



**HAL**  
open science

# Analyse de l'action didactique, de sa continuité et de ses déterminants : cas de l'enseignement de titrage acide-base en classes terminales tunisiennes

Ali Nouri

## ► To cite this version:

Ali Nouri. Analyse de l'action didactique, de sa continuité et de ses déterminants : cas de l'enseignement de titrage acide-base en classes terminales tunisiennes. Education. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II; Université virtuelle de Tunis, 2016. Français. NNT : 2016TOU20101 . tel-01907870

**HAL Id: tel-01907870**

**<https://theses.hal.science/tel-01907870v1>**

Submitted on 29 Oct 2018

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

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



# THÈSE

En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse - Jean Jaurès

Cotutelle internationale avec l'Université Virtuelle de Tunis

---

**Présentée et soutenue par :**

**Ali NOURI**

le 8 décembre 2016

**Titre :**

**ANALYSE DE L'ACTION DIDACTIQUE, DE SA CONTINUITÉ ET DE SES  
DETERMINANTS. CAS DE L'ENSEIGNEMENT DE TITRAGE ACIDE – BASE EN  
CLASSES DE TERMINALES TUNISIENNES**

**Tome 1**

---

**École doctorale et discipline ou spécialité :**

ED CLESCO : Didactique des disciplines scientifiques

**Unité de recherche :**

UMR Education Formation Savoirs

**Directeur/trice(s) de Thèse :**

Pr. Patrice VENTURINI

Pr. Habib BATIS

**Jury :**

Habib BATIS, Professeur des Universités, Directeur de thèse  
Mohamed Lamine BEN ABDERRAHMAN, Professeur des Universités, Rapporteur  
Jean-Marie BOILEVIN Professeur des Universités, Rapporteur  
Abdelmajid NACEUR, Maître de conférences HDR, Examinateur  
Isabelle KERMEN, Maître de conférences HDR, Examinatrice  
Patrice VENTURINI, Professeur des Universités, Directeur de thèse



# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de mon père **MABROUK NOURI** et la mémoire de ma mère **FATMA GHRIS**.

Que Dieu miséricordieux et compatissant vous accueille dans son éternel paradis.

A ma très chère épouse **FATMA** : il n'y a pas des mots assez forts pour exprimer ma reconnaissance à l'égard de tout ce que tu faisais pour moi. Merci d'être toujours à mes côtés.

A la perle de mes yeux, ma fille bien aimée **NOUR** : ma princesse, tu es celle qui me donne des ailes.

À mes frères, mes sœurs, mes beaux-frères et belles sœurs, ainsi que leurs enfants.

À tous mes ami(e)s et collègues.

# Remerciements

Mes remerciements vont en tout premier lieu à Habib BATIS et Patrice VENTURINI qui ont accepté de diriger ce travail de recherche. Sincèrement, j'ai eu la chance de les avoir comme directeurs de thèse ; ils m'ont orienté patiemment tout au long du parcours pour mener à bien cette recherche. J'ai beaucoup apprécié leurs grandes compétences scientifique et communicationnelle. J'ai énormément appris d'eux tant au niveau scientifique que humain.

Je remercie également Chiraz KILANI, ma directrice de master, pour son soutien précieux et son encouragement dans les moments difficiles.

Toute ma reconnaissance va également aux enseignants qui ont accepté d'être observés et filmés. Je les remercie tous très chaleureusement pour leur collaboration dont ils ont fait preuve et pour la gentillesse qu'ils ont manifesté tout au long de l'enregistrement des séances et des interviews.

Je remercie, bien entendu Madame Isabelle Karmen et Messieurs Lamine Abderrahmen, Jean-Marie Boilevin et Abdelmajid Naceur d'avoir pris la gentillesse d'évaluer ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements au corps administratif de deux écoles doctorales, DISEMEF à Tunis et CLESCO à Toulouse, en particulier à Moufida KHEDRI et Christelle HERRAUD qui m'ont beaucoup aidé à régler les tâches administratives.

Enfin, je remercie naturellement ma famille et tout particulièrement à Fatma, pour son soutien permanent et pour la patience dont elle a su faire au quotidien, et à Nour, qui m'a trouvé parfois lointain.



# Sommaire

Dédicaces.....	3
Remerciements.....	4
Sommaire.....	6
Introduction.....	9
Chapitre 1 - Action didactique : analyse et compréhension.....	12
I - Les pratiques enseignantes.....	12
I.1 - Analyse des pratiques enseignantes : une diversité d'approches.....	13
I.2 - Analyse des pratiques enseignantes : intérêt et objectifs.....	16
I.3 - En guise de conclusion : de l'analyse des pratiques à l'analyse de l'action didactique.....	17
II - Théorie de l'action conjointe en didactique (TACD).....	17
II.1 - Situation didactique.....	18
II.2 - Institution.....	19
II.3 - Action didactique.....	21
II.4 - En guise de conclusion : vers une modélisation de l'action didactique.....	30
III - Vers une description de l'action didactique.....	30
III.1 - Grammaire de l'action didactique.....	31
III.2 - Doublet contrat – milieu.....	31
III.3 - Triplet de genèses.....	39
III.4 - Quadruplet de types de stratégies professorales.....	42
III.5 - En guise de conclusion : de l'analyse de l'action à l'analyse de statut de la référence commune.....	46
IV - Vers une compréhension de l'action didactique.....	47
IV.1 - Difficulté de comprendre l'action didactique.....	47
IV.2 - La Construction du jeu.....	48
IV.3 - Déterminants de l'action didactique.....	49
V - Etude de travaux antérieurs relatifs à la TACD.....	58
V.1 - Etude de Venturini & Tiberghien (2012).....	59
V.2 - Etude de Tiberghien & Malkoun (2007).....	60
V.3 - Etude de Seck (2008).....	60
V.4 - Etude de Cross (2010).....	61
V.5 - Etude d'Hervé et al. (2013).....	62
V.6 - En guise de conclusion.....	63
Chapitre 2 - La variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base : étude épistémologique, didactique et institutionnelle.....	64
I - Les réactions acido-basiques : étude épistémologique.....	64
I.1 - Abrégé historique des notions d'acide et de base.....	65
I.2 - Mesure de l'acidité d'une solution en milieu aqueux.....	76
I.3 - pH des solutions acides et basiques en milieu aqueux.....	83
I.4 - Les titrages acidobasiques.....	87
I.5 - En guise de conclusion.....	97

II - Variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base : étude didactique.....	98
II.1 - Revue de travaux sur les difficultés des élèves lors de l'apprentissage de titrage acido-basique .....	98
II.2 - Difficultés d'enseignement des acides et des bases .....	102
II.3 - Relations entre données empiriques, représentations graphiques, symboliques et contenus théoriques .....	103
II.4 - En guise de conclusion .....	105
III - Variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base : étude institutionnelle .....	107
III.1 - Système éducatif tunisien .....	107
III.2 - Attentes institutionnelles relatives à l'enseignement des sciences physiques et chimiques .....	108
III.3 - Analyse du programme officiel et du contenu à enseigner .....	109
III.4 - En guise de conclusion .....	117
Chapitre 3 - Problématique et questions de recherche .....	120
Chapitre 4 - Cadre méthodologique .....	124
I - Principes généraux .....	124
II - Enseignants observés, classes et établissements concernés .....	126
III - Recueil des données.....	127
III.1 - Les séances d'enseignement.....	127
III.2 - Les entretiens avec les enseignants .....	129
IV - Réduction des données .....	132
IV.1 - Transcription .....	133
IV.2 - Structuration de la séance : granularité de plus en plus fine .....	134
IV.3 - Construction du synopsis .....	135
V - Traitement des données .....	136
V.1 - Les données traitées .....	136
V.2 - Méthode de traitement des données .....	140
VI - Résumé de la méthodologie.....	158
VI.1 - Données analysées .....	158
VI.2 - Traitement des données .....	158
Chapitre 5 - Résultats et discussion .....	159
I - Résultats.....	159
I.1 - Analyse de l'action conjointe pour le professeur P1 .....	160
I.2 - Analyse de l'action de la professeure P2 .....	239
I.3 - Comparaison des caractéristiques de l'action de deux enseignants.....	283
II - Compréhension de l'action conjointe et discussion .....	292
II.1 - Compréhension de l'action didactique : les déterminants de l'action .....	293
II.2 - Discussion : approche réflexive sur l'étude .....	299
Chapitre 6 - Conclusion générale.....	303
I - Conclusion .....	303
II - Perspectives.....	306
Bibliographie.....	307



Table des illustrations.....	321
Table des matières.....	325

# Introduction

Les mutations profondes qui affectent la société tunisienne, suite aux évènements de 17 décembre 2010 – 14 janvier 2011<sup>1</sup>, font naître une volonté politique d'entreprendre des réformes de système éducatif afin de l'améliorer et le rendre efficace. Le ministère de l'Éducation s'engage avec ses partenaires<sup>2</sup> dans une réforme du système éducatif, lancée à la suite du dialogue national entamé en Avril 2015. Cette réforme, réalisée dans un contexte économique alarmant et une paix sociale et sécuritaire fragiles, est d'importance capitale pour relever les défis non seulement de croissance et de développement mais aussi afin garder les élèves d'aujourd'hui, citoyens de demain, à l'abri des mouvements théocratiques.

Le ministère vient de publier au mois de mai 2016 « le livre blanc<sup>3</sup> pour la réforme du système éducatif tunisien » (MET, 2016). « Améliorer la qualité de l'enseignement et des acquis des élèves » est un des défis que soulève ce livre blanc, résumant par là-même l'ensemble des problèmes de l'éducation. Toutefois, le livre blanc ne propose pas les moyens à opérationnaliser pour relever ce défi et se limite à un discours insistant sur la politique de formation initiale des enseignants, leur recrutement, leur formation continue et de la gestion de leur carrière. Les études en sciences de l'éducation montrent un lien étroit entre les pratiques d'enseignement et les acquis des élèves. Notre recherche vise à analyser et comprendre les pratiques d'enseignement in situ en chimie, en lien avec les enjeux économiques et sociales, et en terminales, là où on prépare l'enseignement supérieur. Nous avons pris pour cela un enseignant expérimenté et une enseignante novice, dans l'enseignement des classes terminales, pour mieux comprendre ce que la formation doit apporter à la seconde pour qu'elle gagne rapidement en expérience. Notre étude s'inscrit alors dans un courant dont le but est de produire des connaissances pour les prendre en

---

<sup>1</sup> Un soulèvement populaire contre le président Ben Ali qui a fini par sa destitution.

<sup>2</sup> En particulier l'Union générale des travailleurs tunisiens et l'institut arabe des droits de l'homme.

<sup>3</sup> Un document ministériel, préparé par la commission de pilotage du projet, fixe les grandes orientations de la nouvelle réforme du système éducatif tunisien

compte dans la formation des enseignants et contribuer ainsi à leur développement professionnel.

Notre manuscrit est structuré en sept chapitres. Nous développons dans le premier le cadre conceptuel de cette recherche. Celui-ci est organisé autour de la Théorie de l'Action Conjointe en Didactique (TACD) mais aussi de quelques outils empruntés à d'autres champs de recherche. Ainsi, nous détaillons les concepts que nous utiliserons en tant que descripteurs de l'action in situ ainsi que ses déterminants selon la TACD.

Le deuxième chapitre est architecturé en trois parties. La première partie a une vocation épistémologique. Nous y retraçons l'histoire du concept pH et nous évoquons les grandes théories permettant de comprendre les notions des acides et des bases ; nous y étudions aussi la mesure de l'acidité d'une solution en milieu aqueux pour comprendre la transposition qui en a été faite à l'échelle des classes terminales scientifiques. La deuxième partie est d'orientation didactique ; elle explicite les difficultés d'enseignement/apprentissage, relatives à la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base, mises à jour dans les recherches en didactique de la chimie. Enfin, la troisième partie est d'ordre institutionnel : nous y indiquons les modalités de mise en œuvre officielles de cet objet de savoir dans l'enseignement de la chimie dans les classes terminales scientifiques tunisiennes.

Ces deux premiers chapitres nous permettent aussi de développer notre problématique et de construire les questions de recherches correspondantes dans le chapitre 3. Dans cette problématique, nous nous positionnons dans une analyse ascendante dans l'analyse des pratiques enseignantes et nous nous inscrivons dans une perspective comparatiste expérimenté/novice.

La méthodologie d'orientation clinique et relevant de l'étude de cas est explicitée dans le chapitre 4. Classiquement, nous y exposons la méthode que nous avons utilisée pour recueillir, réduire et traiter les données empiriques, au regard de nos questions de recherche.

Le chapitre 5 est consacré aux résultats de l'étude empirique et à la discussion. L'analyse fine de plusieurs séances à l'aide des descripteurs développés dans la partie théorique nous permet de dégager les caractéristiques de la pratique observée pendant ces séances pour chaque enseignant et de les comparer. Nous discutons notamment les déterminants de leurs

actions en particulier l'épistémologie pratique de chacun d'eux inférée de la description des pratiques observées pour tenter de les comprendre.

Le chapitre six est dédié à la conclusion générale de notre recherche. Nous exposons une synthèse de nos résultats. Nous dégageons les implications de la thèse dans le contexte tunisien notamment dans la formation des enseignants. Dans les perspectives nous évoquons des pistes en lien avec la poursuite de travail de cette recherche aussi bien sur le plan théorique que sur le plan de développement professionnel des enseignants.

