ne sont pas directement liés à la projection pour deux raisons :

- dans une précédente projection +q et -q étaient marqués sur les diapositives ; ca sera le cas ultérieurement mais ce n'est pas le cas ici ;
- au début de cet état d'inscription, un marqueur langagier nous indique qu'il va développer un peu plus : « eh bien, j'en dis un peu plus ».

1.3.1.7

Etat 7 : allure de $i(t)$ lors de la charge d'un condensateur

L'enseignant rappelle aux élèves la nécessité de savoir tracer $i(t)$ car cette question se répose régulièrement dans les exercices. Il inscrit l'allure de la courbe de $i(t)$. Il écrit l'expression de $i=dq/dt$ et explique que i varie d'une façon proportionnelle à la dérivée de la courbe de $u(t)$. L'enseignant pointe la courbe $u(t)$ et explique que : « la dérivée de cette courbe commence par une valeur élevée, elle devient de plus en plus faible pour finir par zéro ; elle est très forte au début / pointe $u(t)$ / » ; il précise le point de départ sur $i(t)$ et trace la courbe.

Dans cet état, l'enseignant a tissé des relations entre cet état d'inscription et l'état précédent de $u(t)$ en exprimant dans le registre du langage naturel que l'allure de $i(t)$ est proportionnelle à la dérivée de la courbe de $u(t)$. Par ce tissage, l'enseignant a effectué une conversion entre le registre du langage naturel et le registre graphique. Il a également effectué une conversion entre le registre algébrique ($i = dq/dt$) et le registre graphique (allure de $i(t)$).

Nous considérons que cet état d'inscription est directement lié à la projection contrairement au premier briefing où nous avons considéré que l'inscription de $i(t)$ est complémentaire à la projection. En effet, nous considérons que l'enseignant a développé des connaissances, qu'il y a eu beaucoup d'interaction entre le premier briefing à la troisième séance de la séquence et le deuxième briefing à la sixième séance de la séquence. Nous ajoutons que l'enseignant a suivi le même ordre pour tracer $i(t)$; il a d'abord parlé de $u(t)$ ensuite de $q(t)$ pour arriver à $i(t)$. Nous pouvons ainsi déduire que ces objets inscrits semblent être planifiés par l'enseignant dans le deuxième briefing et non pas forcément dans le premier briefing.

1.3.2 Inscription « décharge d'un condensateur »

Cette inscription était faite lors de la projection d'un diaporama pour débriefer les connaissances portant sur la décharge du condensateur. Nous l'avons découpée en cinq états d'inscription. Nous détaillons chaque état ci-après.

1.3.2.1

Etat 1 : schéma du circuit de la décharge d'un dipôle RC

L'enseignant explique qu'il va travailler la partie décharge. Il revient au circuit déjà tracé (deuxième état de la première inscription) et inscrit le circuit lors de la décharge (figure 32). L'enseignant explique que le générateur n'a aucun rôle lors de la décharge et efface ainsi une partie du circuit (figure 33). L'enseignant change ensuite la projection et efface une partie du tableau ; il a laissé sur la nouvelle projection l'allure de $u(t)$ lors de la charge.

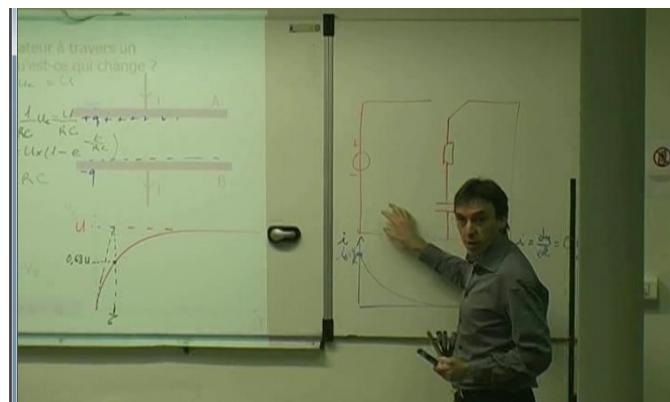
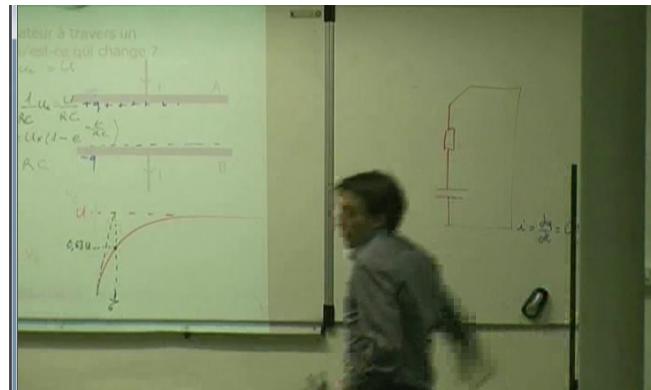


Figure 32 : Copie d'écran du début de l'état 1.



Dans cet état, le changement de la projection du diaporama est un critère de début d'une deuxième inscription. L'objet inscrit a permis de tisser le lien entre l'état 2 de la première inscription (§ 1.3.1.2) et cette inscription ; l'enseignant a dit qu'il suffit de changer la position de l'interrupteur et d'ajouter un fil électrique pour décharger (court-circuiter) le condensateur. L'enseignant inscrit le symbole du fil. De cette façon, l'enseignant a effectué une conversion entre le schéma et le registre du langage naturel. Par cette conversion, l'enseignant a offert aux élèves la possibilité de voir non seulement la charge mais également la décharge d'un condensateur dans un même circuit.

L'inscription d'une partie du circuit avant le changement du diaporama de quelques secondes n'est pas significatif ; ces objets inscrits sont en rapport direct avec la projection du nouveau diaporama qui est arrivé douze secondes après les objets inscrits.

1.3.2.2

Etat 2 : équation différentielle lors de la décharge d'un dipôle RC

L'enseignant commence à inscrire l'équation différentielle lors de la décharge et demande aux élèves de compléter la fiche modèle. L'enseignant ajoute les expressions algébriques de la tension à côté de chaque icône dans le schéma du circuit de la décharge pour répondre à la question d'un élève : « *comment il a écrit la loi d'additivité des tensions (figure 34) ?* ».

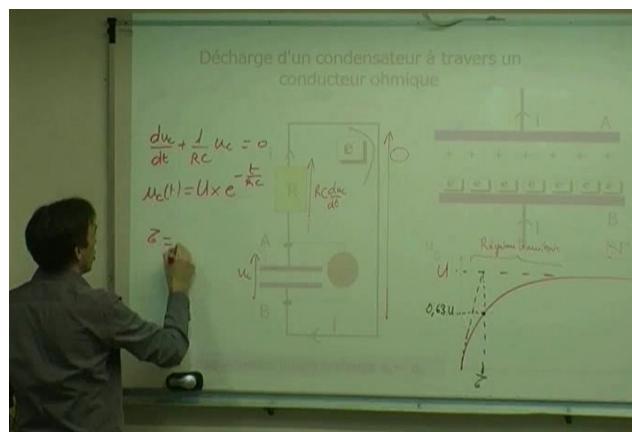


Figure 34 : Copie d'écran de l'état 2.

Dans cet état, l'enseignant a effectué une conversion entre le registre du langage naturel qu'il a utilisé pour expliquer la loi d'additivité des tensions lors de la décharge et le registre algébrique.

Ces objets inscrits sont directement liés à la projection, l'enseignant semble avoir prévu de répondre à l'objectif de connaître l'expression de U_C lors de la décharge et de compléter la fiche modèle ; en effet, dès le début de la séance, il a demandé aux élèves de sortir leur fiche modèle pour la compléter au fur et à mesure qu'il progresse dans la séance.

1.3.2.3

Etat 3 : allure de $u(t)$ lors de la décharge du condensateur

L'enseignant efface la courbe de $u(t)$ lors de la charge du condensateur et inscrit l'allure de $u(t)$ lors de la décharge (figure 35).



Figure 35 : copie d'écran de l'état 3.

Cet état d'inscription est directement relié à la projection, l'enseignant avait prévu de tracer cette courbe pour que les élèves complètent leurs fiches modèles ; il est demandé dans cette fiche de tracer l'allure de $u(t)$.

1.3.2.4

Etat 4 : allure de $i(t)$ lors de la décharge du condensateur

L'enseignant explique que dans le circuit sur le diaporama, le courant circule dans un sens/il fait un geste pour indiquer le sens du déplacement du courant/. Il passe au circuit qu'il a inscrit à côté de la projection (état 1 de la deuxième inscription), dessine une flèche pour indiquer le sens de i : le sens est différent du sens sur le circuit projeté. Mais le but, selon l'enseignant, est « *de ne pas changer les écritures de l'équation différentielle* » (état 2 de la 2^{ème} inscription, § 2.1.2.1).

Ensuite, l'enseignant a parlé et a inscrit les symboles $+q$ et $-q$ aux bornes de l'icône du condensateur et il a continué de parler du sens de circulation des charges et des électrons ; il inscrit le symbole de l'électron et de la charge sur le circuit (figure 36). L'enseignant continue son discours tout en inscrivant dans le registre du langage naturel : « *si « i » est négative alors le courant circule dans le sens opposé au sens indiqué sur le schéma* ». Il explique que « *« i » était positive dans le cas de la charge et négative dans le cas de la décharge* ». Par conséquent, l'enseignant demande aux élèves de toujours se demander s'ils ont précisé « i » sur le schéma du circuit.

L'enseignant dit que : « si je garde les mêmes orientations [orientation de « i » et de u sur le schéma du circuit sur le diaporama] ainsi $i = dq/dt$; pour trouver « i » il suffit de dériver « u_c ». Il trace l'allure de $i(t)$ lors de la décharge. L'enseignant interprète la courbe $i(t)$; il explique que : « le courant est tout le temps négatif. Il part de très bas ça signifie qu'il se décharge très vite au départ ». L'enseignant souligne que « i » est toujours la dérivée de la charge en rappelant que « i » est le débit des charges.

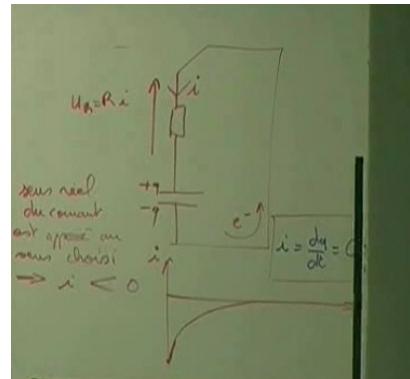


Figure 36 : Copie d'écran de l'état 4.

Dans cet état d'inscription, les objets inscrits sont très riches. Dans le but de tracer $i(t)$, l'enseignant a :

- tissé une relation entre le schéma du circuit projeté et le schéma du circuit qu'il a inscrit ; l'enseignant voulait toujours travailler en convention « récepteur » c'est-à-dire écrire les expressions algébriques des différents composants du circuit en convention récepteur ;
- effectué une mise en relation entre la grandeur macroscopique (q) et la grandeur microscopique (i) dans le monde des théories et des modèles ;
- effectué un traitement dans le registre du langage naturel en parlant du sens réel du courant, et de son orientation sur le schéma du circuit. L'enseignant demande aux élèves de toujours réaliser une conversion entre le symbole « i » et l'orientation sur le schéma du circuit ;
- tissé une relation entre la première inscription (charge) et cette inscription (décharge) en utilisant le registre symbolique « « i » était positive dans le cas de la charge et négative dans le cas de la décharge » ;
- tissé une relation par le registre du langage naturel, le troisième état de cet état de la même inscription « il suffit de dériver $u(t)$ pour trouver $i(t)$ ». L'enseignant a ensuite effectué une conversion entre le registre du langage naturel et le registre graphique.

Même si nous n'avons pas de marqueur langagier ou de geste permettant de préciser si les objets inscrits dans cet état d'inscription sont directement liés ou pas à la projection, nous considérons que cet état d'inscription est directement lié à la projection car à chaque fois, (dans les débriefings précédents) que l'enseignant trace $u(t)$ il continue pour tracer $i(t)$.

1.3.2.5

Etat 5 : loi d'ohm, convention « générateur » et « récepteur »

L'enseignant répond à la question d'un élève sur l'expression $U = + RI$ ou $U = - RI$. L'enseignant explique que $U = R.I$ que les élèves ont appris depuis longtemps, a une chance sur deux que $U = + R.I$ ou $U = - R.I$ en fonction du sens de « i ». Pour cela, il a inscrit l'icône du conducteur ohmique sur la surface de la projection, inscrit les symboles de u et de i en disant que $U = R.I$; l'enseignant précise que l'autre, c'est quand on met le courant dans le sens opposé à ce que nous avons mis (l'enseignant change le sens de « i » sur le schéma du circuit, figure 37). L'enseignant change de projection et commence à résoudre une autre activité.

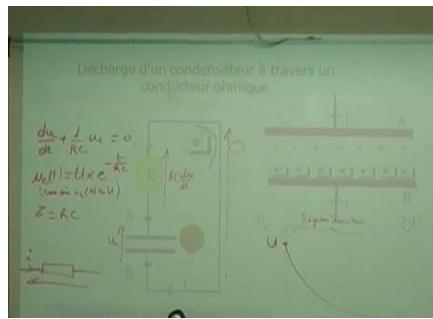


Figure 37 : Copie d'écran de l'état 5.

Dans cet état d'inscription, l'enseignant a mobilisé un discours multimodal pour répondre à la question de l'élève. En effet, l'enseignant a effectué :

- une conversion entre le registre du langage naturel et le registre algébrique « *si je mets le courant alors $U = -RI$* » ;
- une conversion entre le registre symbolique et le registre algébrique ; l'icône de la résistance et l'expression algébrique de la loi d'ohm.

Ces objets inscrits dans cet état d'inscription ne sont pas directement liés à la projection car l'enseignant les a inscrits pour répondre à la question d'un élève ; ces objets n'auraient pas été inscrits si l'élève n'avait pas posé la question.

1.3.3 Conclusion du débriefing des connaissances de l'activité « charge et décharge d'un condensateur »

L'enseignant a adapté son discours aux difficultés constatées par les élèves en (re) débriefant l'activité 2 et en réalisant une inscription spécifique : il a tracé le circuit projeté. Le débriefing de la partie charge est constitué d'une seule inscription lors de la projection d'un diaporama. Cette inscription est décomposée en sept états. Certains des objets inscrits dans les états d'inscription sont directement liés à la projection, d'autre non. Nous avons mis en évidence qu'un état d'inscription peut passer d'une qualification de type non lié à la projection, à une qualification de type direct par rapport à la projection. Ce changement de type de nature de qualification, de l'état d'inscription, a été mis en évidence non pas par un marqueur langagier, mais par des répétitions de connaissances ; cette répétition dans deux débriefings différents pour une même activité laisse comprendre que l'enseignant avait prévu d'inscrire ces objets ; ce critère de planification est difficile à mettre en œuvre s'il n'est pas accompagné d'un marqueur langagier dans le discours de l'enseignant.

Nous n'avons, dans aucun état de cette inscription, une mise en relation entre les deux mondes de modélisation, telle qu'observée lors de la projection de l'écran du logiciel (§1.1.4). Nous nous demandons alors si la projection de l'écran des logiciels facilite la mise en relation des deux mondes de modélisation.

En ce qui concerne le débriefing de la partie décharge, il est constitué d'une seule inscription que nous avons décomposée en cinq états. L'enseignant a mobilisé un discours multimodal pour mettre en lien différents registres sémiotiques, différents états d'une même inscription et des états de différentes inscriptions.

Les états d'inscription sont de deux types : certains sont directement liés à la projection, d'autres sont complémentaires. Nous supposons que les objets inscrits qui sont planifiés par l'enseignant sont directement liés à la projection tout en étant conscient que ce critère est difficile à appliquer sans avoir de marqueurs langagiers explicites (exemple § 1.3.2.4).

2. Dipôle RL, débriefing des connaissances

La septième séance de la séquence est une séance de TP sur la partie RL ; (2011_01_24). L'enseignant a débriefé une seule fois les activités de ce TP dans la neuvième séance²¹ de cours (2011_01_28) ; la durée du débriefing est de 25 minutes.

2.1 Activité « *Modélisation numérique de $i(t)$; détermination expérimentale de L* »

Nous commençons d'abord avec une présentation de l'activité (§ 2.1.1) où nous décrivons son contenu, son déroulement en TP et l'introduction du déroulement effectif lors du débriefing. Ensuite, nous présentons les trois inscriptions dans le débriefing par ordre chronologique : la première inscription qui porte sur l'établissement du courant dans une bobine (§ 2.1.2), la deuxième inscription où l'enseignant calcule des variables (§ 2.1.3.) et la troisième inscription qui porte sur l'établissement des valeurs de tau aux courbes expérimentales (§ 2.1.4). Nous finissons cette partie par une conclusion sur le débriefing (§ 2.1.5)

2.1.1 Présentation de l'activité

L'activité est composée de deux parties : l'établissement du courant et rupture du courant dans le dipôle RL.

Dans la première partie, les étudiants auront à : (1) réaliser l'expérience (figure 38a) et effectuer une acquisition des données de $i(t)$ à l'aide du logiciel ME, ensuite à modéliser la courbe sous Regressi, (2) déterminer la valeur expérimentale de l'inductance (L_{exp}) en se servant des valeurs obtenues par Regressi et (3) vérifier que « τ » est l'abscisse du point d'intersection de la tangente à l'origine et de l'asymptote.

Dans la deuxième partie, les élèves ont à reprendre les mêmes étapes mais en ajoutant au circuit une diode (figure 38b) et à répondre aux mêmes questions.

²¹ L'enseignant n'a pas donné de cours à la huitième séance. Par conséquent, la neuvième séance suit la septième séance de TP.

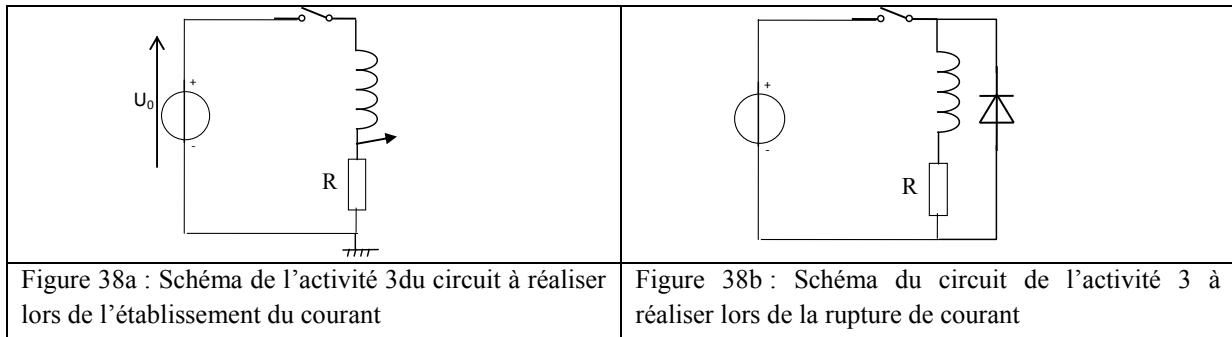


Figure 38 : Schéma des circuits de l'activité 3.

En TP, les élèves ont travaillé sur deux activités. Après une heure de séance, les élèves ont commencé à travailler sur l'activité décrite ci-dessus. Après avoir vérifié que tous les élèves ont réussi à réaliser l'expérience, l'enseignant a demandé aux élèves de : « vérifier les deux techniques pour trouver τ , lui il a calculé τ mathématiquement. Alors, vérifiez bien que c'est l'intersection de l'abscisse avec la tangente et vérifiez que ça correspond à la valeur $0,63 U_{max}$ ».

Il nous semble que tous les élèves ont réussi à répondre à toutes les questions de l'activité car l'enseignant a répété pour plusieurs binômes et à haute voix, à dix minutes avant la fin de la séance, comment faire pour trouver la valeur $i(\tau)$ à l'aide de l'outil réticule « $i(\tau)$ c'est-à-dire : que vaut la valeur de « i » à l'instant $t=\tau$? Pensez au réticule et lisez la valeur sur l'écran ». Cette explication correspond à la dernière tâche prescrite dans cette activité expérimentale.

Dans la séance qui a suivi le TP (2011_01_28), l'enseignant a expliqué qu'il allait débriefer l'activité 3 en disant : « je vous rappelle quand même les questions de l'activité 3. Pour l'établissement du courant, vous avez fait une modélisation, je vous la remontre ici ».

2.1.2 Inscription « établissement du courant dans une bobine »

Cette inscription a été réalisée lors de la projection de l'écran de Regressi. Nous l'avons découpée en trois états d'inscriptions. Nous détaillons chaque état dans les paragraphes suivants.

2.1.2.1 Etat 1 : effet de la bobine sur l'allure des courbes $i(t)$ dans un circuit RL

L'enseignant projette deux courbes de $i(t)$ lors de l'établissement du courant aux bornes d'une bobine (figure 39a). Ces courbes sont obtenues et enregistrées à l'avance par l'enseignant. Il explique que la présence d'une bobine dans le circuit retarde l'établissement du courant ; il précise que l'allure de la courbe est différente avec un circuit constitué d'une résistance seulement (générateur, résistance, interrupteur) : « on aurait zéro au moment où on ferme le circuit avec l'interrupteur puis tout d'un coup voilà (l'enseignant inscrit une courbe sur la projection et sur les mêmes axes de i et de t) » (figure 39b).

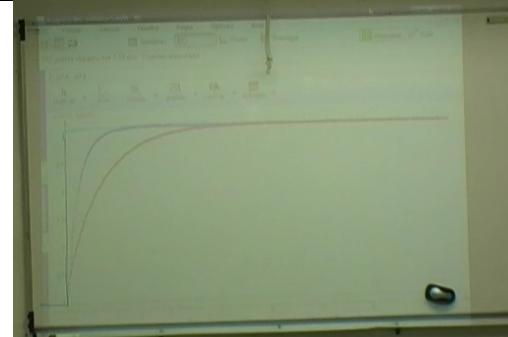
	
Figure 39a : Copie d'écran de deux courbes projetées	Figure 39b : Copie d'écran de deux courbes projetées avec la courbe inscrite

Figure39 : Deux copies d'écrans à différents moments du même état d'inscription, état 1.

Dans cet état, l'inscription de la courbe sur la surface de la projection et sur les mêmes axes des deux autres courbes permet de comparer dans un même registre sémiotique (registre graphique) l'allure des différentes courbes obtenues avec différents circuits (un même circuit une fois avec bobine et une fois sans bobine). L'enseignant a assuré une conversion entre le langage naturel « *on aurait zéro au moment où on ferme le circuit avec l'interrupteur puis tout d'un coup voilà* [l'enseignant inscrit une courbe sur la projection et sur les mêmes axes de i et de t] » et le registre graphique ; il ne s'est pas contenté d'une explication usant du langage naturel et spécifiant que la courbe obtenue par un circuit constitué par un générateur et une résistance est différente des courbes projetées. Cependant, l'enseignant n'a pas précisé la valeur de la résistance qui a été prise.