# **Chapitre 1 - Action didactique : analyse et compréhension**

Ce chapitre se veut être un cadre théorique de notre étude. Nous faisons au départ un balayage sur le concept « pratiques enseignantes » notamment, les modalités de leurs analyses. Ensuite nous proposons une étude élargie sur la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) que nous optons comme cadre théorique pour analyser l'action didactique. Cette théorie nous offre en effet, les moyens à la fois pour analyser et comprendre cette action. Nous terminons ce chapitre par une étude de quelques travaux antérieurs qui ont utilisés notamment comme cadre théorique la TACD.

## **I - Les pratiques enseignantes**

Dans ce paragraphe, nous commençons par un bref balayage des nombreuses interprétations, selon les disciplines, les champs théoriques et les problématiques, données au concept « pratiques enseignantes ». La définition de ce concept n'est pas toutefois, le focus central de cette partie même si nous en donnons quelques-unes. Nous évoquons ensuite, les manières de décrire ces pratiques. Par la suite, nous signalons l'intérêt et les objectifs de l'analyse des pratiques enseignantes. Enfin, nous donnons notre position et l'approche adoptée pour atteindre le but de cette étude, celui de l'analyse de l'action didactique lors de l'enseignement d'un objet de savoir, celui de « la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base ».

Les pratiques enseignantes constituent une notion considérablement large, elles « recouvrent d'abord ce que font les enseignants dans la classe lorsqu'ils sont en présence des élèves [...] mais aussi, hors de la classe pour la préparation didactique des séances, pour la socialisation de leurs élèves avec des collègues, des acteurs en partenariat, des parents » (Altet, Blanchard-Laville, & Bru, 2012, p. 13). Selon Altet (2002), la pratique enseignante est définie comme étant « la manière de faire singulière d'une personne, sa façon réelle, propre, d'exécuter une activité professionnelle qui est l'enseignement » (Altet, 2002, p. 86). Enseigner c'est, organiser et mettre en œuvre des conditions (cognitives, relationnelles, sociales, institutionnelles,

matérielles, temporelles...) d'apprentissage. Pour elle, la particularité des tâches d'enseignement est qu'elles couvrent « deux champs de pratiques différentes mais interdépendantes, la didactique et la pédagogie » (Altet, 1996).

Pour (Bru, Altet, & Blanchard-Laville, 2004), le terme « pratiques enseignantes », a été préféré à celui de « méthodes d'enseignement » puisque selon ces auteurs ce dernier est un concept « trop général et trop programmatique pour rendre compte des pratiques enseignantes ».

Chevallard (1999) postule que les pratiques enseignantes constituent une activité humaine que l'on peut caractériser par un quadruplet : types de tâches présents dans une institution donnée, techniques permettant d'accomplir ces tâches, technologies justifiant ces techniques et enfin théories justifiant les technologies adoptées. Ce quadruplet constitue ce que Chevallard appelle « praxéologie », et on peut lire dans la pratique enseignante des praxéologies disciplinaires et didactiques, les premières rendant compte de l'activité de l'élève et les secondes de l'activité de l'enseignant.

## **I.1 - Analyse des pratiques enseignantes : une diversité d'approches**

Il existe de nombreux courants et modèles de recherche développés en science de l'éducation pour étudier et analyser les pratiques enseignantes. Le modèle processus/produit d'origine béhavioriste a été un des premiers. D'autres modèles ont alors vu le jour, notamment le modèle cognitiviste du *teacher thinking* ou encore le modèle situationniste ou « écologiste » dans lequel la situation prend une place prépondérante. Enfin, une approche systémique largement utilisée dans le milieu francophone cette dernière décennie a permis de mieux comprendre le processus d'enseignement/apprentissage dans son contexte.

### **I.1.1 - Modèle processus – produit**

Les recherches sur les pratiques enseignantes ont débuté en USA très tôt, dès les années 1950 dans le cadre des recherches sur l'enseignement efficace à travers le modèle « processus/produit ». Ces travaux réduisaient l'étude de l'enseignement aux seuls comportements observables de l'enseignant et visaient à déterminer l'efficacité de l'enseignement correspondant (Walberg, 1993). Les manières d'enseigner étaient analysées pour leurs effets sur les performances des élèves sans être théorisées. Fondées sur une approche behavioriste qui postule des relations entre les comportements du maître, sa

personnalité, ses caractéristiques et les résultats des élèves, ces recherches mettent l'accent sur le rôle primordial de l'enseignant et minimisaient les variables venant des élèves ou des contenus (Altet, 2002). Les recherches du type processus-produit n'avaient pas pour seule ambition de décrire le processus d'enseignement-apprentissage, elles visaient à identifier les comportements produisant de bons résultats pour les développer chez tous les enseignants et améliorer le processus d'enseignement-apprentissage (Doyle, 1986, cité par Bru, 2002).

Ces travaux ont mis en évidence l'importance du rôle de l'enseignant dans le processus d'enseignement apprentissage mais ce rôle dans la progression des élèves n'est pas exclusif (Bru, 2002). Certes, ces travaux ont permis de souligner l'importance de ce qui se passe au niveau de la classe et de la pratique du maître, de repérer des variables en jeu, de voir des régularités, mais, ils ne prennent pas en compte la position de l'élève comme acteur dans un processus interactif d'enseignement apprentissage. L'absence des variables liées au contexte et à l'élève, n'a pas permis de comprendre comment ces variables interagissent (Altet, 2002).

### **I.1.2 - Modèle cognitiviste**

L'action dans la recherche s'est alors déplacée vers les cognitions ou pensées qui sous-tendent les actions d'un enseignant et s'inscrivent alors dans le paradigme cognitif. L'objet de la recherche n'est plus « l'observable » (le comportement observable) au sens du behaviorisme mais « ce qui se passe dans la tête des enseignants, quelles sont ses théories personnelles, ses croyances, ses représentations qui font qu'il agit de la sorte ou qui permettent de comprendre pourquoi il fait comme il fait » (Altet, 2006). De son côté, Schon (1983) insiste dans son modèle de « praticien réflexif », sur le fait que les connaissances des enseignants professionnel-experts sont construites dans une « une réflexion en action », pour comprendre le processus complexe de l'enseignement. Avec l'arrivée des théories cognitives de l'apprentissage, l'élève devient acteur, le rôle du maître change. Il agit en interaction avec les élèves et « la problématique de la recherche contemporaine sur l'enseignement porte sur l'articulation du processus enseignement-apprentissage en situation et en contexte » (Altet, 1994).

### **I.1.3 - Modèle situationniste**

Le courant « écologiste » appelé aussi « situationniste » (Altet, 2006), attribue un rôle prépondérant à la prise en compte de la situation d'enseignement dans toutes ses particularités pour étudier et comprendre les pratiques enseignantes. Les pratiques

enseignantes en situation peuvent se comprendre selon ce point de vue dans le couplage « action-cognition-situation ». En effet, l'action ne peut avoir un sens que par rapport à un contexte prédéfini, celui de la situation. Elle se situe dans « la transaction » entre organisme et environnement (Marcel, Olry, Rothier-Bautzer, & Sonntag, 2002).

#### **I.1.4 - Vers un modèle fédérateur**

Chacun des modèles décrit ci-dessus se focalise sur un point de vue particulier mettant l'accent sur le comportement de l'enseignant, sur ses connaissances, ou sur la situation afin de construire le matériel empirique dans le but de décrire et interpréter les pratiques enseignantes. Ces pratiques ne peuvent pas être décrites par leurs composantes morcelées dans la mesure où la réalité est beaucoup plus complexe et où une prise en compte plus globale de l'ensemble des variables offre certainement des possibilités plus intéressantes (Alet, 2002 ; Bednarz & Perrin-Glorian, 2004 ; Hache, 1999 ; Robert, 2001 ).

Pour cerner les pratiques de l'enseignant et prendre en compte plusieurs aspects de celles-ci, Altet, (1991) propose un modèle « interactionniste ». Ce modèle permet de mieux rendre compte des pratiques enseignantes, en envisageant une entrée par les interactions pour amalgamer « les multiples dimensions, épistémique, pédagogique, didactique, psychologique et sociale, qui composent la pratique, interagissent entre elles pour permettre à l'enseignant de s'adapter à la situation professionnelle et de gérer conjointement l'apprentissage des élèves et la conduite de la classe » (Altet, 2002, p. 86). Elle ajoute que « ce modèle prend d'abord en compte les variables d'action opératoires observables concernant à la fois l'enseignant, les élèves et leurs interrelations. Elle y adjoint ensuite les variables médiatrices sous-jacentes (cognitives, socio-affectives, psychologiques ou sociales) à l'œuvre dans une situation pédagogique et elle y ajoute enfin les interprétations de la situation par les acteurs (Altet, 2002, p. 86). Dans cette perspective des approches interactionnistes, les pratiques enseignantes peuvent être vues comme « travail interactif d'ajustement, de négociations, de transactions et de compromis permanent entre les acteurs en situation » (Altet, 2002, p. 87). Toutefois, Amiel, Bru, Dauvisis, Laffont et Not (1981), par leur modèle « interactions en contexte » ont également fait valoir que, pour rendre compte des conduites d'enseignement et d'apprentissage dans leur contexte, il est nécessaire d'expliquer les pratiques enseignantes à partir d'une approche systémique. « Le système Enseignement-Apprentissage se présente



comme un ensemble de sous-systèmes qui entretiennent entre eux et avec leur environnement de multiples échanges » (Amiel et al., 1981, p. 48). Bru (1991) présente « une approche systémique » dans laquelle l'enseignement et l'apprentissage forment un système dont les éléments sont simultanément dépendants et autonomes. Cette approche selon lui, incorpore la dimension structurale et la dimension organisationnelle : « étudier l'enseignement dans son rapport à l'apprentissage dans une perspective systémique, c'est chercher à connaître la structure concrète des composantes de ces rapports, mais aussi rechercher les relations et leurs transformations » (Bru, 1991, p. 50).

Le point fort de cette approche systémique selon Marcel et al. (2002) est qu'elle a permis la rupture avec les résultats des anciennes recherches en éducation prévoyant que les performances des élèves ne sont que « l'effet » d'un nombre très limité de variables d'une part, d'autre part, qu'elle a contribué à la modélisation du système enseignement-apprentissage.

Nous nous situons dans cette dernière perspective et notre travail s'inscrit dans le courant qui comme l'indique Sensevy (2007, p. 13) « consiste dans la production d'un vocabulaire qui permette des descriptions systémiques des processus d'enseignement et d'apprentissage ».

## **I.2 - Analyse des pratiques enseignantes : intérêt et objectifs**

Marcel et al. (2002), présentent trois visées différentes à la recherche des pratiques enseignantes :

- la production de savoirs : la recherche produit dans ce cas des concepts et des outils permettant la compréhension et la théorisation des pratiques enseignantes (rapport au savoir, contrat didactique, transposition didactique, conflit socio-cognitif...).
- la professionnalisation : selon ces auteurs, l'intention de professionnalisation est très liée à la compréhension de la pratique et le questionnement du sujet sur sa propre démarche et son attitude ainsi que la construction d'une identité professionnelle. Cette compréhension se réalise par la formation des enseignants, considérée en tant qu'enjeu fondamental permettant l'amélioration de leurs pratiques.
- l'évolution des pratiques : l'évolution des pratiques est intimement liée à la formation des enseignants du fait que ceux-ci mettent en œuvre de nouvelles stratégies et démarches plus adéquates pour un plus grand rendement du système éducatif.

Pour Altet (1996), l'analyse par des chercheurs des pratiques enseignantes « sert aux praticiens et aux formateurs à expliciter des savoirs de la pratique, à formaliser des savoirs sur la pratique, à partir de leurs confrontations sur leurs expériences ainsi qu'à l'aide des outils de formalisation construits par la recherche : action/formation/recherche sont articulées. ». Toutefois, on peut à la fois, selon Bru (2002), analyser les pratiques pour les comprendre et aussi pour les améliorer. Il avance aussi l'idée que l'analyse des pratiques enseignantes permet de concevoir un ensemble organisé des savoirs liées aux pratiques pour construire « des modèles pour la pratique » sur lesquels les enseignants vont s'appuyer pour décrire, expliquer et comprendre leurs pratiques, pour opérer « un recul critique par rapport au faire » et pour « concevoir et guider l'action ».

### **I.3 - En guise de conclusion : de l'analyse des pratiques à l'analyse de l'action didactique**

Nous considérons, en référence à Sensevy (2007), que le concept « pratiques enseignantes » relatives à l'enseignement apprentissage d'un savoir est compatible avec « l'action didactique » qui recouvre « ce que les individus font dans les lieux (des institutions) où l'on enseigne et où l'on apprend » (Sensevy & Mercier, 2007, p. 13). Nous envisageons, dans ce qui suit, de développer l'analyse de l'action didactique lors de l'enseignement d'un savoir, celui de la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base, en se basant sur la théorie de l'action conjointe en didactique. Nous décrivons davantage cette théorie et les outils conceptuels utilisés pour réaliser cette analyse dans le chapitre suivant.

## **II - Théorie de l'action conjointe en didactique (TACD)**

Nous venons d'évoquer les courants et les objectifs de recherche sur les pratiques enseignantes. Notre approche des pratiques enseignantes est appuyée sur les travaux des chercheurs comparatistes en didactique qui considèrent que « pratiques d'enseignement-apprentissage » et « action didactique » sont des termes équivalents. Nous proposons par la suite, au cours de ce travail, dans une visée heuristique, de développer une analyse de l'action didactique lors de l'enseignement d'un sujet particulier, en nous inscrivant dans une approche comparatiste. Cette approche, investit « les processus d'enseignement et d'apprentissage en s'intéressant au fonctionnement des systèmes didactiques à partir d'un point de vue

*minima* ternaire liant irréductiblement savoir-professeur-élève(s) » (Amade-Escot & Venturini, 2008, p. 7). Elle suppose aussi, « l'étude et la modélisation de l'action effective de celui qui enseigne et de ceux qui apprennent dans des conditions données, avec des effets sur le système triadique ainsi que sur ses composantes » (Schubauer Leoni & Leutenegger, 2002, p. 233). Cette approche nous amène à inscrire notre recherche dans le cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD), développée depuis une dizaine d'année par des chercheurs comparatistes, (Amade-Escot & Venturin, 2008, 2009 ; Schubauer Leoni, Leutenegger, Ligozat, & Fluckiger, 2007 ; Sensevy, 2001, 2002, 2003, 2007, 2008, 2010, 2011, Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, Mercier, & Schubauer-Leoni, 200 ; Venturini, 2007), et tout en empruntant des divers outils conceptuels de la théorie des situations didactiques (TSD) (Brousseau, 1986) et de la théorie anthropologique du didactique (TAD) (Chevallard, 1992).

La théorie de l'action conjointe en didactique s'inscrit elle-même dans une perspective « située » des phénomènes d'enseignement d'apprentissage, où on envisage que l'acteur construit les situations d'apprentissage via le couplage action/situation selon la nature du savoir enseigné (Amade-Escot, 2007). A cet égard, Sensevy (2002), défend une conception adaptationniste de l'action. Selon lui, agir, c'est « s'adapter à un environnement » (Sensevy, 2002, p. 25) et sa description nécessite selon lui la présence de deux notions, situation et institution. Nous commençons ce panorama de description d'outils par ces deux notions.

## **II.1 - Situation didactique**

La notion de situation est une notion centrale dans la théorie des situations didactiques (Brousseau & Balacheff, 1988). Selon ces auteurs, une situation didactique est une situation où se manifeste directement ou indirectement une volonté d'enseigner. Une situation est selon eux « l'ensemble des circonstances dans lesquelles une personne se trouve, et des relations qui l'unissent à son milieu » (Brousseau & Balacheff, 1988, p. 2).

Dans une approche comparatiste, la compréhension de l'action didactique conjointe, nécessite la compréhension de la situation dans laquelle elle se déploie (Sensevy, 2011), une situation indissociable de l'action elle-même (Sensevy, 2006). Cet auteur (2011), en faisant allusion aux « formes de vie » de Wittgenstein et à la grammaire qui peut être associée aux jeux de langages correspondants, fait remarquer que la compréhension de la situation consiste à « produire un système descriptif qui prend en compte les formes de *vie* dans

lesquelles cette pratique prend son sens » (Sensevy, 2011, p. 29). De leur côté, Amade-Escot & Venturini (2009) ajoutent que dans ce contexte, la situation et l'action sont dépendantes et elles « se déterminent réciproquement, la situation contribue à produire l'action et l'action contribue simultanément à la redéfinition de la situation ». Dans cette perspective, « situer l'action [...] nous permettra de la comprendre, ou, plutôt de comprendre pourquoi on la comprend comme on la comprend » (Sensevy, 2011, p. 26). Signalons aussi, que la TACD introduit une relation dialectique à propos de la notion de situation, oscillant entre l'aspect statique, institué et déterminé, et l'aspect dynamique, résistant, ouvert, indéterminé (Sensevy, 2011).

Dans notre travail, nous nous situons dans une approche comparatiste et nous suivons Sensevy dans sa définition de la situation d'une action comme « l'ensemble des relations et des conditions d'espace et de temps qui lui donnent sa forme » (Sensevy, 2011, p. 25). En plus, la description de cette situation nécessite l'élucidation de la dynamique de fonctionnement des interactions caractérisant l'action didactique et qu'on devra référer à l'institution où elles se déroulent.

## **II.2 - Institution**

Nous analysons à présent un concept important qui va nous servir dans tout ce qui suit, l'« institution ». Cette importance réside dans l'aide qu'il apporte à l'analyse de l'action didactique. En effet, ce qui se passe dans la classe va être regardé à la fois en relation avec l'ici et le maintenant, le savoir en jeu et l'action immédiate de l'élève, et aussi avec l'histoire et la culture de l'institution dont laquelle l'action se déroule. Toutefois, cette notion est abordée selon plusieurs approches, sociologique, anthropologique, didactique comparée et économique. Nous nous arrêtons à l'étude de cette notion selon la théorie anthropologique du didactique et de la théorie de l'action conjointe en didactique et nous complétons le point de vue de ces deux théories par des éléments complémentaires projetés d'une approche économiste beaucoup plus large (North, 1991) avant de finir par la proposition du point de vue que nous adoptons à propos de cette notion.

Douglas (1986) aborde la notion d'« institution » selon une approche sociologique, en s'intéressant à la culture et aux principes qui orientent et alimentent les actions humaines. Ainsi, Douglas, construit « une analyse dans laquelle l'organisation sociale et les principes

culturels se combinent pour assurer la stabilisation et la reproduction des institutions sociales (Calvez, 2006). L'institution selon Douglas, peut être une famille, un jeu, une cérémonie, une autorité légitime (un père, médecin, juge, arbitre, ou maître d'hôtel). Ce qui est exclu de l'idée de l'institution d'après elle est un arrangement pratique provisoire ou un dispositif purement instrumental. En d'autres termes, Douglas (1986), précise qu'une convention est institutionnalisée lorsque la réponse à la question, « Why do you do it like this ? » (Douglas, 1986, p. 47) renvoie à un groupe social.

On doit à Chevallard d'avoir introduit la notion d'« institution », dans le champ de la didactique au sein de sa théorie anthropologique du didactique (TAD) (Chevallard, 1989), en lui donnant lui aussi un sens social. Selon la TAD, une institution est « un système de pratiques sociales » (Chevallard, 1989), un dispositif qui a des manières « de faire et de penser propres ». En plus, Chevallard indique que le concept « institution » recouvre à la fois les structures scolaires (école, classe de la terminale scientifique, cours de chimie, lycée) et non scolaires (une famille, une profession,...). Dans cette lignée, on retrouve par exemple Venturini & Albe (2002) utilisant le concept d'institution adjoint à « l'enseignement de la physique dans le secondaire » et à « l'enseignement de la physique à l'université ». Bronner (2003) pour sa part, associe ce concept à « l'enseignement des mathématiques dans le secondaire ».

Dans une approche de la didactique comparée, Sensevy (2011) caractérise l'action comme un ensemble des jeux institutionnels, des « situations agies », plongées au sein d'institutions qui produisent « un style de pensée » au sens de (Fleck, 1953/2008) considéré comme le fruit d'un « collectif de pensée<sup>4</sup> ». Selon Fleck, un style de pensée se caractérise par « la disposition pour une perception dirigée et pour une assimilation conforme de ce qui a été perçu » (Fleck, 1953/2008, p. 247). Le style de pensée est considéré comme un « voir comme » au sens de (Wittgenstein, 1953/2004) qui « suppose l'ignorance de choses non vues parce qu'elles ne participent pas des événements ou des objets pertinents pour ce style » (Sensevy & Santini, 2006, p. 184). En d'autre termes, parler de style de pensée, « c'est d'abord envisager en quoi

---

<sup>4</sup> Pour Fleck, le collectif de pensée se définit « comme la communauté des personnes qui échangent des idées ou qui interagissent intellectuellement », « nous tenons en lui le vecteur du développement historique d'un domaine de pensée, d'un état du savoir déterminé et d'un état de culture, c'est-à-dire d'un style de pensée particulier » (1953/2008, p. 74).

c'est la perception même, au sens premier du terme, qui est affectée par la cognition et l'affecte en retour » (Sensevy & Santini, 2006, p. 174).

Dans une approche économiste, North (1993) indique que tout au long de l'histoire, les institutions ont été instaurées, par les êtres humains, pour créer l'ordre et réduire l'incertitude dans les interactions. Il décrit les institutions comme des « règles du jeu » évoluant progressivement, reliant le passé au présent et au futur et dont les acteurs doivent non seulement avoir des objectifs, mais aussi, connaître la bonne façon de les atteindre (North, 1991). Ainsi, en exploitant ce point de vue, on peut dire qu'au cours d'interactions didactiques, l'acteur est au présent mais il porte l'histoire et la culture de son institution, il est conditionné par ce passé mais aussi, il va à la fois, faire et construire la future histoire de l'institution. En outre, deux éléments d'une dialectique peuvent se présenter et s'articuler : l'institution agit sur ses sujets, et à leur tour les sujets peuvent agir sur l'institution et rendent ainsi la « force institutrice » possible. De cette façon, l'institution permet au sujet et le contraint aussi à une manière de faire et de penser (Chevallard, 2004) et présente à la fois une nature formelle (constitutions, des règles, des règlements, des lois, les droits, etc...) et une nature informelle (les coutumes, les mœurs, les traditions, les codes de conduite etc...) (North, 1993). Elle [l'institution] va donc évoluer en fonction de ses membres et ainsi, son histoire est en évolution et son futur est en construction.

Nous venons d'évoquer des différents points de vue sur l'institution. Ils ne sont pas réellement contradictoires mais plutôt complémentaires et se fondent sur un même point de vue sur l'institution, même si leurs univers sont différents. Pour la suite, nous considérons l'institution didactique, l'institution où l'on apprend et où on enseigne. Nous adoptons pour l'institution le point de vue que nous avons déjà évoqué chez Chevallard (1989), Fleck (1953/2008), North (1993) ou encore Sensevy (2011) en tant qu'un dispositif institutionnel permettant d'instaurer des « règles du jeu », produisant un style de pensée résultant d'un collectif de pensée et évoluant progressivement reliant ainsi le présent, le passé et le futur.

### **II.3 - Action didactique**

Dans ce volet, nous décrivons ce que l'on entend par l'action didactique dans le cadre de la TACD, et nous évoquerons la complexité d'une telle description. Ensuite, nous décrivons un certain type d'actions liées au savoir relevant des « transactions ». Enfin, nous détaillons le

fait que l'action didactique peut être, selon cette théorie, vue comme « un jeu », en référence à la fois au jeu social de Bourdieu, et au jeu de langage de Wittgenstein.

### **II.3.1 - Action didactique conjointe**

Décrire et comprendre l'action didactique selon la TACD, c'est la considérer d'abord comme étant une action didactique conjointe. Il est important avant de poursuivre de donner une signification rapide à cette expression « action didactique conjointe » vu l'importance de chacun des termes qui la constituent. Pour Sensevy (2007, p. 14) le terme « action » utilisé en TACD lui « semble compatible avec celui de pratique, au sens de Bourdieu (1980, 1997), et avec celui d'activité, au sens de la théorie de l'activité (notamment (Clot, 1999 ; Leontiev, 1975/1984 ;) ». Par « didactique » on se réfère à un processus dont l'enjeu est celui d'enseigner et d'apprendre les savoirs dans une institution. L'action est axée alors sur un savoir « qui doit être transmis, en donnant à ce dernier terme (transmis) le sens anthropologique général de la transmission » (Sensevy, 2007, p. 14). Par ailleurs, cette action didactique est impérativement conjointe dans la mesure où « le terme enseigner, d'une certaine manière, demande le terme apprendre ; le terme apprendre demande le terme enseigner » (Sensevy, 2007, p. 14). De ce fait, l'action didactique conjointe se réfère à un caractère relationnel et coopératif de cette action. Elle est fondée sur une communication dans la durée entre le professeur et les élèves autour d'un savoir. C'est sur une relation qui « actualise l'action, et qui est actualisée en retour par celle-ci » (Sensevy, 2007, p. 14).

En plus, l'action didactique conjointe est nécessairement située. Suchman (1987) affirme que toute action, même planifiée, est forcément située. Selon cet auteur, l'action ne peut avoir un sens que lorsqu'on prend en considération les circonstances matérielles et sociales de sa réalisation d'une part, et d'autre part les acteurs qui la réalisent. Par ailleurs, selon le groupe genevois de didactique comparée, l'action didactique est caractérisée par trois « grandes familles de techniques » qui « jouent un rôle central dans les analyses » (Leutenegger, 2009, p. 327), la construction de la référence, la gestion des territoires et la gestion des temporalités. C'est ce qui est repris dans la présentation des trois genèses au III.3 -

En outre, la description et la compréhension de l'action didactique exigent la prise en considération de la situation et l'institution dans laquelle elles se déroulent : en effet si « le *tempo* de l'action la situe dans l'ici et le maintenant de la situation en cours », sa temporalité

– relative à une échelle de temps plus longue - la situe dans l'histoire et la culture de l'institution (Amade-Escot & Venturini, 2009).

Cependant, cette action didactique conjointe est nécessairement dissymétrique par rapport aux rôles occupés par chacun des acteurs : le professeur enseigne un savoir qu'il maîtrise et les élèves l'apprennent dans l'institution école. Cela renvoie aussi à la ternarité didactique, les positions du professeur et de l'élève étant indissociables relativement à un savoir. Le savoir enseigné en classe, en jeu dans l'action didactique conjointe, est donc le fruit d'une co-élaboration, d'une co-production entre le professeur et les élèves (Tiberghien, Malkoun, Buty, El Sawayssi, & Mortimer, 2007).