Le discours de l'enseignant montre qu'il avait prévu de comparer l'allure de la courbe dans un circuit contenant une bobine et l'allure de la courbe obtenue dans un circuit avec une résistance ; nous pouvons faire l'hypothèse que l'enseignant avait planifié d'inscrire cette courbe à ce moment de l'inscription.

2.1.2.2 *Etat 2 : branchement de la carte d'acquisition dans un circuit RL*

L'enseignant pose la question suivante aux élèves : « *quel est le circuit qui a permis d'enregistrer ça et d'obtenir les courbes projetées ?* » tout en indiquant que l'interface utilisée ne mesure que la tension. Avant d'écouter les réponses des élèves, l'enseignant pose une autre question qui est la suivante : « *pourquoi ça /il trace un circuit constitué d'un générateur de tension, une bobine et un interrupteur/ ne permet pas d'obtenir des courbes de ce genre /l'enseignant montre les courbes projetées/ ?* ». Après une réponse correcte donnée par un élève : « *nous avons besoin d'une résistance* », l'enseignant ajoute l'icône de la résistance dans le circuit et inscrit le branchement aux bornes de cette icône (figure 40). Il clarifie la relation entre la tension et le courant $U = RI$ et déduit ainsi qu'il est possible de mesurer l'intensité.



Figure 40 : Copie d'écran de la deuxième inscription.

L'enseignant inscrit l'expression de U aux bornes d'une bobine pour répondre à la question d'un élève. Il explique qu'il est impossible d'extraire i en branchant la carte d'acquisition aux bornes de la bobine : « aux bornes de la bobine la tension est $ri+Ldi/dt$. Je mesure quelque chose de proportionnel à i et à sa dérivée. Comment je vais faire pour extraire i ? ». L'enseignant synthétise en disant qu'il faut toujours avoir en tête le schéma du circuit qui permet de tracer des courbes.

Dans cet état d'inscription, le discours de l'enseignant est multimodal. L'enseignant a utilisé les gestes parallèlement au langage naturel, « vous devez avoir en tête ce schéma (il montre avec sa main le schéma du circuit électrique) qui correspond à ça (il montre avec sa main les courbes) ». Cela permet à l'enseignant de tisser des liens entre les graphes et le schéma du circuit. Il nous semble qu'avec ces gestes, l'enseignant veut renforcer les liens et la conversion entre ces deux registres. En effet, l'enseignant n'a pas toujours l'occasion de montrer aux élèves simultanément l'allure des courbes obtenues avec le logiciel et d'avoir le circuit qui a permis de tracer ces courbes à côté.

Par l'inscription de l'expression algébrique et les symboles du branchement à côté de l'icône résistance, l'enseignant : (1) tisse des relations vers des moments antérieurs sur la séquence portant sur la façon dont il faut brancher la carte d'acquisition pour avoir le graphe de $i(t)$ et (2) fait une conversion entre le registre du langage naturel et le registre algébrique.

Nous considérons que les nouveaux objets inscrits (le circuit) avec un marqueur vert, dans la surface de la projection et à proximité des courbes, est une inscription directement reliée à la projection. Ce lien est renforcé par les gestes que l'enseignant a fait, mettant en relation directe le circuit et la courbe.

2.1.2.3 *Etat 3 : expression de i_0 en régime permanent*

L'enseignant pose une question supplémentaire par rapport aux questions de l'activité. Elle est demandée dans des exercices. La question consiste à trouver l'expression de la tension aux bornes de la résistance en régime permanent d'une part, et à trouver la valeur du courant (i_0) en régime permanent d'autre part. L'enseignant a inscrit la question à côté de la projection avec un marqueur rouge. Pour répondre à cette question, l'enseignant commence à inscrire la

loi d'additivité des tensions lors de l'établissement du courant pour trouver $U_r = E - U_L$. Il trace l'allure de $i(t)$ et déduit l'expression de i_0 (figure 41a). L'enseignant trace également des flèches supplémentaires en rouge, sur le circuit déjà tracé en vert et écrit les expressions algébriques en régime permanent aux bornes de la bobine et de la résistance (figure 41b).

Figure 41a : Copie d'écran au début de la troisième inscription.	Figure 41b : Copie d'écran à la fin de la troisième inscription.

Figure 41 : Deux copies d'écran à différents moments du même état d'inscription.

Dans cet état d'inscription où l'enseignant veut répondre à la question supplémentaire, il a :

- effectué une conversion entre l'expression algébrique ($i = E/r + R$) et l'allure de la courbe $i(t)$;
- tissé des liens entre d'une part les icônes de la résistance et de la bobine dans le schéma du circuit en vert, et d'autre part les expressions algébriques (encerclé dans la figure 41b) ;
- tissé une relation entre les expressions algébriques notées sur le circuit en rouge lors du régime permanent et les expressions notées en vert qui correspondent aux régimes transitoires.

Par le geste du tissage entre différents moments et les articulations entre les objets inscrits, l'enseignant a offert aux élèves une opportunité d'apprentissage qui consiste à voir sur un même circuit, autour des mêmes icônes, les expressions algébriques en régime permanent et les expressions algébriques en régime transitoire.

Nous considérons que ces objets inscrits sont complémentaires par rapport à la projection. L'enseignant a annoncé qu'il va résoudre une question supplémentaire : « *je vais résoudre une question supplémentaire liée à la troisième activité, c'est une question des exercices d'ailleurs* ». La relation de ces objets inscrits par rapport à la projection est confirmée par d'autres paramètres spécifiques : la couleur du marqueur utilisée qui est différente, la place où la question est inscrite et le fait que l'enseignant ait effacé tous ces objets inscrits à côté du circuit, quelques secondes après leurs inscriptions. Le changement de la couleur du marqueur est significatif car lors de l'entretien d'auto-confrontation, l'enseignant signale que : « *une de mes pratiques pédagogiques consiste à utiliser différents couleurs de marqueurs lors de l'enseignement. Ce changement de couleur de marqueur permet aux étudiants de faire la*

distinction entre la résolution d'une question de l'activité et la résolution d'une question posée par un étudiant ou d'une question supplémentaire à l'activité ».

2.1.3 Inscription « calcul des valeurs des variables : i_0 et L_{exp} »

Cette inscription a été faite lors de la projection d'un diaporama. Nous l'avons découpée en deux états d'inscription. Nous détaillons chaque état dans les paragraphes suivants.

2.1.3.1 Etat 1 : détermination de la valeur expérimentale de l'inductance

L'enseignant efface les symboles ajoutés avec un marqueur rouge sur le circuit vert. Il change la projection et projette une seule courbe. La courbe projetée est la courbe bleue de la projection initiale (première projection au début du débriefing). L'enseignant signale « *maintenant, je vais m'intéresser à la courbe bleue, ce que vous avez à faire dans l'activité 3. Je vais laisser de côté pour l'instant la courbe rouge et je vais demander à Rgressi de tracer $i(t)$* ». Ensuite, l'enseignant modélise et ajuste devant les élèves. Il interprète les deux fenêtres de Rgressi. L'enseignant continue le débriefing de la troisième activité pour déduire la valeur de l'inductance de la bobine, L expérimentale. Il se sert de la valeur de la constante de temps obtenue par Rgressi et utilise $L = \tau \cdot R$ ($\tau=2,2$, $0,23=0,51H$).

Dans cet état d'inscription, l'enseignant refait la modélisation de la courbe des élèves. Il a effectué un traitement dans le registre algébrique pour trouver la valeur expérimentale de l'inductance (L_{exp}).

Ces objets inscrits sont directement liés à la projection, la valeur de L_{exp} est en relation directe avec la courbe. Ces objets sont de même nature que l'inscription (état 2 de l'inscription intitulée « établissement du courant dans une bobine »).

2.1.3.2 Etat 2 : Comparaison de la valeur de i_0 obtenue par Rgressi à la valeur théorique

L'enseignant lit la valeur de « a » affichée par Rgressi (1,45 mA). Il explique que c'est l'asymptote (l'enseignant fait le geste de l'asymptote). Il annonce l'importance de vérifier si la valeur de l'intensité affichée par Rgressi est « cohérente » avec la valeur à obtenir en utilisant l'expression algébrique qu'il a déjà trouvée « $i=E/R$ en RP ». Pour cela, il inscrit la valeur de i_0 sur la courbe affichée par Rgressi (1,45 mA) et l'expression mathématique E/R ; il sépare ces deux objets inscrits par un point d'interrogation (figure 42).

L'enseignant calcule la valeur de $E/R=3,2/2,5=1,45$ mA et déduit ainsi que les deux valeurs sont cohérentes, il exprime : « ok, ça marche », « ça fonctionne bien ».

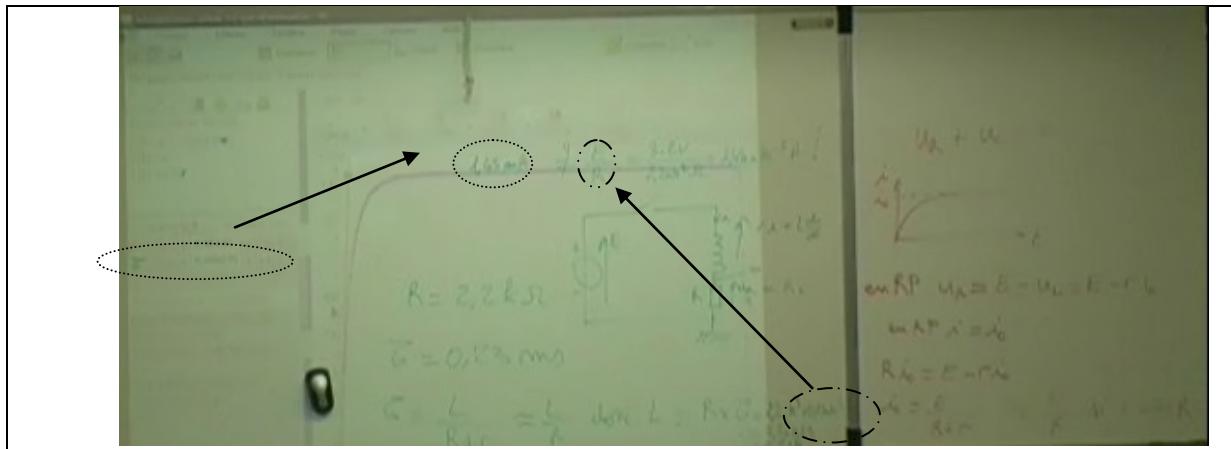


Figure 42 : Copie d'écran de l'état 2.

Dans cet état d'inscription, nous pouvons remarquer que l'enseignant met en relation l'état de la première inscription ($i = E/R$) et cet état de la deuxième inscription. Cette mise en relation vise à comparer la valeur de « a » obtenue par Regressi d'une part, et la valeur obtenue en utilisant l'expression algébrique ($i = E/R$) d'autre part. Autrement dit, l'enseignant a ainsi mis en lien les deux mondes de modélisation. Cette mise en relation a été soulignée avec des expressions de type : « *ça marche bien quand même* » ; « *ok, ça marche* » et « *ça fonctionne bien ici* » quand l'enseignant a trouvé la même valeur numérique. Le point d'exclamation à la fin de la ligne est une manière multimodale de vérifier et de renforcer la consistance entre la valeur obtenue dans le monde des objets et des événements (Regressi) et la valeur dans le monde des théories et des modèles en se servant des valeurs nominales. En résumé, l'enseignant fait converger toutes les informations pour expliquer le processus de modélisation.