Sensevy & Mercier (2007) soulignent le rôle capital que joue le savoir, en tant que « puissance d'agir » se manifestant en situation. Selon ces auteurs, les savoirs donnent leurs formes aux pratiques d'enseignement et d'apprentissage et du coup, l'action didactique conjointe « puise sa forme dans les savoirs » (Sensevy & Mercier, 2007, p. 10). Par conséquent, selon ces deux auteurs, comprendre l'action didactique, « c'est d'abord comprendre comment le contenu propre à cette action la spécifie » (Sensevy & Mercier, 2007, p. 9). Ainsi, étudier les interactions didactiques qui se dessinent dans la relation ternaire Professeur Elève autour d'un savoir, c'est également « tenter de comprendre comment les savoirs donnent leur forme à des interactions, comment ces interactions tirent leur substance de la transmission des savoirs, et donc comment chaque transactant, trouve (peut trouver, doit trouver) le moteur de son action dans le savoir qu'il inculque ou dans le savoir qu'il apprend » (Sensevy & Mercier, 2007, p. 188).

### **II.3.2 - Transactions didactiques**

L'action didactique conjointe, est une action dialogique puisqu'elle suppose une coopération propre à la communication (Sensevy, 2007) dont l'objet est les savoirs en jeu. Par ailleurs, pour comprendre cette action, il est nécessaire de la décrire *à travers* (trans) « l'autre » qui regroupe l'autrui et l'environnement (Sensevy, 2011), à travers la compréhension de « l'ajustement mutuel et la coordination inhérents à l'action conjointe, en tant que perception de signaux » émis et reçu par les protagonistes de la relation didactique.

Sensevy (2006) suggère que cette action conjointe, profondément dialogique, engendre certains types d'actions, nommées « *transactions* », dont l'objet transactionnel est le savoir.



Ce point de vue permet de rendre sensible à ce qui constitue selon Sensevy une spécificité réelle de ces interactions (Sensevy, 2007, p. 16). Par ailleurs, l'action de chacun des transactants « consiste à se demander ce que chacun fait avec ces savoirs » (Sensevy, 2007, p. 15). Ainsi, l'action de l'enseignant ou de l'élève « ne pourra s'expliquer indépendamment des attributions de sens, concernant les objets de savoirs, qu'ils effectuent sans cesse au sein de contrat didactique » (Sensevy, 2001, p. 209). Ces transactions, selon Vernant (1997) recouvrent un double aspect : intersubjectif et intramondain. On a affaire à une relation entre individus (intersubjectif) à propos d'éléments d'un même monde (par exemple pour nous la pratique chimique scolaire) (intramondain). L'aspect intersubjectif se réfère alors à une relation inter-personnelle entre individus. La transaction peut se concevoir comme une action avec quelqu'un. L'aspect intramondain se réfère par suite, au fait que cette transaction s'opère au sein d'un même « monde », dans un environnement avec lequel elle est en relation organique. Par suite, tout dialogue dans la transaction est soumis à des « enjeux transactionnels qui lui assignent sens et finalité ». Dans cette perspective, « les transactants » prennent part à un arrière-plan actionnel sensiblement identique que Wittgenstein nomme « image du monde » qui légitime et oriente leur coopération dans l'univers social et qui renvoie selon lui à l'intramondain. De ce point de vue, le dialogue au sein de la relation ternaire engendre des échanges de nature interactionnelle à finalité transactionnelle « on ne parle pas pour parler, mais pour agir : pour construire un monde avec, pour, par ou contre l'autre » (Vernant, 1997). Sensevy (2006e) cité par Marlot (2008, p. 49) tient compte de cette lignée pour proposer une définition des transactions didactiques et déclare « si l'on projette cette définition sur les interactions produites au sein des institutions didactiques, on s'attachera à reconnaître les deux pôles des transactions didactiques : le pôle intersubjectif, qui caractérise le dialogue, la reconnaissance mutuelle au sein du contrat didactique, du professeur et des élèves; le pôle intramondain, qui réfère à la situation au sein de laquelle le jeu didactique prend place ». De ce fait, les échanges interactionnels tentent de construire un environnement de signification partagée ou raisonnablement commun qu'on appelle « référence commune ».

Nous considérons cette construction de la « référence commune » comme l'évolution d'un environnement dans laquelle les transactants s'entendent peu à peu sur un sens donné à l'objet de savoir, la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base. Cette

référence, reconstruite dans le cadre de la classe, est « porteuse de l'enjeu de l'enseignement et d'apprentissage » (Schubauer Leoni, 2008, p. 72) et « médiatise » l'interaction didactique. Cette auteure ajoute, que cette référence « va permettre l'interdépendance entre des buts distincts qui caractérisent la posture de l'enseignant et celle des élèves » (Schubauer Leoni, 2008, p. 72). Cependant, une référence commune, enseignant-élèves, ne veut pas dire signification partagée, du fait de la différence des buts et des rapports épistémologiques de chacune de deux « instances » Professeur et Elève. Ainsi, « l'enseignant a de l'avance sur les élèves et qu'il anticipe sur la suite des apprentissages, le même objet, le même geste ne prend pas la même signification pour l'enseignant à tel moment T de l'évolution de la leçon que pour les élèves qui, eux attribuent au fur et à mesure une certaine signification aux pratiques » (Schubauer Leoni, 2008, p. 72).

Enfin, signalons que l'approche de la « pragmatique didactique » au sens de Sensevy & Quilio (2002), se propose de « comprendre de quelles manières et à quelles fins il (le professeur) produit son discours » (Sensevy & Quilio, 2002, p. 47). Ce discours didactique en situation produit dans une institution, met selon ces deux auteurs en évidence deux aspects mutuellement dépendants qui forment la spécificité de l'action langagière du professeur, le principe de « réticence didactique » et la « valence perlocutoire ». Le premier principe renvoie au fait que le professeur ne peut pas « dire le savoir » directement à l'élève (réticence), car rien ne lui assurerait la compréhension et l'utilisation adéquate de ce savoir par l'élève, alors que le second, renvoie au fait que « le professeur parle ainsi pour faire agir, l'action de l'élève pouvant le convaincre que ce que lui, professeur, cachait à l'élève, a été identifié au moins une partie » (Auriac-Slusarczyk, 2010, p. 186). Il s'agit là d'un point de vue implicite sur l'apprentissage selon lequel, c'est l'élève qui apprend et qui montre qu'il a appris. D'ailleurs, l'apprentissage est établi quand c'est l'élève qui montre, de son propre chef (proprio motu), seul, qu'il a la puissance d'agir, ce qui impose à l'enseignant une sorte de réticence didactique.

### **II.3.3 - Action didactique : continuités et discontinuités**

Notre travail d'analyse de l'action s'inscrit dans le courant qui considère que l'action est située (Suchman, 1987). L'organisation de l'action est élaborée comme un système émergent in situ de la dynamique des interactions (Conein & Jacopin, 1993 ; Lave, 1988) et de ce qui en résulte du fait que les savoirs ne sont pas donnés, ils émergent des interactions. Toutefois, Van Gennep (1960) signale, dans une approche globale de la vie tout entière p. 189 « to live is to

act and to cease, to wait, to rest, and then to begin acting again, but in a different way », un point de vue partagé par Latour (1994) qui, dans un point de vue anthropologique, fait remarquer qu'on ne peut pas trouver dans l'interaction sociale des humains « ni simultanéité, ni continuité, ni homogénéité » (Latour, 1994, p. 45). Ainsi, dans la vie de classe, au cours des interactions enseignant-élève autour d'un savoir enseigné, des continuités et des ruptures peuvent émerger dans la dynamique de l'action, créant un changement dans l'espace, dans le temps ou dans le savoir. Ces continuités/discontinuités dans l'action sont introduites soit par l'enseignant consciemment ou inconsciemment, soit par l'élève.

Nous essayons d'analyser l'action didactique conjointe autour d'un savoir enseigné et nous nous arrêtons à l'antinomie « continuité/discontinuité » introduite par l'action didactique dans l'avancée du savoir et qui caractérise, parmi d'autres éléments, la transaction didactique. Nous nous alignons sur la définition de la continuité dans la dynamique du savoir enseigné introduite par Tiberghien & Malkoun (2007, p. 51) qui présume qu'elle « traduit la reprise, dans le savoir enseigné, d'un élément déjà introduit ».

Prétendre que l'action didactique conjointe s'inscrit en continuité/discontinuité suppose de rendre compte, dans un projet visant à analyser l'action didactique, de la présence des continuités/discontinuités, élaborées par les transactants. Aussi dans l'action, ces continuités/discontinuités sont gérées, d'autres sont provoquées et d'autres sont inopinées et peuvent créer chez l'instance Elève un saut conceptuel entre deux propositions. Par ailleurs, les continuités/discontinuités caractérisent toute transaction didactique en fonction de la manière dont les acteurs co-construisent le sens raisonnablement commun de ce qui se dit pour pouvoir agir ensuite.

Nous souhaitons construire un cheminement, que l'on développera davantage dans la méthodologie, pour identifier les continuités/discontinuités introduites par l'action didactique. Une dimension temporelle et un cadre chronologique suffisamment déterminés sont alors exigés afin de réussir à marquer ces continuités/discontinuités dans la cadence de l'action conjointe enseignant-élèves autour d'un savoir enseigné : la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base, en vue d'inférer à travers ces continuités/discontinuités, ce qui se trouve être en amont de leur action.

## II.3.4 - L'action didactique : jeu et enjeux

### II.3.4.1 Le jeu en tant que modèle caractérisant l'action

La notion de jeu sur laquelle la TACD s'appuie, s'inspire du concept «forme de vie» (*Lebensform*) proposé par Wittgenstein. A ce sujet, Sensevy (2011, p. 35) mentionne « Comprendre une pratique, pouvoir en donner une description pertinente [...], c'est pouvoir la situer dans une forme de vie au sein de laquelle elle prend place, et c'est pouvoir élucider le jeu auquel joue les agents dans cette forme de vie ». La notion de « forme de vie », renvoie « à ce qui est sous-jacent à toute pratique humaine » (Clément, 1996). Cet auteur, en se référant au « jeux de langages » au sens de Wittgenstein, désigne la notion « forme de vie » comme étant « les propriétés humainement partagées sans lesquelles il nous serait impossible d'acquérir la maîtrise des différents « jeux de langage ». Les êtres humains auraient ainsi en commun un certain « stock » de comportements et de capacités qui rendent l'apprentissage (et par là même la maîtrise des jeux de langage) possible » (Clément, 1996). De ce point de vue, l'activité humaine en général, et notamment l'activité didactique peuvent être modélisées en tant que jeu, « considéré comme un « voir-comme » (Wittgenstein, 2004), comme le fruit d'un style de pensée (Fleck, 2005) qui façonne la perception » (Sensevy, 2012, p. 110). Par ailleurs, même si Bourdieu met en garde contre les malentendus accompagnant notre compréhension de la notion du jeu telles que l'instauration d'un contrat social, l'existence des normes pour jouer le jeu, l'obéissance aux règles etc., il évoque la nature sociale du jeu en déclarant que « l'image du jeu est sans doute la moins mauvaise pour évoquer les choses sociales » (Bourdieu, 1987, p. 80). Cependant, Sensevy précise que dans la didactique, le modèle de jeu « n'entend rien dire de particulier a priori sur le caractère « ludique », « sérieux », ou « gratuit » de l'activité » (Sensevy, 2012, p. 112), mais le modèle cherche à « identifier la logique d'action des individus, les nécessités qu'ils doivent prendre en compte, le contexte qui donne un sens précis à leur action » (Sensevy, 2012, p. 108). De plus, Sensevy insiste sur une « ontologie tripartite à la notion de jeu » basée sur le fait que le « jeu possède des règles définitoires [...], qui peuvent souvent se ramener aux règles constitutives [...]. Il nécessite des règles stratégiques, qui, [...] explicitent comment bien jouer au jeu [...], et des stratégies (effectives), qui constituent pour le joueur la manière concrète d'agir dans une praxis déterminée, en révélant (plus ou moins) un certain sens du jeu » (Sensevy, 2012, p. 112).

D'un autre côté, Sensevy (2012, pp. 118-123) énonce les vertus du jeu en tant que modèle sur le plan anthropologique et social. Selon lui :

- Le modèle du jeu instaure une relation organique entre intentions des agents et la structure de son action.
- Le modèle du jeu produit une dialectique féconde entre grammaticalité de l'action et sens de l'action pour l'acteur.
- Le modèle du jeu suppose la reconnaissance d'enjeux et l'identification d'un gain.
- Le modèle du jeu possède l'habileté de « comprendre comment les individus, à certains moments, peuvent subitement « changer de jeu », ou bien comment ils peuvent « jouer un jeu contre un autre ». Cette vertu nous paraît essentielle dans notre travail, qui consiste en partie à identifier les continuités et les discontinuités introduites dans le savoir par l'action didactique conjointe, dans la mesure où il ne s'agit plus de jouer aussi bien qu'on sait le faire tel jeu, mais d'abandonner le jeu qu'on est en train de jouer pour en jouer un autre, qui « convient mieux aux buts que l'on se fixe ». Ceci dit, nous gardons dans l'esprit que les discontinuités peuvent apparaître dans le savoir au sein d'un même jeu.
- Le modèle du jeu fournit un réseau sémantique de profondes topiques pour caractériser l'action. Ce modèle présente une faculté dans la description des émotions et des affects suivant la cognition et la déformabilité inhérente au langage, ainsi que la possibilité de discerner des « hors—jeu » dans le jeu.