Nous pouvons dire que si l'enseignant n'avait pas travaillé la question supplémentaire qui consiste à trouver l'expression de i_0 en régime permanent (§ 2.1.2.3) il n'aurait pas pu faire cette comparaison entre la valeur obtenue par Regressi et celle obtenue par l'expression algébrique. Par conséquent, les objets inscrits sur la surface de la projection sont de même nature que les objets inscrits pour trouver l'expression de i_0 ; ils ne sont pas directement liés à la projection.

2.1.4 Inscription « correspondance entre des valeurs de tau et des allures de courbes de $i(t)$ »

Cette inscription a été faite lors de la projection de l'écran de Regressi. Nous avons remarqué qu'elle est constituée d'un seul état d'inscription. Nous détaillons cet état qui porte sur la comparaison de la valeur de tau entre des courbes $i(t)$ dans les lignes suivantes.

L'enseignant change la projection (figure 43) et il n'a toujours pas effacé le circuit tracé en vert. Il utilise Regressi pour projeter l'acquisition des deux courbes obtenues avec le même circuit, en changeant la valeur de l'inductance d'une bobine, L . Il pose aux élèves la question suivante qu'il considère comme classique et qui se répète dans les exercices : « *Est-ce que L a*

été augmentée ou diminuée ? ». Pour répondre à cette question, une autre question est posée par l'enseignant : « *Est-ce que la constante de temps (τ) a augmenté ou non ?* ». Après quelques secondes, l'enseignant répète la réponse d'un élève disant que L a augmenté. L'enseignant fait des gestes tout en disant que la constante de temps est devenue plus grande. Ensuite, il vérifie si cette prévision est correcte en comparant la valeur de la constante de temps obtenue par Regressi avec les deux courbes.

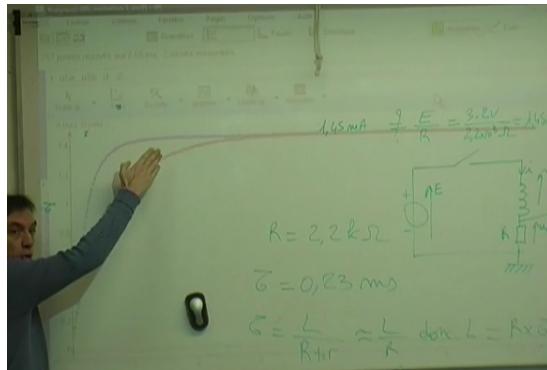


Figure 43 : Copie d'écran de l'inscription « correspondance entre les valeurs de tau et les allures de courbes de i(t) ».

Si nous visualisons l'état du tableau lors de cette inscription, nous pouvons dire que l'état est presque le même que lors de la première inscription (§ 2.1.2.1) : les courbes projetées sont les mêmes qu'avant et le circuit est directement lié à la projection.

L'enseignant effectue une conversion entre le registre graphique et le langage naturel. Il a fait avec sa main un geste montrant que le temps du régime transitoire augmentait. L'enseignant utilise ensuite le registre symbolique pour en déduire que la valeur de L a augmenté. Les gestes de l'enseignant ont facilité les opérations sur les registres sémiotiques.

Après avoir vérifié que la prédiction est correcte, l'enseignant a calculé la valeur expérimentale de l'inductance (L_{exp}). Il établit une relation entre la valeur obtenue en se servant d'une expression mathématique appartenant au monde des théories et des modèles et le monde des objets et des événements en expliquant que cette augmentation de la valeur de L est obtenue quand le fer doux est enfoncé dans la bobine (monde des objets et des événements).

2.1.5 Conclusion du débriefing des connaissances « modélisation numérique i(t), détermination de L_{exp} »

Ce débriefing contient trois inscriptions car il a eu trois projections : la première inscription est constituée de trois états, la deuxième de deux états et la troisième d'un seul état. L'enseignant a tissé des relations entre différents concepts non seulement avec des moments antérieurs à la séquence mais aussi avec des moments ultérieurs. L'enseignant avance parfois des savoirs et résout des exercices prévus pour un moment ultérieur.

Dans ce débriefing, l'enseignant a mis en lien fréquemment les deux mondes de la modélisation. Les objets inscrits ont enrichi le savoir à enseigner en jeu. L'enseignant a essayé de présenter simultanément un ensemble de registres sémiotiques qu'il a relié par différentes opérations. Cette mise en relation est facilitée par le discours multimodal de l'enseignant.

Nous avons remarqué que les objets inscrits réalisés avec une même couleur de marqueur ont le même rapport à la projection. Alors que les objets inscrits réalisés avec une autre couleur de marqueur ont différent rapport avec la projection. De même, dans ce débriefing, nous avons remarqué que la place des objets inscrits par rapport à la surface de projection ne permet pas à elle seule de déduire la relation entre les objets inscrits et la projection.

3. Dipôle RLC, débriefing des connaissances

L'enseignant et les élèves ont travaillé sur le dipôle RLC dans une séance de TP (2011_01_31). Dans la même séance de TP, l'enseignant a discuté la majorité du temps à haute voix avec tous les élèves, contrairement aux autres TP où les élèves ont eu plus de temps pour travailler en autonomie, avant que l'enseignant ne corrige ou ne donne des remarques sur les manipulations.

Nous expliquons l'absence de débriefing de cette partie d'une part par le manque de temps, et d'autre part par le discours public de l'enseignant et la correction en temps réel des activités pendant la séance de TP.

4. Conclusion

Dans ces études de cas, étude des débriefings des activités expérimentales lors de la projection de l'écran, nous avons appliqué une méthode pour analyser les inscriptions. Nous avons déduit que l'étude du tissage entre les savoirs est possible en effectuant un découpage téléologique selon les objectifs du discours de l'enseignant. Le découpage téléologique en état d'inscription dépend des objectifs discursifs ; une inscription peut contenir plusieurs états d'inscription indépendamment de sa durée.

Dans les inscriptions où il y a la projection de l'écran du logiciel, l'enseignant a mis en lien le monde des objets et des événements et le monde des théories et des modèles. Cet aspect de mise en relation était moins présent lors de la projection du diaporama. Lors de ce dernier, le discours de l'enseignant se situait dans le monde des théories et des modèles où il a effectué des mises en lien entre différentes échelles d'analyse à l'intérieur de ce même monde. Nous pouvons expliquer ces différents rapports entre les mondes de la modélisation par la nature des valeurs numériques obtenues par le logiciel. En effet, l'enseignant a sous les yeux les valeurs expérimentales obtenues par le logiciel de modélisation, ce qui lui donne la possibilité de comparer les valeurs expérimentales et les valeurs théoriques.

Dans ces débriefings, l'enseignant a effectué différentes opérations sur les registres sémiotiques : des opérations de traitement au sein d'un même registre ou des opérations de conversion entre plusieurs registres. Les gestes ont facilité ces opérations, ils sont

« puissants » comme son registre du langage naturel. Nous pouvons ainsi déduire que l'enseignant a mobilisé un discours multimodal pour tisser des liens entre les mondes de modélisation, des registres sémiotiques et des états d'inscription. Par conséquent, les inscriptions réalisées lors du débriefing sont des gestes professionnels permettant le tissage de liens entre les éléments que l'enseignant considère comme importants du point de vue de l'apprentissage. La coprésence de l'oral et de l'écrit s'inscrit parmi un ensemble plus large de transmission de savoir que déploie l'enseignant pour orienter le savoir (Bucheton et al, 2008).

Dans un état d'inscription, les objets inscrits au tableau lors de la projection de l'écran ne sont pas tous de même nature. Ils peuvent être en rapport direct avec ce qui est projeté et planifié par l'enseignant ou bien ils peuvent s'écarte lors du traitement des questions secondaires. Ce critère de planification est difficile à appliquer s'il n'est pas accompagné de marqueurs langagiers.

Nous avons mis systématiquement en évidence deux types d'objets inscrits :

- type A : quand les objets inscrits sont en rapport direct avec la projection de l'écran de l'ordinateur ; ils sont reliés à l'activité planifiée par l'enseignant ;
- type B : quand les objets inscrits sont considérés comme périphériques par rapport à la projection. Ils permettent d'apporter des informations supplémentaires et complémentaires quelqu'en soit l'origine (l'enseignant, l'élève).

Nous dirons que le premier type est A et le second type est B.

Pour qualifier le type des objets inscrits, nous nous basons prioritairement sur le registre du langage naturel mobilisé par l'enseignant. Nous avons repéré quelques critères qui aident à qualifier les types des états d'inscriptions : (1) le changement de couleur de marqueur ; dans l'entretien d'auto-confrontation, l'enseignant signale qu'une de ces pratiques pédagogiques consiste à utiliser différents marqueurs de couleur lors de l'enseignement. Pour aider les élèves à distinguer la résolution d'une question de l'activité de la résolution d'une question supplémentaire à l'activité et (2) la place de l'inscription (sur la surface de la projection/à côté de la projection). Les inscriptions de type A peuvent être réalisées à la surface de la projection ou à côté de la projection ; de même pour le type B. Or, la pratique enseignante consiste à écrire au même endroit (à la surface de la projection ou à côté de la projection) les états d'inscription du même type. Nous signalons que nous sommes parfois obligés de faire des hypothèses sur la planification ou non des objets inscrits par l'enseignant. Nous avons besoin de développer des outils méthodologiques qui aident à qualifier si les connaissances et savoirs enseignés sont planifiés ou non par l'enseignant.

Ces critères peuvent changer en fonction de la pratique enseignante de chacun. Pour les enseignants ayant la même pratique, il est fort probable que l'on retrouve des critères communs.

Nous constatons que notre hypothèse de travail (§ 3.2 de la méthodologie), qui consiste à postuler que le débriefing est riche en catégories d'articulation, est validée. Dans cette phase,

l'enseignant résout des questions supplémentaires aux activités. Par conséquent, il tisse des liens non seulement entre les séances antérieurs d'une même séquence mais aussi avec les séances ultérieures.

À la fin de cette partie, nous souhaitons ajouter que l'enseignant était sensible aux différents registres sémiotiques, il a distribué dès le début de la séance une fiche avec des photos du matériel qu'ils allaient utiliser sur toute la séquence (voir annexe 2). Il y a également des dessins ou des icônes des appareils de physique au début de chaque fiche d'activité pour un dipôle donné. Au fur et à mesure qu'il avançait dans la séquence, il remontrait les dessins et les mettait au moins une fois en lien avec le matériel réel qu'ils utilisaient. L'enseignant visait ces mises en relation. L'enseignant a souligné cette information au début de l'entretien d'auto-confrontation : « *la feuille de support où il y a les photos me permet d'illustrer le cours [...] j'ai montré ça /il pointe la photo du condensateur/, j'ai montré ça /bouteille de Leyde/, j'ai montré ça /il pointe une autre photo du condensateur/, j'ai montré tout ça pour du vrai, ça je les avais* » ; « *bien sûr, je distribue cette fiche aux élèves* ». Il mène également un travail important dans le registre du langage naturel ; il effectue des traitements et apprend aux élèves à employer correctement le langage de la physique scolaire par exemple : « *on ne parle pas de la charge d'une bobine, on parle de l'établissement du courant dans une bobine* ».

Il faut toujours se rappeler que, même si un enseignant est sensible à la modélisation, il n'arrive parfois pas à expliquer la nature virtuelle/réelle des représentations qui apparaissent sur l'écran, “*It has been reported that frequently teachers do not use simulation software in the most adequate way and even that it is very common for teachers not to be very critical in the analysis of real/virtual nature of what appeared represented in the computer screen*” (Pinto et al, 2004).