#### **II.3.4.2 Le jeu didactique : caractéristiques principales**

Modéliser l'action didactique en tant que « jeu » (Sensevy & Mercier, 2007), ou aussi comme « des agencements de jeux » (Sensevy, 2008), où « un joueur particulier (Professeur) ne gagne que si l'autre joueur (Elève) gagne, c'est-à-dire apprend » (Sensevy, 2008, p. 40), représente un fondement essentiel de la théorie de l'action conjointe en didactique. Sensevy (2007) décrit les principes de ce jeu. « On considère deux joueurs A (l'élève) et B (le professeur). Pour gagner au jeu, le joueur A doit produire certaines stratégies, il doit les produire de son propre mouvement, proprio motu. B accompagne A dans ce jeu. B gagne lorsque A gagne, c'est-à-dire lorsque A produit les stratégies gagnantes (raisonnablement) proprio motu » (Sensevy, 2007, p. 20). Nous allons spécifier, dans ce qui suit, quelques-unes des principales caractéristiques de ce jeu didactique.

- C'est un jeu institutionnel dans la mesure où il modélise l'action se déroulant dans une situation didactique se déroulant dans une institution.
- C'est un jeu d'enseignement et d'apprentissage (Amade-Escot & Venturini, 2008) dont l'enjeu est le savoir à étudier et aussi l'avancée dans l'apprentissage.
- C'est un jeu de savoir dont la spécificité est « l'appropriation des stratégies gagnantes » (Sensevy, 2007, p. 20) que le joueur B tente de faire produire par A sans les lui donner, elles résultent des transactions avec le joueur A.
- C'est un jeu *coopératif et conjoint* dans lequel le savoir enseigné est le fruit d'une « co-élaboration », d'une « co-production » entre le professeur et les élèves (Tiberghien et al., 2007). La coopération et la coordination professeur – élève à propos du savoir dans le jeu sont indispensables pour que le professeur (joueur B) et l'élève (joueur A) gagnent. Cette coopération se traduit par une union solidaire de deux joueurs, A et B dans les transactions didactiques en classe (Sensevy, 2006).
- C'est un jeu *conditionnel* puisque le professeur atteint son objectif si et seulement si l'élève apprend et avance dans son apprentissage. Ainsi, le professeur et l'élève représentent selon la TACD deux « instances », l'instance Professeur et l'instance Elève, co-acteurs dans des transactions de nature dissymétrique autour d'un savoir enseigné.
- C'est un jeu *paradoxal* du fait que dans le jeu de savoir, le joueur B (le Professeur) par sa volonté de faire gagner le joueur A (l'Elève) est en général « juge et partie » (Sensevy, 2007, p. 20) ce qui peut renvoyer à des dérives parfois nécessaires (effet Topaze et effet Jourdain).
- C'est un jeu *sous contrainte* dans la mesure où le professeur gagne lorsque l'élève gagne. Le gain de ce dernier se traduit par son respect à la clause « proprio motu » sur laquelle repose le jeu didactique. Par ailleurs, la clause « proprio motu » se manifeste par la production de l'élève « de son propre mouvement », des stratégies gagnantes que le professeur est lui-même l'initiateur et le validateur. La clause proprio motu impose une certaine « réticence » didactique de la part du professeur à propos du savoir. Le professeur ne peut dévoiler le savoir au risque la perte de la partie. Cette réticence dont la vocation essentielle est d'inciter l'élève à « agir en première personne » (Sensevy, 2008, p. 45) est considérée comme une base fondamentale de la relation

didactique ternaire. Ce processus de cession de responsabilité professeur – élève relève du phénomène de « dévolution » défini par Brousseau sur lequel nous reviendrons dans le paragraphe - Chapitre 1 - III.4.2 - pour plus des précisions sur cette notion.

## **II.4 - En guise de conclusion : vers une modélisation de l'action didactique**

Nous venons d'envisager l'action didactique conjointe comme un jeu qui a des enjeux et des règles qui s'ancrent dans la situation et l'institution. Nous proposons maintenant d'avancer dans la modélisation de l'action didactique en évoquant les outils conceptuels offerts par la TACD permettant d'une part de décrire ce qui se passe dans l'action in situ et d'autre part, de comprendre cette action à travers la notion de déterminants non intentionnels de l'action. Soulignons, tout d'abord que cette modélisation de l'action didactique conjointe professeur/élèves ne suppose pas la construction d'un « modèle parfait appliqué à la réalité imparfaite » (Sensevy, 2011, p. 212), elle représente « l'un des premiers enjeux de l'étude « du » didactique, non pour produire une théorie susceptible de prédire leurs comportements [au professeur et à l'élève] mais dans le but d'élaborer un/des système (s) de catégories pouvant rendre raison du sens pratique de leur action » (Amade-Escot & Venturini, 2008, p. 8).

## **III - Vers une description de l'action didactique**

La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) suggère des outils conceptuels servant à analyser et décrire l'action didactique en général et plus précisément le jeu didactique in situ. Ces outils, empruntés à la théorie de situation didactique (Brousseau, 1986) et à la théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 1992), spécifient la globalité du processus d'enseignement/apprentissage. Ils se retrouvent dans la TACD, modifiés pour certains, mais aussi intégrés à une nouvelle catégorisation de descripteurs : le « doublet contrat-milieu », le « triplet de genèse » et le « quadruplet caractéristique du jeu » qui constitue les types de stratégies à la disposition de l'enseignant pour faire jouer le jeu.

Nous proposons dans la suite d'identifier ces descripteurs, qui nous permettent la description de ce qui se déroule in situ pendant que le jeu est joué, tout d'abord un par un ensuite dans leurs catégorisations.

### **III.1 - Grammaire de l'action didactique**

La TACD s'inspire de l'approche wittgensteinienne pour décrire une grammaire de l'action didactique. Selon Wittgenstein (1961, p. 153), la grammaire est autonome à l'égard de la réalité et ne vise pas l'essence des choses, elle décrit les possibilités des phénomènes, à travers le genre d'énoncés que nous formulons sur eux. Dans cette lignée, De Jonckheere (2001) souligne que la notion de grammaire désigne « les règles dont nous faisons usage afin que des mots et des propositions soient dotés de significations » (De Jonckheere, 2001, p. 254). Pour cela, la TACD incite le chercheur à avoir dans l'esprit, lors de l'analyse de l'action didactique, la nécessité de l'identification et de la compréhension de cette grammaire d'une part et à donner « un arrière-plan qui permet de la situer » (Sensevy, 2011, p. 46) d'autre part. De ce fait, afin d'élucider les enjeux et la logique de cette action, la théorie de l'action conjointe en didactique décrit une grammaire de l'action didactique comme étant « une logique propre, des nécessités, auxquelles les agents doivent nécessairement répondre » (Sensevy, 2011, p. 43).

### **III.2 - Doublet contrat – milieu**

Nous commençons par expliciter les concepts contrat didactique et milieu et nous soulignons à la fin l'interdépendance de ces deux notions.

#### **III.2.1 - Contrat didactique**

Le contrat didactique, a été initialement introduit par Brousseau en didactique des mathématiques comme cause possible de l'échec électif des élèves en mathématiques (Sarrazy, 1995). Brousseau définit le contrat didactique comme étant « l'ensemble des comportements spécifiques des connaissances enseignées du maître qui sont attendus de l'élève et l'ensemble des comportements de l'élève qui sont attendus du maître » (Brousseau, 1980, p. 127). Ce contrat est considéré comme étant le processus qui règle les rapports entre l'intention du professeur et celle des élèves, relativement à un objet de savoir (Brousseau, 1986).



La TACD donne une place de base au concept contrat didactique dans la mesure où il fournit un cadre interprétatif de l'action entre le professeur et les élèves à propos d'un savoir. Sensevy (2007) indique l'utilité de ce concept pour la description des transactions didactiques où la notion du contrat didactique « a)- fait comprendre le poids des habitudes d'action dans leur formation, et incite donc à considérer des habitudes de transaction ; b)- fait comprendre comment les transactions didactiques reposent sur les attentes, de l'élève vers le professeur, mais aussi du professeur vers l'élève ; c)- fournit un cadre à l'étude génétique de la constitution des normes dans la classe, et à la manière dont ces normes ont à être dépassées ou redéfinies dans la dialectique de l'ancien et du nouveau » (Sensevy, 2007, p. 19). Par ailleurs, l'enseignant et l'élève se comportent dans la classe en relation étroite avec le contrat, qui définit un « rapport institutionnel », au sens de Chevallard, aux objets enseignés : « le rapport de l'enseignant tend à s'y réduire et celui de l'élève tend à s'y conformer » (Schubauer Leoni, 1996, p. 163). Par suite, l'enseignant qui connaît l'objet de savoir bien au-delà du contrat, ne demande rien d'autre que la manière dont le savoir est spécifié dans le contrat, tout comme l'élève est censé connaître cette manière et s'y conformer s'il veut être un bon sujet de l'institution. Outre cela, Sensevy (2006) affirme que les élèves accordent du sens aux différentes sollicitations professorales en se basant sur leur passé d'élèves au sein des classes qu'ils ont fréquentées. Par ailleurs, Sensevy, en se référant à Brousseau (2009) mentionne que le contrat didactique « conçoit l'action didactique comme organiquement communicationnelle, fondée sur le processus « d'interprétation » que l'élève produit de la situation à travers la perception qui est la sienne des actes professoraux, et donc des systèmes de signes qu'ils impliquent » (Sensevy, 2011, p. 98). De cet angle, le contrat didactique fixe les règles de jeu entre les acteurs de la relation didactique en donnant du sens à ce que l'élève doit faire, compte tenu de ce qui est et qui a été enseigné. Ainsi, dans un jeu didactique spécifique à un savoir, le contrat didactique propre à ce savoir, constitue ce que Sensevy appelle « le système stratégique disponible au moyen duquel le professeur et les élèves vont jouer ce jeu » (Sensevy, 2011, p. 99). Ce système stratégique possède des règles caractérisent le comportement adéquat d'un bon sujet de l'institution « classe de chimie » par exemple, en lien avec tout ce que l'élève a appris dans cette institution préalablement. Elles dépendent de plusieurs facteurs : histoire de l'institution, la vie quotidienne dedans, le programme, le projet social.

En plus, c'est un contrat à caractère implicite puisqu'il réside dans les attentes mutuelles, non exprimées, de chacun des acteurs de la situation didactique. Ce contrat fonctionne, comme un système d'obligations réciproques qui détermine ce que chaque partenaire, l'enseignant et l'enseigné, a la responsabilité de gérer, et dont il sera d'une manière ou d'une autre, responsable devant l'autre » (Brousseau, 1986). Nous retiendrons en particulier de cette déclaration les injonctions paradoxales auxquels les protagonistes doivent faire face. Selon Brousseau (2003) « si l'enseignant dit ou signifie ce qu'il veut que l'élève fasse, il ne peut plus l'obtenir que comme exécution d'un ordre et non par l'exercice de ses connaissances et de son jugement. D'autre part, si l'élève accepte que, selon le contrat, le maître lui enseigne les solutions et les réponses, il ne les établit pas lui-même et donc, n'engage pas les connaissances nécessaires et ne peut se les approprier ». De ce fait, le contrat didactique ne peut pas survivre puisque l'élève n'apprend que lorsqu'il accepte de prendre en charge le problème ce qui a pour conséquence de rompre le contrat en cours (Brousseau, 1984). Astolfi (1994) avance que le contrat didactique permet d'analyser et de caractériser ce qui se joue dans la classe, en termes d'apprentissages, et ceci dans le sens où si l'élève suit tous les éléments du contrat, il se comporte exactement comme le professeur voudrait qu'il se comporte, comme un bon sujet de l'institution « classe de chimie » par exemple, en faisant siens tous les comportements dans l'action d'un bon élève chimiste. Ceci dit, on retrouve dans les études anglo-saxonnes la notion « normative identity » développée par Cobb, Gresalfi, and Hodge (2009) qui renvoie à ce type de caractérisation pour l'élève. Cette notion s'intéresse « au contexte social immédiat de la salle de classe » (Yackel, Sfard, & Gravemeijer, 2011, p. 189) et selon Cobb et al. (2009), elle concerne l'identité que les élèves auraient à se développer avec les obligations qu'ils auraient à remplir pour être un « faiseur de mathématiques » efficace et qui réussit dans une classe particulière. Sur le plan opérationnel, le processus d'analyse de la « normative identity » instauré au cours de l'action didactique consiste à « documenting the obligations that the teacher and students interactively constitute and continually regenerate in the course of their ongoing classroom interactions » (Yackel et al., 2011, p. 188).

L'apprentissage est associé selon Brousseau (1984) non au bon fonctionnement du contrat mais à ses ruptures, et ses ajustements en témoignent. Les moments de ruptures du contrat sont importants, ils marquent selon lui un apprentissage et mettent en évidence l'importance des règles qui constituent le contrat. Cependant, nous pensons que ces moments marquent

un apprentissage au moins du côté de l'enseignant et de l'institution, puisque le contrat change lors d'une institutionnalisation et si on se place du côté de l'élève, l'apprentissage n'est pas assuré par évidence. Par ailleurs, ce sont ces moments de rupture qui permettent de mettre en évidence le contrat didactique (Brousseau, 1988). En plus Sensevy (2011) indique que l'enseignement est un parcours d'une suite orientée d'objets de savoir et que la disposition de ce savoir sur l'axe du temps donne ce que Chevallard (1991) appelle « chronogénèse ». A tout instant, les protagonistes de la relation didactique exécutent une action précise, caractérisant leur position par rapport à l'autre partenaire et qui se traduit par un « topos » spécifique de chacun d'eux, une position topogénétique à cet instant. On peut expliquer l'état du contrat à un instant donné comme mettant en relation un état particulier de la chronogénèse et de la topogénèse. Ainsi, Sensevy (2011) avance que, le contrat didactique, à un instant  $t$  donné, peut donc se concevoir comme caractérisé par la donnée d'une chronogénèse et d'un topogénèse inhérentes à cet instant. Selon lui, le contrat didactique peut être étudié « dans le type de topogénèse sur lequel il [le contrat] repose, et les modifications de contrat didactique (notamment les redéfinitions de contrats classiques) peuvent s'appréhender à l'aune des nouvelles topogénèses qu'elles mettent en œuvre » (Sensevy, 2007, p. 32) vu qu'on demande à E (l'élève) d'assurer une responsabilité par rapport à ce qui est dans le contrat. Toutefois, l'instance E représente des élèves différents ce qui multiplie les possibilités d'avoir plus qu'un contrat entre l'enseignant et les élèves à propos d'un savoir. Cette multitude « de contrats » rend le contrat « différentiel » (Schubauer Leoni, 1986 ; Schubauer Leoni & Leutenegger, 2002) ce qui constitue un « fait fondamental et pourtant encore bien trop peu étudié en didactique » selon Sensevy & Mercier (2007, p. 194). Cependant, Sensevy (2011) propose de coupler la notion du contrat différentiel avec ce qu'il appelle « *capital d'adéquation* » afin de « rendre compte de certains phénomènes différentiels, dans l'apprentissage » (Sensevy, 2011, p. 170). Il précise que le capital d'adéquation, dont le terme « capital » s'inspire de l'analyse bourdieusienne en tant qu'enjeu et moteur de tout jeu, et dans le terme « adéquation » dans une institution didactique en tant que la façon dont un élève réagit aux attentes de l'enseignant vis-à-vis un savoir, est aussi différentiel. Il indique que l'impact principal de la « distribution différenciée du capital d'adéquation » consiste « dans le clivage épistémique, entre les biens vus et les biens entendus de l'institution didactique, et les moins vus et les moins entendus de cette institution ». De ce fait, les élèves dont le capital d'adéquation, par rapport à un savoir, est

élevé sont, aux yeux de l'enseignant, indispensables à l'avancée du temps didactique et même « co-acteurs de l'avancée de l'enseignement » (Leutenegger & Schubauer Leoni, 2002, p. 85). Cependant, ceux qui ont un capital d'adéquation faible par suite « s'installent durablement dans une grande distance à la performance attendue » (Sensevy, 2011, p. 176), sont menacés de se trouver lentement hors du jeu. Ceci dit, dans ce cas, le contrat didactique « devient obscur, le milieu des mises en situation quasi impénétrable, et les jeux d'apprentissage dépourvus de sens » (Sensevy, 2011, p. 176). Par ailleurs, Sensevy (2011, pp. 175-176), en se référant à la notion de « *steering group* » (Dahllof & Lundgren, 1970) avance que l'enseignant « adresse son enseignement à un certain groupe d'élèves, figurant pour la plupart parmi les moyens », ce qui rend l'action didactique conjointe « élective » et « n'est pas épistémiquement dense avec tous les élèves ».

### **III.2.2 - Le milieu**

La notion du « milieu » est née au sein de la théorie des situations didactique TSD élaborée par Brousseau (1998) et qui s'est précisée au fil des avancées théoriques en relation avec les autres concepts fondamentaux. Cependant, même si les études signalent l'importance de cette notion dans l'étude des pratiques d'enseignement, « on ne dispose pas une théorie unifiée ou même partagée » à propos de cette notion (Amade-Escot & Venturini, 2009).

Selon Brousseau (2003) le « milieu » est tout ce qui agit sur l'élève ou / et ce sur quoi l'élève agit. Il (1986) explique qu'un milieu « sans intention didactique est manifestement insuffisant à induire chez l'élève toutes les connaissances culturelles que l'on souhaite qu'il acquière » (Brousseau, 1986, p. 49). Le milieu est considéré selon Brousseau, comme étant un système antagoniste de l'actant, où l'actant est celui qui agit, en fonction de son répertoire de connaissances, sur le milieu de façon rationnelle dans le cadre des règles de la situation. Par ailleurs, dans une approche constructiviste radicale sur le plan des apprentissages, Salin (2002) cite les exigences d'un milieu « antagoniste » et « adidactique » : « a) le milieu doit être facteur de contradictions, de difficultés, de déséquilibres donc d'adaptation pour l'élève ; b) le milieu doit permettre le fonctionnement "autonome" de l'élève ; c) l'apprentissage doit conduire à la maîtrise de savoirs mathématiques identifiés comme tels, et pas seulement de connaissances » (Salin, 2002, p. 114).

Une autre façon de définir le milieu a été proposé par Chevallard dans le cadre de la théorie anthropologie de la didactique. Ce milieu « institutionnel » est défini « en référence à une

institution et une temporalité institutionnelle » (Perrin-Glorian, 1999, p. 288). Il est formé à tout instant institutionnel par « un ensemble d'objets institutionnels, qui, pour les sujets du système didactique, vont de soi » (Chevallard, 1992, p. 94), ce qui rend, dans le contrat, ces objets et les rapports institutionnels plutôt stables.

Au cours des transactions didactiques et au fil de l'avancée du temps institutionnel, le milieu se modifie et évolue continuellement. Ainsi, des nouveaux milieux liés à des nouveaux enjeux émergent et donne ce que Chevallard appelle processus de mésogenèse ou « genèse du milieu » : « à chaque instant, le milieu apparaît subjectivement comme un donné ; mais c'est en vérité un construit permanent » (Chevallard, 1992, p. 95). Cette construction, ces changements se font selon la TACD conjointement et ont pour objectif la construction d'une référence raisonnablement commune dans la classe (Schubauer Leoni, 2008 ; Sensevy, Mercier, & Schubauer Leoni, 2000).

Comme la TSD, la TACD s'inspire de l'approche constructiviste pour sa vision sur l'apprentissage en le voyant comme « adaptation à un milieu » mais aussi de l'approche socio constructiviste par le fait que l'action est conjointe et qu'on apprend de pratique dans une institution possédant une histoire et une culture. A cet égard, Sensevy propose « des milieux » et non pas un seul milieu. Il évoque le problème fondamental : « comment fabriquer des milieux « adéquats » à la production, par « adaptation », des savoirs humains» (Sensevy, 2007, p. 25). Il poursuit, « Il s'agit de produire, pour une connaissance donnée, un jeu de savoir (une situation didactique, dans le vocabulaire de Brousseau) pour lequel la connaissance que l'on veut faire approprier soit une stratégie gagnante » (Sensevy, 2007, p. 25). Une stratégie gagnante peut être perçue comme une maîtrise de l'enjeu du jeu didactique pour conduire à la production sollicitée. L'obtention de cette stratégie gagnante nécessite de l'élève la mobilisation d'un certain nombre de savoirs anciens présents dans « le contexte cognitif en arrière – fond de l'action » (Sensevy, 2007, p. 24). Toutefois, la production de ces stratégies gagnantes n'est pas due simplement à la capacité de l'élève à décrypter les intentions didactiques du professeur, mais, « en grande partie parce que les rétroactions du milieu auront réfuté les stratégies inopérantes, et validé les bonnes » (Sensevy, 2007, p. 25). De ce fait, Sensevy (2007) parle d'un milieu à double statut dont la complémentarité permet une meilleure description des transactions didactiques. Il envisage d'une part, le milieu comme faisant référence à l'environnement cognitif, considéré comme un « contexte cognitif commun » des joueurs (Professeur et Elève) au sein duquel les transactions didactiques vont

se jouer et qui est « indispensable à la production des stratégies gagnantes pour le jeu » (Sensevy, 2007, p. 24). Il envisage d'autre part, le milieu comme un « système de potentialités antagonistes » porteur de ressources et de contraintes qui dirigent les transactions dans le jeu *hic et nunc*.

De leur côté Amade-Escot and Venturini (2009), dans le cadre d'une réflexion sur le concept « milieu », considèrent que « Le "milieu didactique" est un concept tissant les possibles et les nécessaires allers et retours entre l'ici et maintenant de l'action conjointe et les substrats historiques, collectifs et institutionnels qui en déterminent la dynamique ». Ces deux auteurs, rejettent dans la caractérisation du milieu, les termes « antagoniste » et « didactique » qui correspondent plus à des situations d'enseignements « héroïques » qu'à la réalité ordinaire, au profit de « moments d'adidacité ». En effet selon eux, beaucoup des études ont montré que la valence « antagoniste » est problématique. En physique chimie par exemple, Tsoumpélis (2005) cite deux composantes formant le milieu, une composante « mathématique » interne à la physique et une composante « matérielle ». Il signale que les rétroactions ne sont pas pertinentes vu qu'il y a moins de formalisme mathématique et que la composante matérielle qui oriente l'observation et l'expérimentation concerne le monde réel et serait donc de ce fait externe à la physique qui consiste à construire ou utiliser des modèles/théories.

En outre, Amade-Escot and Venturini (2009) signalent p. 24 que « le processus mésogénétique engendre suite aux transactions didactiques une multitude des milieux et par la suite à une multitude des contrats didactiques ». A cet égard, ces deux auteurs, indiquent la pluralité des milieux et des contrats et que si les transactions conduisent à des milieux différentiels, les milieux différentielles conditionnent aussi les transactions et la mésogenèse. Dans cette perspective, outre le fait que le milieu est un « construit permanent » (Chevallard, 1992), sa genèse est un processus dynamique évolutif conjoint impliquant le professeur et les élèves « qui s'appuient sur des aspects institutionnels en lien avec des usages, des habitudes, des formes de travail plus ou moins légitimés » (Amade-Escot & Venturini, 2009, p. 26).

### **III.2.3 - Contrat – milieu**

Soulignons pour conclure sur les notions de contrat et de milieu qu'elles sont étroitement solidaires dans la théorisation didactique. Chacune de deux notions exige la présence de l'autre et l'analyse faite à propos d'eux ne peut être que systémique, au sens où cette analyse

se préoccupe, au sein de l'action conjointe enseignant/élèves, des relations entre le contrat et le milieu. En effet, pour comprendre pleinement la portée théorique du contrat didactique il faut faire appel à l'organisation du milieu (Sarrazy, 1995).

Introduire un élément dans le milieu, par exemple un objet matériel, un objet symbolique, un artefact cognitif, peut engendrer une intervention inattendue d'un élève ce qui entraîne un changement dans la stratégie du professeur et donne ainsi naissance à un nouvel enjeu du jeu. Cela suppose la modification du système stratégique du P et par suite la modification du contrat initial et donc l'émergence d'un nouveau contrat « propre au nouveau jeu, est accompagné d'un nouveau milieu » (Sensevy, 2007, p. 27). Par ailleurs, Sensevy (2011) précise que l'introduction par le professeur d'une question sur un objet de savoir, considérée comme « question de contrat », fait « orienter l'attention et l'action de l'élève vers une propriété épistémique du milieu » (Sensevy, 2011, p. 325) et prouve ainsi que « le contrat situe l'action ». Cette orientation est selon lui un « un moyen d'activer, chez l'élève, un système stratégique plus ou moins déjà-là » (Sensevy, 2011, p. 326). Cependant, pour assurer entièrement les attentes, les élèves doivent franchir un saut conceptuel et répondre correctement. Ce processus d'orientation de l'action, caractérise « l'équilibre contrat-milieu et du processus d'équilibration » (Sensevy, 2011, p. 325). Cet équilibre didactique selon lui nécessite « l'adéquation du contrat didactique au milieu, relativement au savoir en jeu, quelle que soit, par ailleurs, la distance entre le système stratégique déjà-là du contrat et le système stratégique virtuel du milieu, qu'il s'agit d'élaborer » (Sensevy, 2011, p. 330) et il s'appuie « sur la connaissance précise, par le professeur, du système stratégique, et sur la connaissance précise de la distance de ce système stratégique actuel au système stratégique virtuel sur lequel repose la résolution du problème confié à l'élève » (Sensevy, 2011, p. 326). Sensevy (2011) évoque ainsi une articulation de type « piagétien » des notions contrat/milieu en introduisant comme on a déjà vu la notion de « l'équilibration didactique » qu'il l'explique ainsi « on pourrait dire que le système contrat, c'est à dire le système stratégique disponible, assimile le milieu, alors que le système milieu, c'est à dire le système stratégique virtuel dans le milieu, obligera, dans le cas d'une situation adidactique, à une accommodation du système contrat (Sensevy, 2011, p. 113).

### **III.3 - Triplet de genèses**

Décrire l'action in situ suppose de répondre à des questions de type : comment évolue le milieu au cours du temps ? Qui a la plus grande responsabilité pour faire évoluer le savoir ? Comment le savoir évolue au cours du temps ? En d'autres termes comment rendre compte de la dynamique de l'action didactique ?

La TACD est une théorie descriptive et propose des outils permettant cette description. Sensevy suggère de s'appuyer sur des descripteurs mésogénèse, topogénèse et chronogénèse « en relation l'une avec l'autre, au sein du triplet » (Sensevy, 2007, p.32), pour décrire les transactions didactiques, qui orientent l'action de l'enseignant et le jeu didactique in situ (Sensevy, 2006). Notons que, le suffixe « génèse » se réfère à la nature interactive et évolutive de processus des transactions et de la progression de l'objet savoir au cours du jeu.

Nous décrivons dans la suite chacune de ces trois descripteurs.