VIII. Conclusion générale

Nous souhaitons, par cette conclusion, rappeler les caractéristiques principales de notre travail. En cherchant à étudier le tissage et la cohérence du discours didactique de l'enseignant, nous avons travaillé sur une grande échelle de temps : une séquence où il y a intégration des TICE (§ 1 de la méthodologie) contrairement à de nombreuses études qui sont limitées dans le temps. Notre travail se veut une contribution dans ce domaine. Nous commençons par une présentation des résultats en fonction de nos questions de recherche et de nos hypothèses de recherche. Nous continuons par le questionnement de nos contributions aux niveaux théoriques et méthodologiques. Nous discutons enfin des perspectives que peut avoir notre travail sur deux plans :

- la formation des maîtres ;
- la recherche des effets du tissage et de la cohérence sur l'apprentissage des élèves.

1 Retour sur nos questions de recherche

Notre travail a pour objet l'étude d'une séquence d'enseignement en Terminale Scientifique. Il s'agit d'une séquence d'électricité où les élèves et l'enseignant utilisent régulièrement différents types de logiciels : un logiciel d'acquisition des données (Mesure Electrique) et un logiciel de traitement des données (Rgressi). Nous avons formulé quatre questions de recherche (chapitre 4) : les deux premières portent sur l'étude de la cohérence et les deux dernières questions portent sur l'étude de la mise en relation entre les registres sémiotiques et les mondes de modélisation dans les inscriptions.

Q1 : Compte tenu de la définition des termes « cohérence » et « cohésion » dans notre cadre théorique, nous pouvons nous demander s'il y a dépendance ou pas entre « cohérence » et « cohésion » ? Est-ce que ce qui est articulé est cohérent ou non ?

Q2 : Quels sont les moyens mobilisés par l'enseignant pour effectuer le tissage, à une échelle mésoscopique et macroscopique ? Peut-on catégoriser les transformations des connaissances entre les épisodes articulés ?

Q3 : Comment l'utilisation des TICE crée-t-elle des relations significatives entre d'une part les différents mondes de la modélisation et d'autre part entre plusieurs registres sémiotiques appartenant à une même inscription ou à différentes inscriptions ?

Q4 : Peut-on catégoriser les inscriptions réalisées par l'enseignant lors de la projection de l'écran du logiciel ou d'un diaporama ?

Ces questions que nous venons d'énoncer correspondent à nos quatre hypothèses de recherche formulées dans le chapitre 3.

En ce qui concerne les questionnements d'ordre méthodologique, nous espérons que nos analyses ont montré qu'il est possible d'apporter des réponses à ces questionnements (voir § 2).

Nous présentons nos résultats en fonction de ces quatre questions sur un terrain de recherche bien déterminé (§ 1 de la méthodologie).

1.1 Dépendance ou non entre les articulations au niveau du discours et la cohérence des connaissances articulées

Lors de l'analyse du déroulement de la séquence d'électricité, nous avons pu déduire que l'établissement des articulations peut être un soutien pour la cohérence discursive ; les articulations sont nécessaires pour établir une cohérence explicite mais elles ne sont pas suffisantes (toutes seules pour une cohérence). Nos résultats ont mis en évidence deux types de rapport entre l'articulation et la cohérence : des moments articulés et cohérents, des moments articulés et non-cohérents.

Nous pouvons dire que : (1) la place du logiciel de traitement des données du point de vue de la modélisation et (2) sa méthode pour effectuer des calculs, sont majoritairement des exemples de moments d'épisodes articulés et non cohérents. En effet, la place de Regressi n'est pas la même dans le processus de modélisation, sa place n'est pas fixe. L'enseignant considère parfois que la valeur de tau est un résultat expérimental et le considère parfois comme aspect théorique. Ce basculement entre les deux mondes de modélisation laisse comprendre que le logiciel a un rôle intermédiaire entre le monde des objets/événements et le monde des théories/modèles. De même, nous avons constaté que ce dispositif TICE est à la fois :

- une boîte noire qui fait le calcul, sachant que l'enseignant ne peut pas expliquer le vrai mode de fonctionnement de Regressi car cela n'est pas du niveau des élèves ;
- un outil didactique qui est programmé. Le logiciel de traitement des données trace des tangentes, des asymptotes pour trouver la valeur de tau. Toutefois, nous tenons à préciser que le traçage des courbes n'a aucun effet sur la façon dont ce logiciel procède pour trouver la variable. Même si nous supprimons les expressions algébriques qui correspondent à ces droites, le logiciel affiche la valeur de tau.

Par conséquent, le dispositif TICE est destiné à l'enseignement. L'ambiguïté est dans l'outil lui-même qui joue un double rôle : le rôle de la boîte noire et le rôle de l'outil didactique. À travers ces résultats notre première hypothèse de départ est validée (§ 2 du chapitre 3).

1.2 Catégorisation de la cohérence entre les épisodes articulés

Nous avons constaté que l'enseignant essaye de créer des articulations explicites entre les concepts. La comparaison des connaissances entre différents moments portant sur un même contenu (savoir à enseigner) nous a permis d'identifier quatre catégories de cohérence (quatre types de lien pour caractériser la cohérence entre les connaissances présentent dans le discours de la classe dans les épisodes). Ces catégories sont :

- l'expansion : on parle d'expansion quand les connaissances dans l'épisode de correspondance sont plus étendues que l'épisode codé par une catégorie d'articulation ;
- la répétition : on parle de répétition quand les connaissances dans l'épisode de correspondance sont répétées sous le même modèle syntaxique et lexical que dans l'épisode codé par une catégorie d'articulation ;
- la réduction : on parle de réduction quand les connaissances dans l'épisode de correspondance sont plus réduites que l'épisode codé par une catégorie d'articulation ;
- l'auto-reformulation : on parle de l'auto-reformulation quand les connaissances dans l'épisode de correspondance sont les mêmes mais reformulées, présenté autrement.

Certaines de ces catégories sont subdivisées en sous-catégories. Ces résultats permettent de valider notre deuxième hypothèse de recherche (§ 2 du chapitre 3) et apportent des éléments détaillés sur la nature des transformations prévues entre les connaissances.

Les catégories de cohérence peuvent être utilisées pour qualifier des connaissances situées : dans une même activité, dans une même séance et dans différentes séances. Par conséquent, une qualification des connaissances à différentes échelles : microscopique, mésoscopique et macroscopique.

Toutefois, nous rappelons que la dénomination « catégorie de cohérence » n'induit pas que les épisodes soient cohérents. Elle signifie une caractérisation de la nature des liens entre les connaissances présentent dans le discours de la classe dans les épisodes correspondants de la séquence.

1.3 Influence des inscriptions sur les registres sémiotiques et la modélisation

Les inscriptions lors de la projection de l'écran augmentent le nombre de registres sémiotiques mobilisés simultanément. L'objet inscrit « schéma de circuit » nous semble significatif ; dans notre étude de cas, à chaque fois que l'enseignant projette l'écran de Regressi, il inscrit le circuit qui a permis d'obtenir ce résultat. En effet, ce logiciel influence la nature du registre sémiotique que l'enseignant inscrit. Nous avons mis en évidence, à plusieurs reprises, que les inscriptions viennent compléter les potentialités du logiciel en terme de représentations sémiotiques.

Nos analyses nous permettent de valider notre troisième hypothèse de recherche (§ 2 du chapitre 3) et de déduire que :

- lors de la projection de l'écran de Regressi, la mise en place du processus de modélisation est plus facile que lors de la projection d'un diaporama. Alors que les inscriptions lors de la projection des diaporamas ont facilité surtout la mise en relation des registres sémiotiques ;
- lors des inscriptions, les opérations sur les registres sémiotiques sont élevées. L'enseignant ne se contente pas d'ajouter des registres sémiotiques dans une place au tableau sans les mettre en lien ; il y a une mise en relation entre les différents registres. Nous ajoutons que les gestes qui accompagnent le discours facilitent le traitement dans

un registre sémiotique donné et la conversion entre différents registres sémiotiques. Ce résultat confirme notre constat de départ autour de la nécessité de la prise en compte du discours dans sa dimension multimodale ;

- au fur et à mesure que l'enseignant avance dans ces inscriptions au tableau, il effectue un tissage entre les différents états d'une même inscription et entre les inscriptions. Ce tissage est réalisé en se servant de différents registres sémiotiques.

1.4 Types d'inscription lors de la projection de l'écran de l'ordinateur

À travers les analyses des inscriptions, nous avons montré le rapport intime entre la gestion des registres sémiotiques, la modélisation et l'approche communicative. L'étude des débriefings des connaissances à partir du discours de l'enseignant dans la dynamique de la classe, suppose de prendre en considération les interactions entre l'enseignant et les élèves. Notre enseignant filmé a tendance à suivre un discours autoritatif indépendamment de la nature de la séance (cours, TP) et de la phase didactique.

Il est possible de décomposer une inscription en état d'inscription. Nous avons constaté deux types d'états d'inscriptions en se basant sur le discours didactique de l'enseignant et du contexte. Le premier concerne les états d'inscriptions qui sont en rapport direct avec la projection, nous les appelons « type A ». Le deuxième concerne les états d'inscriptions qui ne sont pas du type A mais qui dépendent de ces derniers et dépendent également de la projection mais d'une façon complémentaire. Ce type permet d'apporter des savoirs à enseigner supplémentaires quelque soit la personne (enseignant, élève) à l'initiative de ces apports. Nous les appelons « type B ».

Dans certains cas, des indications supplémentaires par rapport au discours peuvent confirmer le type d'états d'inscription ; la place des objets inscrits au tableau (à côté de la projection, sur la projection, en-dessous des inscriptions d'un type précis etc.) et le changement de la couleur du marqueur utilisé pour réaliser les inscriptions (les inscriptions d'un même type sont réalisées avec le marqueur de même couleur).

Ces résultats n'ont pas validé notre quatrième hypothèse de recherche qui distingue les types d'objets inscrits en fonction de ce qui est projeté c'est-à-dire que les inscriptions lors d'un diaporama sont de différentes natures que les objets inscrits lors de la projection de l'écran d'un logiciel. Par ces résultats, nous pouvons reformuler notre hypothèse de recherche de la façon suivante : les objets inscrits lors d'une même projection n'ont pas la même relation avec la projection de l'écran indépendamment de ce qui est projeté.

2 Développement théorique et méthodologique

L'étude que nous avons conduite nous a permis de développer des outils théoriques et méthodologiques qui serviront dans des recherches ultérieures. L'étude de la façon dont l'enseignant tisse des liens entre les différents concepts lors de la projection de l'écran de l'ordinateur nous amène à effectuer une transposition complexe de la notion d'inscription utilisée par Latour (1985) en anthropologie des sciences pour l'utiliser en didactique des

sciences comme un outil théorique. L'usage de cette notion a amené à un prolongement fortement lié aux recherches en didactique. Nous avons montré que les écritures de l'enseignant au tableau satisfont les critères d'une inscription. Nous avons ensuite proposé l'idée que chaque inscription est cumulative ; elle est constituée de plusieurs états d'inscription que l'enseignant ajoute au fur et à mesure de la progression du temps didactique pour un objectif précis. Finalement, nous pouvons qualifier le type d'états d'inscription par rapport à la projection.

Nous avons essayé par cette recherche de proposer une mise en relation entre la multimodalité du discours et les registres sémiotiques. Parmi les gestes que fait l'enseignant, nous avons distingué ceux qui sont en lien avec les savoirs et ceux qui ont facilité les opérations sur les registres sémiotiques.

Cette recherche a également nécessité un travail méthodologique important au niveau du traitement des données comme au niveau de l'analyse.