#### **III.3.1 - La mésogénèse**

C'est un concept qui a pris naissance dans les travaux de Brousseau (1990) et développé notamment par (Amade-Escot & Venturini, 2009 ; Chevallard, 1992 ; Sensevy et al., 2000) lors de l'étude sur le « milieu » en classe.

Ce descripteur traite l'aménagement et l'évolution du système des objets qui peuvent être de nature matérielle, symbolique, langagière constituant le milieu didactique. Il décrit le type de milieu construit dans la définition du jeu ou les objets introduits lors des régulations et interventions provenant des transactants dans le jeu. En outre, Mercier (2002) identifie la mésogénèse comme une « référence » dans la classe définissant un environnement de signification partagée ou raisonnablement commun et que son étude réside, selon Sensevy (2007), dans la description de la façon dont le professeur va introduire dans « le milieu » une signification quelconque. En plus, Sensevy (2006) fait correspondre la mésogénèse à une question de la forme « comment quoi ? Comment l'enjeu des transactions s'élabore-t-il peu à peu ? Comment ces savoirs et ces connaissances constituent-ils peu à peu un arrière-fond partagé, jusqu'à déterminer pour une part le contexte cognitif commun aux transactants ? » (Sensevy, 2006, p. 211).



### III.3.2 - La chronogénèse

La chronogénèse définit l'avancement et la progression dans le temps des objets du savoir en classe (Mercier, Schubbauer Leoni, & Sensevy, 2002 ; Sensevy, 2007 ; Sensevy & Quilio, 2002). En effet, enseigner c'est « parcourir avec les élèves une séquence, une suite orientée d'objets de savoir, qui établit ce que les professeurs nomment la progression » (Sensevy & Quilio, 2002, p. 50). Par suite, la chronogénèse renvoie à la progression séquentielle des objets de savoirs et au « temps didactique ». Cependant, la chronogénèse peut renvoyer aussi à une progression « en profondeur » quand un concept est travaillé, discuté, comparé à d'autres, quand il est approfondi et mieux compris par l'élève. Si le savoir ne progresse pas dans le sens où un nouveau savoir est amené, il progresse dans le sens où il est compris plus en profondeur par l'élève. En outre, étudier la chronogénèse, c'est se poser des questions de la forme « quand ? » ou plus exactement « comment quand ? », ainsi que comprendre la progression du temps didactique au sein d'un jeu autour d'un savoir, les moments de continuités, des ruptures dans le savoir co-construit dans une relation ternaire enseignant, élèves à propos d'un savoir enseigné introduit dans le milieu. Cette étude peut se réaliser à différentes échelles temporelles, correspondant à la dynamique du savoir au cours d'une séance de classe. Elle peut être au niveau micro, méso ou macro au cours d'une séquence.

Comme nous l'avons déjà signalé dans le II.3.3 - nous centrons notre travail sur l'étude de la continuité et discontinuités introduites par l'action didactique dans les savoirs, ce qui revient aussi à examiner de très près la chronogénèse. Ainsi<sup>5</sup>, le concept continuité/discontinuité oblige le chercheur à « problématiser son observation ainsi que de savoir ce que l'on désire analyser et de déterminer les perspectives dans lesquelles nous souhaitons produire nos réflexions » (Brun-Picard, 2005, p. 153). Par ailleurs, toute la question réside à « stabiliser des moments pour les analyser sans détruire leur dynamisme évolutif » (Thong, 1978, p. 412). La temporalité « caractère de ce qui est dans le temps<sup>6</sup> » est alors appelée, puisqu'elle marque le caractère ponctuel de l'acte didactique et contribue « aux analyses synchroniques des phénomènes » (Brun-Picard, 2013, p. 155). En outre, ce dernier auteur (2006), mentionne l'importance du concept « temporalité » puisque « par son intermédiaire nous mettons en

---

<sup>5</sup> Au sein de la didactique de la géographie

<sup>6</sup> Dictionnaire Robert, p.1938

relation et en synergie des durées longues (des années), moyennes (des mois), courtes (des heures ou des jours) ainsi que l'immédiateté du phénomène en cours de réalisation. L'imbrication de ces phases temporelles contribue à la reconnaissance des différents types d'actions dans le temps en fonctions d'attentes et de leurs échéances » (Brun-Picard, 2006, p. 3).

Cette temporalité porte aussi sur la mise en œuvre dans la classe des filiations entre les différents éléments de savoir qui permettent d'introduire une continuité/discontinuité et une cohérence du savoir enseigné. Cette cohérence est assurée par l'établissement « des liens cohésifs entre le moment présent et des moments antérieurs ou ultérieurs de la séquence d'enseignement » (El Hage, Buty, & Badreddine, 2012, p. 149). Cependant, Tiberghien (2012) en s'inspirant des travaux de Roth et al. (2006), mentionne l'importance de la cohérence du savoir enseigné dans la mesure où l'enseignant « établit de multiples liens entre les différentes éléments de savoir pour l'apprentissage des élèves ».

### **III.3.3 - La topogénèse**

La topogénèse pose des questions de types « qui ? Plus précisément comment qui ? » Qui amène le savoir ? Quelle est la part de responsabilité de chaque intervenant ? Elle définit donc la manière dont l'enseignant et l'élève se partagent les responsabilités et les rôles dans le jeu. Cependant Sensevy (2006) signale la nécessité de considérer l'instance Elève comme une instance multi-agents. De ce fait, l'enseignant devra à chaque fois ramener les transactions produites avec l'un des élèves à tous les autres élèves. La topogénèse in situ est un descripteur favorisé de la propriété « conjointe » des transactions didactiques (Sensevy, 2007). En effet, elle permet de décrire « la force des transactions, c'est-à-dire à évaluer à quel point elles reposent organiquement sur une activité partagée entre le professeur et l'élève, en différenciant bien la nécessité de l'action de l'élève, de sa densité cognitive » (Sensevy, 2007, p. 31).

Etudier la topogénèse donc, c'est chercher à décrire le partage des responsabilités dans les transactions didactiques (Sensevy, 2007, p. 31). A tout moment de la chronogénèse correspond un état de la topogénèse (Sensevy & Quilio, 2002). Par exemple, l'enseignant peut occuper une position topogénétique basse lors de la « dévolution » de jeu ou une position haute lors de la définition du jeu et de l'« institutionnalisation ». Ces deux derniers concepts

sont indispensables pour l'analyse de l'action didactique (Sensevy, 2001) et constituent deux éléments d'un quadruplet servant à décrire les types de techniques utilisés par l'enseignant pour faire jouer le jeu (Venturini & Amade-Escot, 2010) que nous essayons de les préciser dans la suite.

### **III.3.4 - En guise de conclusion : un triplet solidaire**

Sensevy (2007) signale que le fait d'identifier les interactions didactiques à des transactions rend ce triplet (méso, chrono, topo) solidaire et indispensable pour se rendre compte de la dynamique l'action didactique. Ainsi, l'activation de l'un de trois descripteurs, lors de l'analyse d'une telle action par ce triplet, suppose de mettre en arrière fond les deux autres. A ce sujet, Amade-Escot & Venturini (2009) déclarent « qu'à tout état de la mésogenèse, correspond un état du partage des responsabilités entre le professeur et les différents élèves (topogenèse) en lien avec l'avancée ou la stagnation du temps didactique (chronogenèse) eux-mêmes dépendant des cadres épistémique (relatif au savoir en jeu) et interactionnel (forme des échanges) qui en structure la dynamique ». Par ailleurs, Sensevy (2007) précise, que l'introduction d'un élément dans le milieu est perçue comme « un énoncé à valeurs chronogénétique et mésogénétique. Si l'on insiste sur la reconfiguration du milieu liée à l'introduction de cet élément, c'est à sa valence mésogénétique qu'on fera appel. Mais si l'on concentre sur l'introduction du nouveau au sein de l'ancien, ou sur le jeu institué entre l'ancien et le nouveau, c'est la valence chronogénétique qui sera activée » (Sensevy, 2007, p. 31). Dans ces circonstances, la tâche essentielle du professeur est d'« aménager le milieu, c'est-à-dire contraindre l'action (matérielle ou intellectuelle) de l'élève dans un sens déterminé » (Sensevy, 2002, p. 30). Cependant, ces dynamiques nous incitent à prendre en considération les déterminations du jeu didactique au sens de (Sensevy, 2007), c'est-à-dire d'une part, le contexte et d'autre part, l'épistémologie pratique des professeurs comme nous le traitons dans le IV.3.3 - .

### **III.4 - Quadruplet de types de stratégies professorales**

La TACD prévoit qu'on peut voir l'action didactique comme une suite de plusieurs jeux didactiques. Comment se joue ce jeu au sein d'une transaction didactique ?

Sensevy (2006) propose quatre types de stratégies pour le professeur pour « faire jouer ce jeu » : la définition, la dévolution, la régulation et l'institutionnalisation du jeu, qui correspondent au quadruplet de verbes d'action, définir, dévoluer, réguler, institutionnaliser. Ce quadruplet, qui marque l'agir de P dans le cadre conjoint P/E, sert à caractériser les jeux et à « se rendre attentif aux modalités de construction du savoir dans la classe » (Sensevy, 2007, p. 29) ainsi qu'à décrire les stratégies accessibles à P pour faire jouer le jeu (Venturini & Amade-Escot, 2010). Nous développons par la suite ces stratégies pour cerner leurs significations.

### **III.4.1 - Définition du jeu**

Ce premier descripteur de l'agir conjoint nous informe, la manière que les « enseignants et élèves vont devoir s'accorder sur la façon de nommer et de désigner les objets qui vont être constitutifs de la leçon, de la tâche ou de la situation qui seront à gérer en commun » (Schubauer Leoni, 2008, p. 74). C'est un processus qui traduit « la transmission de règles constitutives, définitoires du jeu » (Sensevy, 2007, p. 28) par le professeur ; en effet, son travail « consiste d'abord à poser un certain nombre d'objets et à établir le cadre d'une situation » (Sensevy et al., 2000, p. 268). La « mission » du professeur à cette étape du jeu est de faire approprier le jeu à l'élève pour le rendre habile à jouer le bon jeu et à « effectuer les bonnes actions dans le bon milieu » (Sensevy & Quilio, 2002, pp. 52-53). Dans cette étape du jeu, le professeur parle, pour introduire le jeu et faire agir les élèves. Son discours est caractérisé par une forte « valence perlocutoire », qui constitue une de deux spécificités du discours professoral<sup>7</sup> (Sensevy & Quilio, 2002).

Etudier la définition du jeu, c'est voir « comment les règles définitoires du jeu sont transmises par le professeur et appropriées par les élèves, jusqu'à une certaine «transparence» qui permette de jouer le bon jeu presque « sans y penser » (Sensevy, 2006, p. 210).

---

<sup>7</sup>Sensevy and Quilio (2002) évoquent deux spécificités du discours professoral : la valence perlocutoire et la réticence didactique

### **III.4.2 - Dévolution du jeu**

C'est le processus par lequel le professeur fait en sorte que l'élève assume la responsabilité de son apprentissage (Brousseau, 1986). L'élève « se prend au jeu<sup>8</sup> » (Sensevy, 2006) en acceptant de devenir un joueur et de s'investir dans un jeu particulier caractérisé par un milieu et un contrat particulier.

Engager des élèves dans un tel processus, suppose que l'enseignant ne va pas dire tout ce qu'il sait à propos du savoir enseigné pour faire gagner l'élève au jeu. C'est là la deuxième spécificité du discours professoral qui est activée : la « réticence didactique » (Sensevy & Quilio, 2002) au cours duquel « le professeur est donc contraint à se taire là où il aurait la possibilité de parler, il est donc contraint à tenir par-devers lui certaines des choses qu'il veut enseigner, et à engager les élèves dans des rapports aux milieux qui leur permettront de passer outre ce silence » (Sensevy & Quilio, 2002, p. 50). Cependant, si le Professeur fait en sorte que l'Elève s'engage, il doit aussi accepter les conséquences de l'engagement : il doit s'attendre à ce que l'élève dise le savoir, et ce ne soit plus lui qui le fasse. Sous ce constat, (Schubauer Leoni, 2008), souligne l'articulation existante entre la stratégie professorale « définition » et celle de « dévolution » et toute la question selon elle, est de « regarder dans quelle mesure l'enseignant accepte de se dessaisir du problème pour que les élèves puissent l'investir en première personne » (Schubauer Leoni, 2008, p. 74).

Etudier un jeu didactique sous l'angle de dévolution, c'est inférer les techniques mobilisées par le professeur pour solliciter l'engagement des élèves pendant une durée de temps dans le jeu et ceci, par le relevé des « transactions qui peuvent montrer comment les élèves intègrent dans leur comportement les incitations fournies par le professeur, et comment le professeur produit lui-même des stratégies de responsabilisation didactique » (Sensevy, 2006, p. 210).

### **III.4.3 - Régulation du jeu**

La régulation traduit « les comportements que le professeur produit en vue d'amener l'élève à élaborer des stratégies gagnantes» (Sensevy et al., 2000, p. 269) et favorise « la compréhension des règles stratégiques » sans toutefois les donner (Sensevy, 2007, p. 28). L'action de régulation de l'enseignant consiste à gérer l'avancement du temps didactique en

---

<sup>8</sup> Ça peut être rapproché de la valence « Bourdieusienne » du jeu (social)

maintenant la relation didactique au sein de la transaction et en faisant en sorte que les élèves jouent le jeu de manière adéquate sans leur dire réellement comment ils doivent jouer. Ce maintien se traduit par « la latitude topogénétique du professeur » (Sensevy et al., 2000), c'est-à-dire le partage par le professeur des tâches de jeu initialement défini entre lui et les élèves dans cette transaction didactique. Selon Schubauer Leoni (2008), la régulation du jeu consiste à « gérer l'incertitude », puisque, selon elle, « les élèves qui sont confrontés à des objets de savoir nouveaux se trouvent devant une situation qu'on pourrait considérer de quasi crise ne sachant pas qu'ils vont pouvoir dépasser les résistances que représente la tâche ou l'activité et donc l'enseignant va devoir gérer, avec eux, ces incertitudes pour leur permettre de les transformer en connaissances nouvelles » (Schubauer Leoni, 2008, p. 74).