Au niveau des traitements, nous avons proposé un découpage du discours de l'enseignant en épisodes en fonction de la nature de la séance :

- en salle de cours, nous pouvons utiliser les critères de Mortimer et al (2007) ;
- en TP, nous découpons également le discours public de l'enseignant en suivant les critères de Mortimer et al (2007) alors que nous découpons en épisodes la discussion de l'enseignant avec les binômes en fonction du critère proxémique.

Au niveau de l'analyse, nous avons développé une méthodologie (§ 2 du chapitre méthodologie) permettant de qualifier si le discours est cohérent ou incohérent et pour catégoriser la nature de la cohérence d'une part, et pour suivre la mise en relation entre les différents registres sémiotiques et les deux mondes de modélisation d'autre part.

Notre première branche de la méthodologie nous a permis, après une instrumentalisation de la base des données vidéo sur Transana, d'isoler des unités discursives microscopiques homogènes. Nous effectuons ensuite une extraction des connaissances dans ces unités discursives pour qualifier les catégories de transformations de la cohérence aux niveaux microscopique, mésoscopique et macroscopique. Par cette méthodologie, nous avons mis à l'épreuve la méthodologie développée par Badreddine (2009) qui consiste à effectuer un zoom out après le découpage en unité microscopique épisode et nous avons apporté des développements pour étudier la cohérence ; nous avons proposé l'outil « tableau de correspondance » qui permet de trouver les épisodes articulés (épisode avec une catégorie d'articulation et épisode de correspondance) dans un premier temps, pour ensuite tirer les connaissances de ces épisodes et les comparer afin de déduire si le discours didactique est cohérent ou non d'une part, et de qualifier le rapport de cohérence entre les connaissances d'autre part.

Nous pouvons généraliser la méthodologie pour étudier le tissage et la cohérence du discours didactique dans l'enseignement des sciences en général et en physiques chimies en particulier.

À partir de 2012, les programmes sont thématiques et l'enseignement devrait l'être ; ce qui permettra d'étudier ces gestes professionnels de tissage et de voir leur effet sur l'apprentissage non seulement sur une séquence dans un discipline donnée mais sur une séquence reliée à un thème couvrant plusieurs disciplines, comme par exemple les séquences développées par le laboratoire CRECIM (Pinto et al, 2004).

Notre deuxième branche de la méthodologie consiste à isoler des unités discursives lors de la projection de l'écran de l'ordinateur de tailles variables (inférieures à cinq minutes) selon le but, découpage téléologique. Sur cette base de données, nous avons caractérisé deux types d'inscriptions. Cette branche de la méthodologie permet de visualiser la répartition du discours de l'enseignant dans des registres sémiotiques variés et nous pouvons isoler la place du discours multimodal dans les mondes de la modélisation.

Nous avons construit au cours de cette thèse une véritable base de données prête à être utilisée pour répondre à d'autres questions de recherche sur la pratique enseignante. L'unité discursive du découpage réduit au maximum la perte d'information sur le déroulement de la séance d'une part, et permet d'autre part de suivre le discours dans sa multi-modalité.

3 Limite de l'étude et domaine de validité des résultats

Ces résultats sont obtenus à partir de l'analyse de bandes enseignantes seulement (sans travailler les bandes des élèves). Le tissage et la nature des articulations dépendent non seulement de la pratique enseignante mais aussi de l'évaluation des apprentissages des élèves faite par l'enseignant. L'enseignant prend des décisions chronogénétiques en fonction de la réaction des élèves (Badreddine, 2009), il peut modifier à plusieurs reprises dans la séquence la manière dont il installe les savoirs dans la classe.

Nous avons proposé une première catégorisation pour les états d'inscription qui reste à développer et à améliorer en analysant des inscriptions dans d'autres phases didactiques que le débriefing.

Nos résultats sont obtenus à partir d'une étude de cas d'un enseignant « expert ». Un enseignant expert dans le sens de Tochon (1993) qui satisfait les critères nécessaires pour le qualifier comme expert ; l'enseignant a une ancienneté et une expérience dans l'enseignement, il a une formation didactique et il est impliqué dans des groupes de recherche-action. Par conséquent, l'élargissement de notre terrain expérimental à d'autres enseignants (stagiaire en formation, enseignant novice, enseignant expert), d'autres types de logiciels, d'autres thèmes peut nous amener à enrichir ces résultats.

Lors de notre prise de données, nous avons confronté des problèmes d'ordres techniques et organisationnels ; nous n'avons pas filmé le début de la séquence de l'électricité ; l'enseignant avait commencé la séquence avant la date signalée ce qui nous a privé de la première demi-heure de la séquence d'électricité.

4 Perspectives

La nature de nos résultats semble nous offrir des perspectives et des prolongements de cette thèse. Nous présentons ces perspectives au niveau d'une utilité éventuelle de ce travail dans le cadre de la formation des enseignants pour la conception de dispositif de formation des enseignants de physique reposant sur le geste du tissage d'une part, et sur la cohérence discursive, d'autre part.

Jaubert & Rebière (2009) expliquent que si un « geste professionnel » n'est pas observé en contexte, les enseignants novices ne peuvent pas questionner et réutiliser ces gestes. Par conséquent, les résultats obtenus et nos supports vidéo peuvent servir d'exemples concrets sur le geste de tissage dans un contexte particulier, la physique. Les vidéos aident à montrer comment un enseignant peut effectuer des articulations au niveau discursif dans une ou plusieurs séances d'enseignement de physique et dans laquelle des logiciels sont utilisés. En effet, le geste de tissage et de cohérence peut devenir plus ou moins facile lors de l'intégration des TICE. Or, ce qui est sûr, c'est que l'utilisation des TICE est susceptible d'amener des modifications au niveau discursif ; elle demande des compétences de la part des enseignants (Laborde, 2001) et elle devenue une exigence. Les nouveaux programmes de physique-chimie du lycée accordent une place explicitement importante aux TICE. Par ailleurs, depuis 2011, la formation C2I, Compétence Informatique et Internet, a été instituée pour développer et valider la maîtrise des TIC par les stagiaires en formation dans les IUFM. Bien sûr, la professionnalisation dépasse la mise en œuvre des gestes du tissage et de la cohérence, il faut toujours laisser une marge de manœuvre aux enseignants pour actualiser ces gestes, pour ajuster en fonction des interactions avec les élèves. Le but de ces perspectives de formation est d'améliorer la formation continue d'une part, et la réflexion intellectuelle de chaque enseignant sur le contenu de son cours, de ses actions, d'autre part. Au niveau méthodologique, nous pouvons développer des éléments pour avoir des idées plus précises sur ce que l'enseignant planifie de travailler en classe avant de commencer la séance. De cette façon, la catégorisation de différents types d'inscriptions devient plus sûre, plus facile et nous pouvons trouver d'autres types d'inscriptions ou catégoriser les inscriptions d'une autre façon.

Tout au long de ce travail de recherche, un ensemble de questions nous est apparu et il nous semble intéressant de les développer :

- nous avons postulé comme hypothèse de travail que le tissage et la cohérence au niveau du discours didactique influence les apprentissages, étant donné la grande importance des langages partagés entre l'enseignant et les élèves et entre les élèves eux-mêmes ; comme le souligne Bucheton et al (2008, 2005) le langage est le centre du système enseignement-apprentissage. Marlair & Dufays (2008) ont conclu d'après une recherche sur l'enseignement de la littérature que la littérature enseignée n'est pas la même d'un enseignant à l'autre, parce que les effets sur les élèves, dépendent des gestes.

Les savoirs à enseigner sont le centre du métier d'enseignement et le tissage est systématiquement en rapport étroit avec le savoir à enseigner. Par conséquent, une

suite du travail que nous avons commencé dans cette thèse consiste à analyser les bandes vidéo que nous avons des élèves pour développer une méthodologie, pour étudier l'influence du tissage et de la cohérence discursive sur les apprentissages des élèves dans une classe de physique ;

- nous avons remarqué à travers cette étude de cas, l'importance de l'évaluation à la fin de l'année (le baccalauréat) sur les articulations que l'enseignant met en place en ce qui concerne le concept « constante de temps » tout au long de la séquence d'une part, et l'évaluation que l'enseignant fait en temps réel sur l'apprentissage des élèves d'autre part. Dans cette perspective, il nous semble important de penser au rôle de l'évaluation dans les enseignements scientifiques ;
- la fréquence du tissage et des articulations rend le cours dynamique et peut même le rendre très dynamique avec une structure complexe et non-linéaire. Nous nous demandons comment nous pouvons trouver le seuil de tissage afin d'éviter des effets indésirables (les élèves se perdent, décrochent, n'arrivent pas à trouver le fil conducteur etc.). De même, on se demande si le sur-tissage peut avoir un effet inhibiteur sur la compréhension et l'apprentissage des élèves ;
- les inscriptions jouent un rôle dans le tissage et la mise en relation entre différents registres sémiotiques et entre les deux niveaux de modélisation. Si le type B est complémentaire à la projection de l'écran, nous pouvons alors nous demander si les inscriptions de type B favorisent plus le tissage. Ces questions sont importantes et intéressantes à être développer ; en effet il y a beaucoup de possibilité de travailler là-dessus ;
- un autre objectif de recherche peut être proposé. Il s'agirait de filmer une séquence où il n'y a pas utilisation des TICE pour identifier le rôle du TICE dans le tissage et dans la cohérence discursive ;
- nous avons constaté que le terrain est très riche pour étudier le rapport en la multimodalité et les registres sémiotiques. Est-ce que nous pouvons considérer les gestes que l'enseignant effectue lors de l'enseignement des sciences à des élèves non-handicapé et dont le français est la langue maternelle comme un registre sémiotique ou non ? En effet, nous pouvons considérer les gestes comme satisfais des critères pour être considéré comme un registre : nous pouvons représenter des choses, nous pouvons effectuer des traitements, ils peuvent faciliter des conversions entre les registres sémiotiques. Pouvons-nous alors parler de registres des gestes ou d'un sous-registre ou non ?

Pour conclure sur les perspectives, nous précisons que la question de cohérence est une question complexe. Nous avons proposé une méthodologie pour étudier la cohérence du discours de l'enseignant sur des savoirs et pour qualifier les types de liens entre ces derniers. La question qu'il reste à discuter est de savoir si le tissage et la cohérence discursive peuvent engendrer une meilleure conceptualisation chez les élèves.

En classe, l'enseignant n'a pas suffisamment de temps pour reprendre toutes les expériences que les élèves ont déjà vues dans des séances antérieures à la séquence. En même temps, l'enseignant est « obligé » de mettre en relation ce qu'il a travaillé à un moment donné dans la

classe avec ce que les élèves ont réalisé en TP. Quand l'enseignant tisse des liens, il espère que la mise en relation qu'il a effectué mobilise chez les élèves des connaissances précises d'une certaine façon afin d'éviter une contradiction entre ce qu'ils ont travaillé et ce que l'enseignant rappelle.

Nous faisons l'hypothèse que, quand l'enseignant a une activité sémiotique élevée (cas des inscriptions), les élèves ont plus de chance d'effectuer une mise en relation et une cohérence entre les savoirs. En effet, en fonction des activités cognitives des élèves, les inscriptions peuvent cibler des représentations internes que les élèves ont construites en réalisant des expériences et en assimilant et accommodant les savoirs enseignés. Les inscriptions peuvent aider les élèves à effectuer des liens, des articulations cohérentes entre ce qu'ils travaillent en autonomie dans le TP et les débriefings.

Pour vérifier cette hypothèse et déterminer ce que les inscriptions mobilisent chez les élèves, nous avons besoin de revoir les bandes vidéo et les traces écrites des élèves que nous avons collectées.

Références

- Ainsworth, S.E. (2006). DeFT: A conceptual framework for learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16, 183-198.
- Ainsworth, S.E. (1999). The functions of multiple representations. *Computers and Education*, 33, 131-152.
- Alessi, S., & Trollip, S. (1991). *Computer-based instruction: Methods and development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Artigue, M. (2009). Articulations entre cadres théoriques : le cas de la TAD. *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, 29(3), 305-334.
- Artigue, M. (1990). Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(3), 283-307.
- Arzarello, F., & Robutti, O. (2010). Multimodality in multi-representational environments, ZDM - The International Journal on Mathematics Education, Special issue "Handled Technology in the mathematics classroom - theory and practice", 42, 715-731.
- Arzarello, F., & Edwards, L. (2005). *Gesture and the construction of mathematical meaning*. Proceeding 29th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, 122-145. Melbourne, AU: PME.
- Aylwin, U. (1984). Les utilisations de l'informatique dans un établissement scolaire. *Prospectives*, Février-Avril-Octobre, 13-17.
- Badreddine, Z. (2009). *Etude des décisions chronogénétiques des enseignants dans l'enseignement de la physique au collège : une étude de cas au Liban*. Thèse de doctorat. Université Lyon II, Université Libanaise : Beyrouth. Consulté le 20 février 2010, http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/42/17/70/PDF/badreddine_z-tome1.pdf
- Badreddine, Z., & Buty, C. (2011). Discursive reconstruction of the scientific story in a teaching sequence. *International Journal of Science Education*, 33(6), 773-796.
- Badreddine, Z., & Buty, C. (2009). Étude de la cohérence discursive du savoir enseigné : cas du court-circuit en cinquième. *Actes de communication à la sixième rencontre de l'ARDIST*, Nantes. Consulté le 6 janvier 2011, http://ardist.aix-mrs.iufm.fr/wp-content/textes%20communications/02_Badreddine%20Z
- Badreddine, Z., & Buty, C. (2007). Le script de continuité, un outil méthodologique pour analyser les pratiques enseignantes. *Actes au congrès international de l'AREF*, Strasbourg.
- Badreddine, Z., Buty, C., & Sousa do Nascimento, S. (2007). *Análise temática e análise de discurso em sala de aula de ciências: utilização do software Transana*. VI ENPEC. Florianopolis, Brazil, Novembre 2007.
- Bakhtine, M. (1986). *Speech genres and other late essays*. Austin: University of Texas.

Basque, J., & Lundgren-Cayrol, K. (2003). Une typologie des typologies des usages des « TIC » en éducation, *Télé-université*, 1-35.

Beaufils, D. (2005). *L'ordinateur outil de laboratoire en physique : quelles transpositions*. Lyon : INRP.

de Beaugrande, R.A., & Dressler, W.U. (1981). *Introduction to Text Linguistics*. London: Longman.

Beichner, R.J., & Abbott, D. (1999). Video-Based labs for Introductory Physics Courses. *Journal of college Science Teaching*, 29(2), 101-105.

Beichner, R.J. (1990). The effect of simultaneous motion presentation and graph generation in a kinematic lab. *Presented in the Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, Atlanta.

Blanchet, A., Gotman, A., & Singly, F. (1992). *L'enquête et ses méthodes : l'entretien*. Paris : Nathan.

Blanchet, A. (1985). *L'entretien dans les sciences sociales*. Paris : Dumod.

Brasel, H. (1987). The effects of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 385-395.

Braund, M., & Hames, V. (2005). Improving progression and continuity from primary to secondary science: pupils' reactions to bridging work. *International Journal of Science Education*, 27(7), 781-803.

Bucheton, D. (2009). Le modèle de « l'agir et ses ajustements ». In D. Bucheton (dir), *L'agir enseignant : des gestes professionnels ajustés*, 25-70. Toulouse : Octarès.

Bucheton, D., Bronner, A., Broussel, D., Jorro, A., & Larguier, M. (2005). Les pratiques langagières des enseignants : des savoirs professionnels inédits en formation. *Repères*, 30, 1-17.

Bucheton, D., Brunet, L., Dupuy, C., & Soulé, Y. (2008). Voyage au centre du métier. Le modèle des gestes professionnels des enseignants et leur ajustement. In D. Bucheton & O. Dezutter (dir). *Le développement des gestes professionnels dans l'enseignement du français*, 37-60. Bruxelles : De Boeck.

Buty, C., & Badreddine, Z. (2009). Quelques effets didactico-discursifs de l'utilisation des schémas dans un enseignement d'électricité. *Aster*, 48, 89-110.

Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J.F. (2004). Learning hypotheses and a associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579-604.

Catel, L. (2001). Ecrire pour apprendre ? Ecrire pour comprendre ? Etat de la question. *Aster*, 33, 17-47.

Charolles, M. (2005). *Framing Adverbials and their Role in Discourse Cohesion: From Connection to Foward Labelling*. In M. Aurnague, M. Bras, A. Le Draoulec & L.Vieu, SEM-05 Proceedings, Biarritz, 13-30.

Charolles, M. (1995). Cohésion, Cohérence et Pertinence du discours. *Travaux de Linguistique*, 29, 125-151.

Clot, Y. (2007). De l'analyse des pratiques au développement des métiers. *Éducation et didactique*, 1(1), 83-93.

Clot, Y., Faïta, D., Fernandez, G., & Scheller, L. (2000). Entretiens en autoconfrontation croisée : une méthode en clinique de l'activité. *Pistes*, 2, 1-7.

Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris : PUF.

Coince, D., Miguet, A.M., Perrey, S., Rondepierre, T., Tiberghien, A., & Vince, J. (2008). Une introduction à la nature et au fonctionnement de la physique pour les élèves de seconde. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, 102(900), 3-20.

Coquidé, M. & Le Maréchal, J.F. (2006). Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique : usages et impacts. *Aster*, 43, 47-56. Consulté du <http://ife.ens-lyon.fr/publications/editon-electronique/aster/RA043-01.pdf>

Cross, D., Khanfour-Armalé, R., Badreddine, Z., Malkoun, L., & Seck, M. (2009). Méthodologie de mise au point d'un consensus entre chercheurs : le cas du thème. Acte du premier colloque international de l'ARCD, Genève.

Davaillon, A., & Nauze-Fichet, E. (2004). Trajectoires scolaires des enfants « pauvres ». *Éducation et formations*, 70, 41-63.

Davies, D., & McMahon, K. (2004). A smooth trajectory: developing continuity and progression between primary and secondary science education through a jointly-planned projectiles project. *International Journal of Science Education*, 26(8), 1009-1021.

Davy, J., & Doulin, J. (1991). Schémas, nature, fonctions, valeurs. *Cibles « cultures et techniques »*, 25, 9-17.

Dubois, C. (2004). Ecrire pour apprendre en sciences. Produire un discours explicatif en classe de biologie (classes terminales). *Actes de communication au neuvième colloque de l'ARIDF*, Québec, 1-16.

Dubuc, L. (1982). *Classification des applications pédagogiques de l'ordinateur*. Montréal : Ministère de l'éducation (document interne).

Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Berne : Peter Lang.

El Hage, S., Buty, C., & Badreddine, Z. (2012). Cohérence discursive du savoir enseigné : cas où l'enseignant manipule un dispositif TICE. *Actes de communication à la septième rencontre de l'Association pour la Recherche en Didactique des Sciences et des*

Technologies, Bordeaux, 149-158. Consulté le 6 juillet 2012, <http://ardist.aix-mrs.iufm.fr/wp-content//ardist2012-bordeaux-actes.pdf>

El Hage, S., & Buty, C. (2012). The effect of an ICT on the coherence of the teacher discourse: case study of an electricity sequence at grade 12. Proceeding of the 10th international conference on *Computer Based Learning in Science*. Barcelona, 41-47. Consulté le 20 août 2012, <http://cblis2012.crecim.cat/proceedings/>.

El Mouhayar, R. (2007). *Étude des pratiques d'enseignement des mathématiques au niveau de l'école moyenne (11-15) dans le cas de l'algèbre en France et au Liban*. Thèse de doctorat. Université Lyon II : Lyon, Université libanaise : Beyrouth.

Engle, R., Conant, F., & Greeno, J. (2007). Progressive refinement of hypotheses in video-supported research. In R. Goldman, R. Pea, B. Barron & S. Derry (eds), *Video research in the learning sciences*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Estivals, R. (2003). *Théorie générale de la schématisation*. Paris : Harmattan.

Evagorou, M., Korfiatis K., Nicolaou, C., & Constantinou C. (2009). An investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: a case study with fifth-graders and sixth-graders. *International Journal of Science Education*, 31, 655-74.

Filliettaz, L. (2005). Mise en discours de l'agir et formation des enseignants. Quelques réflexions issues des théories de l'action. *Le français dans le monde*, Numéro spécial sur la thématique *Les interactions en classe de langues : contextes, ressources, enjeux*, 20-31.

Feurzeig, W., & Roberts, N. (1999). *Modelling and simulation in Science and Mathematics education*. New York, NY: Springer Verlag.

Feyfant, A. (2011). Les effets de l'éducation familiale sur la réussite scolaire. *Dossier d'actualité Veille et analyses*, 63. Consulté le 3 mars 2012, <http://ife.ens-lyon.fr/vst/DA-Veille/63-juin-2011.pdf>

Fischer, H., Duit, R., & Labudde, P. (2005). Video-studies on the Practice of Lower Secondary Physics Instruction in Germany and Switzerland - Design, Theoretical Frameworks, and a Summary of major findings. In R. Pintô & D. Couso (eds.), *Proceedings of the fifth international ESERA conference on contributions of research to enhancing students' interest in learning science*, Barcelone, 830-834.

Gaidioz, P., Vince, J., & Tiberghien, A. (2004). Aider les élèves à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 866, 1029-1042.

Gagnon, O. (2000). La cohérence textuelle. *Dialangue*, 11, 21-36.

Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The Brain's Concepts: The Role of the Sensory-Motor System in Conceptual Knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3/4), 455-479.

Gilbert, J., (2004). Models and modelling: routes to more authentic science Education.

International Journal of Science and Mathematics Education, 2, 115-130.

Gueudet, G., & Trouche, L. (2010). Des ressources aux documents, travail du professeur et genèses documentaires. In G. Gueudet & L. Trouche (dir) *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques*, 57-74. Lyon : Presses Universitaires de Rennes et INRP.

Gulich E., & Kotschi T. (1987), « Les actes de reformulation dans la consultation "La dame de Caluire" », in Bange P. *L'analyse des interactions verbales*. La Dame de Caluire : une consultation, Actes du colloque tenu à l'Université de Lyon 2, 15-81. Berne : Lang

Hacking, I. (2005). *Representing and intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.

Halliday, M.A.K., & Hasan, R. (1976). *Cohesion in English*. London: Longman.

Hobbs, J. (1983). Why is discourse coherent. In Neubaeuer (eds), *Coherence in natural-language texts*, 29-70. Hamburg: Busk.

Hogarth, S., Bennett, J., Lubben, F., Campbell, B., & Robinson, A. (2006). *ICT in science teaching, the effect of ICT teaching activities in sciences lessons on students' understanding of science ideas*. Consulté le 5 avril 2011, <http://eppi.ioe.ac.uk/cms/LinkClick.aspx?fileticket=pGZPQL4IPG8%3d&tabid=945&mid=2149>

Jaubert, M., & Rebière, M. (2009). Enseigner la lecture au cours préparatoire: des gestes de tissage complexes pour les débutants. In D. Bucheton (dir), *l'agir enseignant : des gestes professionnels ajustés*, 113-126. Toulouse : Octarès.

Johsua, S., & Dupin, J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: Presses universitaires de France.

Jonassen, D.H. (2000). *Computers as mindtools for schools: Engaging critical thinking* (2e éd.). Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall.

Jordan, B., & Henderson, A. (1995). Interaction Analysis: Foundations and Practice, *Journal of the Learning Sciences*, 1, 39-103.

Kaput, J.J. (1999). Representations, inscriptions, descriptions and learning: A Kaleidoscope of windows. *Journal of Mathematical Behaviour*, 17(2), 256-281.

Khanfour Armalé, R. (2008). *Structuration par le professeur des connaissances construites par des élèves ayant travaillé en autonomie lors d'une activité expérimentale de chimie*. Thèse de doctorat. Université Lumière Lyon II, Lyon.

Laborde, C. (2001). The use of new technologies as a vehicle for restructuring teachers' mathematics. In T. Cooney & F.L. Lin (eds), *Making sense of mathematics teacher education*, 87-109. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Latour, B. (1993). *La clef de Berlin et autres leçons d'un amateur de sciences*. Paris: Editions la Découverte.

Latour, B. (1990). Drawing things together. In M. Lynch & S. Woolgar (eds), *Representation in scientific Practice*, 19-68. First MIT Press.

Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Latour, B., & Woolgar, S. (1986). *Laboratory Life*. Princeton: Princeton University Press

Latour, B. (1985). Les « vues » de l'esprit. *Culture Technique*, 14, 4-29.

Le Maréchal, J.F., & Bécu-Robinault, K. (2006). La simulation en chimie au sein du projet Microméga. *Aster*, 43, 81-108.

Lemke, J. (2001). The long and the short of it: Comments on multiple timescale studies of human activity. *Journal of the Learning Sciences*, 10(12), 17-26.

Lemke, J. (2000). Across the Scales of Time: Artifacts, Activities, and Meanings in Ecosocial Systems. *Mind, Culture and activity*, 7(4), 273-290.

Lemke, J. (1990). *Talking Science: Language, Learning, and Values*. Norwood NJ: Ablex Publishing.

Lijnse, P. (2006). Models of/for teaching modelling. In van den berg, slooten (eds), *Conference on modelling in physics and physics education, Proceedings Groupe Internationale de Recherche sur l'enseignement de la physique*, 20-33. Amsterdam: University of Amsterdam.

Loncke, F.T., Campbell, J., England, A.M., & Halley, T. (2006). Multimodality : A basis for argumentative and alternative communication-psycholinguistic, cognitive and clinical/educational aspects. *Disability & Rehabilitation*, 28(3), 169-174.

Maingueneau, D. (1996). *Les termes clefs de l'analyse du discours*. Paris : Seuil.

Martin, J.R. (2003). Cohesion and texture. In D. Schiffrin, D. Tannen & H. E. Hamilton (eds), *The Handbook of Discourse Analysis*, 35-53. Oxford: Blackwell.

Martinand, J.L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.

Marlair, S., & Dufays, J.L. (2008). Quels gestes dans la classe pour quel enseignement-apprentissage de la littérature ? Regard sur quatre leçons de 5^e année du secondaire. In Bucheton, D. & Dezutter O. (eds), *Le développement des gestes professionnels dans l'enseignement du français un défi pour la recherche et la formation*, 61-82. Bruxelles : De Boeck.

Millar, R. (1996). Investigation des élèves en sciences : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, 9-30.

Méheut, M. (1996). Enseignement d'un modèle particulaire cinétique de gaz au collège. *Didaskalia*, 8, 7-32.

Mercer, N. (2000). *Words and Minds: how we use language to think together*. London: Routledge.

Mercier, A., Schubauer-Leoni, M. L., Donck, E., & Amigues, R. (2005). The intention to teach and school learning: The role of time. In A.N. Perret Clermont (eds), *Thinking time: A multidisciplinary perspective on time*, 141-154. USA, Canada, Switzerland: Hogrefe & Huber.

Mollo, V. & Falzon, P. (2004). Auto- and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied Ergonomics*, 35(6), 531-540.

Mondada, L. (2006). Multiactivité, multimodalité et séquentialité: l'initiation de cours d'action parallèles en contexte scolaire. *Interactions verbales, didactiques et apprentissage*. In M.C. Guernier, V. Durand-Guerrier & J.P. Sautot., 45-72. Besançon : Presses Universitaires de Franche Comté.

Mondada, L. (2005). *Chercheurs en interaction*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.

Morgan, C. (1998). *Writing mathematically. The discourse of investigation*. London: Falmer Press.

Mortimer, E., & Buty, C. (2008). What does « in the infinite » mean ?: The Difficulties with Dealing with the Representation of the « Infinite » in a Teaching Sequence on Optics. In C. Andersen, N. Scheuer, M.d.P. Pérez Echeverría & E.V. Teubal (eds). *Representational Systems and Practices as Learning Tools*, 225-243. Rotterdam, Taipei: Sense Publishers.

Mortimer, E., Massicame, T., Tiberghien, A., & Buty, C. (2007). Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de ciências. In R. Nardi. (Org). A pesquisa em ensino de ciências no Brasil: alguns recortes. 1 ed. São Paulo: *Escrituras*, 1, 53-94.

Mortimer, E., & Scott, P. (2003). *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*. Buckingham: Open University Press.

Oddone, I., Rey, A. & Briante, G. (1981). *Redécouvrir l'expérience ouvrière. Vers une autre psychologie du travail*. Paris : Editions sociales.

Penner, D. (2000). Cognition, computers and synthetic science: building knowledge and meaning through modeling. *Review of Research in Education*, 25, 1-35.

Pimm, D. (1987). *Speaking mathematically. Communication in mathematics classrooms*. London, New York: Routledge.

Pinto, R., Cousa, D., & Hernandez, M.I. (2010). An inquiry-oriented approach for making the best use of ICT in the classroom. *eLearning Papers*, 20, 1-13.

Pinto, R., Couso, D., & Oro, J. (2009). A teaching approach about acoustics integrating different ICT and combining knowledge from different fields. In E. Van den Berg, A.L. Ellermeijer, O. Slooten (eds), *Modelling in Physics and Physics Education*, 379-385. Amsterdam: Amstel institute, University of Amsterdam.

Pinto, R., Couso, D., & Gutierrez, R. (2004). Using research on Teachers' Transformations of Innovations to Inform Teacher Education. The case of Energy Degradation. *REVISTA: Science Education*, 89, 38-55.

Plante, J.L. (1984). Une classification ouverte des applications pédagogiques de l'ordinateur. *Vie pédagogique*, 31, 26-29.

Robardet, G., Guillaud, J.C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : P.U.F.

Roth, W.M., & McGinn, M. K. (1998). Inscriptions: Toward a theory of representing as social practice. *Review of Education Research*, 68(1), 35-59.

Roulet, E. (2001). L'organisation énonciative et l'organisation polyphonique. In E. Roulet, L. Filliettaz & A. Grobet (eds), *Un modèle et un instrument d'analyse de l'organisation du discours*, 277-305, Berne : Peter Lang.

Roulet, E. (1999). *La description de l'organisation du discours. Du dialogue au texte*. Paris : Didier.

Roulet, E., Auchlin, A., Moeschler, J., Rubattel, C., & Schelling, M. (1985). *L'articulation du discours en français contemporain*. Berne : Peter Lang.

Selter, C. (1993). *Eigenproduktionen im Arithmetikunterricht der Primarstufe*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.

Sensevy, G. (2001). Théories de l'action et action du professeur. In : J-M Baudouin & J.Friedrich (ed). *Théories de l'action et éducation*, 203-22 .Bruxelles : De Boeck.

Schreiber, C. (2003). Externalisation and inscription in a chat-environment. In ERME Proceedings 2003, 1-10. Consulté le 25 juin 2012, http://www.dm.unipi.it/~didattica/CERME3/proceedings/Groups/TG8/TG8_Schreiber_cerne_3.pdf

Schnitz, W., & Lowe, R. (2003). External and internal representations in multimedia learning [special issue]. *Learning and Instruction*, 13(2).

Schnitz, W. (2002). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review*, 14(1), 101-120.

Scott, P., Mortimer, E., & Aguiar, O. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: a fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90(7), 605-631.

Seck, M. (2007). *Comparaison des pratiques de classes dans le cas de l'énergie en première scientifique (grade 11) : Analyse à l'aide du logiciel Transana*. Lyon II, Lyon. Consulté le 5 mars 2011, <http://fastef.ucad.sn/memthes/mouhamadouneck.pdf>

Sowayssi, N. (2005). *Liens entre pratiques d'enseignement et acquisition des élèves. Analyse du point de vue du fonctionnement du savoir*, mémoire de Master. Université Lyon 2.

Stigler, J.W., Gonzales, P., Kawanaka, T., Knoll, S., & Serrano, A. (1999). *The TIMSS Videotape Classroom Study : Methods and Findings from an Exploratory Research Project on Eighth-Grade Mathematics Instruction in Germany, Japan, and the United States*. Washington DC: National Center for Education Statistics Office of Educational Research and Improvement U.S. Department of Education.

Taber, K. (2006). Conceptual integration: a demarcation criterion for science education ? *Physics Education*, July 2006, 286-287.

Taylor, R.P. (1980). *The Computer in the School: Tutor, Tool, Tutee*. New York: Teachers College Press.

Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach and J. Osborne (eds): *Improving science education: the contribution of research*. Buckingham, 27-47. UK: Open University Press.

Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.

Tiberghien, A., Vince, J., Gaidioz, P., & Coince, D. (2011). Professional development of teachers and researchers in a collaborative development of teaching resources. In C. Linder, L. Ostman, D. A. Roberts, P. O. Wickman, G. Erickson, & A. MacKinnon, *Exploring the landscape of scientific literacy*, p. 255-271. New York: Routledge.

Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275-2314.

Tiberghien, A., & Malkoun, L. (2007). Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisitions des élèves du point de vue du savoir. *Education et Didactique*, 1, 29-54.

Tiberghien, A., & Buty, C. (2007). Studying science teaching practices in relation to learning. Times scales of teaching phenomena. In R. Pintó & D. Couso (eds.), *Contributions from Science Education Research, ESERA Selected Contributions*, 59-75. Berlin: Springer.

Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N., & Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. In G. Sensevy & A. Mercier (eds), *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*, 93-122. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

Tochon, F.V. (1993). *L'enseignant expert*. Paris : Nathan

Van Someren, M., Reimann, P., Boshuizen, H., & de Jong, T. (1998). *The role of multiple representations in learning and problem solving*. Oxford : Elsevier Science.

Varenne, F. (2006). *Les notions de métaphore et d'analogie dans les épistémologies des modèles et des simulations*. Paris : Pétra.

Veillard, L., Tiberghien, A., & Vince, J. (2011). Analyse d'une activité de conception collaborative de ressources pour l'enseignement de la physique et la formation des professeurs : le rôle de théories ou outils spécifiques. *Activités*, 8(2), 202-227.

de Vries, E. (2006). *Représentation et Technologie en Education*. Habilitation à Diriger les Recherches. Université Pièrre-Mendès-France, Grenoble II, France. Consulté le 20 juin 2012, http://webu2.upmf-grenoble.fr/sciedu/edevries/reprints/edv_hdr_dec06.pdf

de Vries, E. (2001). Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ? *Revue Française de Pédagogie*, 137, 105-116. Watts, N. (1981). A Dozen Uses for the Computer in Education. *Educational Technology*, 21(4), 18-22.

Ziman, J. (2001). *Real Science: what it is, and what it means*. Cambridge: Cambridge University Press.

B.O. H.S. n°4, 30 août 2001, classe de terminale S.