De son côté, Amade-Escot (2003) signale p. 242 que le processus de régulation renvoie à : « l'ensemble des activités qui consistent à modifier les contraintes et les variables des situations, et réguler les sources scolaires d'information de façon à maintenir les conditions de l'interaction élève(s)/savoir enseigné aux fins d'apprentissage des élèves ». Ces contraintes didactiques de « première main » peuvent émerger lors de la confrontation des élèves à des nouveaux objets savoirs dans une situation. Le professeur doit alors réguler le jeu et « gérer ces incertitudes » (Schubauer Leoni, 2008), pour affilier les élèves dans un processus lui aidant à les transformer en connaissances nouvelles.

Nous considérons que la régulation du jeu est décisive dans l'apprentissage des élèves et dans la réussite du jeu et qu'« elle constitue le cœur même de l'activité d'enseignement in situ » (Sensevy, 2007, p. 28) et que par rapport à la question de la continuité et de la discontinuité, les formes de régulations opérées par l'enseignant constituent un élément décisif. L'importance de ces formes de régulations réside essentiellement dans leur capacité d'introduire ou non les discontinuités, ou d'assurer la continuité des savoirs pendant le jeu didactique. Etudier donc la régulation du jeu, c'est se focaliser sur « la manière dont les transactions témoignent de la présence et de l'effectivité de cette régulation » (Sensevy, 2006, p. 210).

#### **III.4.4 - Institutionnalisation du jeu**

L'institutionnalisation, proposée par Brousseau (1998) dans le cadre de la théorie des situations didactiques, est, selon lui, le processus par lequel le professeur indique aux élèves

que la connaissance qu'ils ont construite dépasse le statut de résolution d'une situation d'action, de formulation ou de preuve pour être une référence pour une utilisation future, collective ou personnelle. Il les assure « que leur activité leur a permis de retrouver des savoirs légitimes hors de l'institution – classe, et [...] il les rend comptables, dorénavant, de ces savoirs (Sensevy, 2007, p. 29). L'institutionnalisation se rapporte aux connaissances co-construites au cours du jeu au sein des transactions didactiques « le professeur et les élèves s'instituent comme collectif de pensée responsables de leur production de savoir et ils s'autorisent à évaluer cette production. Ils identifient des manières de faire, que l'institution qu'ils forment reconnaît comme légitimes : ce faisant, ils produisent une institution fondée à valider les manières de faire, dont les élèves et le professeur sont ensemble les sujets » (Sensevy et al., 2000, p. 271). Toutefois, Schubauer Leoni (2008) souligne l'articulation de la régulation et de l'institutionnalisation lors du processus de la gestion d'incertitude. Au cours de ce processus, « l'enseignant va devoir faire intervenir [...] des formes d'institutionnalisation qui sont autant de façons de stabiliser au moins provisoirement pour les élèves, l'état d'avancement du savoir de la classe (Schubauer Leoni, 2008, pp. 74-75).

Etudier l'action sous l'angle de l'institutionnalisation, c'est « observer de quelle manière les significations s'institutionnalisent dans la classe, et comprendre la spécificité des transactions qui relèvent de ce processus » (Sensevy, 2006, p. 211).

### **III.5 - En guise de conclusion : de l'analyse de l'action à l'analyse de statut de la référence commune**

Le modèle proposé par la TACD afin d'analyser l'action didactique conjointe enseignant-élève lors de l'introduction d'un objet de savoir repose sur un socle, « modèle de l'action du professeur » (Sensevy et al., 2000). Ce socle est organisé autour d'un quadruplet fondamental de stratégies professorales, servant à « décrire les techniques didactiques, communicationnelles [...] et polyfonctionnelles du professeur » (Brière-Guenoum, 2012, p. 11), définir, réguler, dévoluer et institutionnaliser. Toutefois, ces « types de stratégies » coexistent et s'articulent entre elles au cours du jeu et contribuent à la dynamique de l'action dont le triplet de genèses chronogénèse (évolution du savoir au cours du temps), topogénèse (l'évolution dans les responsabilités des acteurs de la transaction dans le jeu didactique

constitutif de l'action didactique) et mésogenèse (introduction d'un système d'objets co-construit par P et E) rend compte.

En guise de conclusion, nous proposons une manière de voir l'articulation de tous les outils analytiques et les descripteurs au sein de la TACD pour décrire l'action didactique conjointe Professeur/Elève de la façon suivante : P et E ont à leur disposition pour jouer le jeu un contrat et un milieu ; P a à sa disposition les types de stratégies (définir, dévoluer, réguler, institutionnaliser) ; on rend compte du développement du savoir co-construit à travers le temps et des dynamiques à l'œuvre à l'aide de trois genèses (mésogenèse, chronogenèse et topogenèse).

## **IV - Vers une compréhension de l'action didactique**

Nous venons d'évoquer l'ensemble des descripteurs de l'action didactique in situ, milieu contrat, genèses, types de stratégies du professeur pour faire jouer le jeu. Nous allons maintenant aborder la compréhension de l'action didactique à partir de ce que l'enseignant fait dans l'action. Sous l'angle de l'instance Professeur, la TACD fait référence à trois strates pour décrire et comprendre l'action didactique : « celle qui concerne le jeu in situ en train de se jouer dans la classe ; celle de la préparation du jeu réalisée par l'enseignant ; celle des déterminants du jeu qui conditionnent certains éléments du jeu apparaissant en dehors de l'intentionnalité du professeur » (Venturini & Amade-Escot, 2010, p. 2). Nous proposons dans la suite de donner des précisions sur ces trois catégories. Nous signalons tout d'abord, la difficulté de rendre raison de l'action didactique, de la comprendre. Ensuite, nous développons les éléments de la préparation et la construction du jeu utiles pour la comprendre, dans lesquels les intentions de l'enseignant sont affichées. Par la suite, nous décrivons les déterminants du jeu dans laquelle les éléments échappent à l'intentionnalité de P.

### **IV.1 - Difficulté de comprendre l'action didactique**

Plusieurs recherches ont évoqué le caractère complexe de l'action didactique (Bru, 1991, 2001). Hache (1999) souligne que les pratiques en classe sont « très complexes et très variables, il est nécessaire pour les étudier de prendre en compte simultanément de nombreux points de vue et paramètres » (Hache, 1999, p. 192).



Sensevy (2001), dans une réflexion à la recherche d'une épistémologie qui oriente la description de l'action, distingue deux obstacles majeurs. Le premier obstacle est, selon lui, « structuraliste ». Il prétend que le modèle servant à décrire l'action « ne rend pas compte du sens de l'action pour l'acteur » (Sensevy, 2001, p. 204) et minimise ainsi « la part réflexive constitutive de l'action elle-même et en particulier sa dimension téléologique » (Sensevy, 2001, p. 204). Il suggère que l'analyse de l'action didactique exige qu'« il faut comprendre comment le rapport de l'acteur à l'action peut permettre, dans la plupart des cas, de la redéfinir et de la redéployer concrètement en fonction des fins que l'acteur se désigne à lui-même » (Sensevy, 2001, p. 204). Le deuxième obstacle, selon lui, symétrique au premier, est l'obstacle « rationaliste ». Il trouve ses racines dans les théories d'acteur rationnel qui suppose que l'intention précède et cause l'action et que le « calcul logique d'inférences comme déterminant essentiel de l'action » (Sensevy, 2001, p. 205). Cette approche trouve, selon lui, une difficulté dans le fait de considérer le professeur comme preneur des décisions et de faire « comme si les actions résultaient du calcul réfléchi [de l'enseignant] à partir de paramètres clairement connus et évalués » (Sensevy, 2001, p. 204).

Sensevy critique ce « mécanisme » expliquant l'action, et sollicite à une articulation entre l'« usage » de l'acte et sa « cause » pour appréhender le sens de l'action : « dans cette perspective, le sens des actions n'est pas à comprendre essentiellement dans l'analyse causale que l'acteur pourrait en produire, mais comme le résultat d'acculturation à des usages (institution du sens) liés à des situations particulières, au sein d'institutions particulières» (Sensevy, 2001, p. 204). La compréhension de l'action didactique doit être référée selon lui « aux situations et aux institutions dans lesquelles elle se déploie (Sensevy, 2011, p. 43).

## **IV.2 - La Construction du jeu**

Cette catégorie se réfère à tout ce que fait le professeur hors de la classe pour préparer son cours. Elle désigne le fait de puiser « dans un ensemble de ressources, matérielles et conceptuelles, et les organiser, réorganiser, pour constituer le milieu de cette action de construction » (Sensevy, 2011, p. 186). Dans la logique de l'analyse ascendante de la

transposition didactique, Mercier & Salin (1988) proposent le concept « *analyse à priori*<sup>9</sup> », comme un outil d'observation instrumenté pour les situations didactiques. D'après ces auteurs, l'analyse à priori s'intéresse entre autres, à préciser l'objet de savoir en jeu, à définir les outils matériels et symboliques mises à la disposition des élèves, à estimer la difficulté du problème posé et à identifier les stratégies des élèves. De son côté, Amade-Escot (2007) considère le concept d'analyse a priori comme un outil permettant « de mettre à jour l'intentionnalité portée par le dispositif, en quoi il peut devenir un milieu pour l'étude et enfin à identifier quels sont les savoirs en jeu » (Amade-Escot, 2007, p. 24) et « dont la fonction exploratoire est d'anticiper l'univers des possibles et d'établir en quoi la tâche constitue (ou non) un milieu didactique » (Amade-Escot, 2007, p. 117).

De cette manière, *l'analyse a priori* est considérée comme une référence à laquelle l'action didactique in situ est référée. Cette action in situ suppose de considérer « les interactions de classe sous le prisme des contrats didactiques qui les régissent en partie, et les milieux qu'elles activent et qui leur fournissent leurs arrières – fonds » (Sensevy, 2007, p. 34). Ainsi, l'analyse à priori, permet de comprendre et d'interpréter les « comportements » des élèves et de professeur et de voir quel « jeu » et quelles « transactions » peuvent être suscitées dans le jeu, en sachant que « les transactions sont déjà fortement dessinées avant même leur occurrence réelle » (Sensevy, 2006, p. 123). Elle nous permet aussi, de comprendre ce qui, dans l'action observée, est associée aux rétroactions du milieu ou aux effets du contrat didactique.

### **IV.3 - Déterminants de l'action didactique**

Sensevy (2011) indique que la détermination du jeu constitue la troisième strate qui agit sur la construction du jeu et le jeu in situ. La détermination du jeu consiste à tenir compte des contraintes qui pèsent sur le jeu. Ainsi, au-delà de l'intentionnalité qui apparaît dans la construction du jeu, le jeu est aussi déterminé par des éléments qui échappent de l'intentionnalité de l'enseignant et qui « relèvent du style de pensée au sein duquel le Professeur évolue » (Sensevy, 2011, p. 186). Ainsi, l'action est associée à des déterminants,

---

<sup>9</sup>Ce concept est née et développé en didactique des mathématiques (Mercier, 2002 ; Mercier & Salin, 1988), ensuite d'autres didactiques l'on adapté à leurs disciplines en Physique, (Johsua & Dupin, 1993) ; en EPS, (Amade-Escot, 1997, 2001).

« plus évoqués que réellement formalisés dans la TACD, et qui concernent exclusivement le professeur » (Venturini & Tiberghien, 2012). De ce fait, malgré le fait qu'il s'agit d'une action conjointe, les études se sont intéressées généralement<sup>10</sup> de déterminants de l'action de Professeur. Ces déterminants ne sont pas à prendre au sens causal du terme mais, il existe, « des déterminants généraux de l'activité du professeur, qui bornent son action par des ensembles de contraintes et de ressources, ou qui sont le fruit de la théorie générale de la connaissance, en grande partie implicite, que ses conduites semblent révéler, et qui semblent pouvoir mieux faire comprendre celles-ci » (Sensevy, 2007, p. 44). On est dans la perspective où l'on attribue au professeur un certain nombre de points de vue implicites sur le savoir, sur son enseignement et son apprentissage pour rendre compte de ce qu'il fait. On est dans le « tout se passe comme si » l'enseignant avait tel point de vue sur les savoirs au vu de son action dans la classe. Autrement dit, nous cherchons à inférer, à travers l'action de l'enseignant, ce qui se trouve être en amont de son action à partir de la modélisation de l'action didactique in situ.

Sensevy (2007) évoque les déterminants commandant l'action du professeur. Selon lui (pp. 36-37), nous pouvons comprendre l'action du professeur par : son rapport personnel aux objets de savoirs (au sens de Chevallard), l'adressage de l'action à différentes institutions et son épistémologie pratique (au sens de Sensevy). Dans cette lignée, Venturini & Tiberghien (2012) attestent la présence de ces trois déterminants tout en mentionnant que la situation proposée par l'enseignant lors du jeu est indicatrice quelque part de son rapport aux objets savoirs et de son point de vue à la démarche préconisée. Hervé, Venturini, & Albe (2013) considèrent en plus la valeur que l'enseignant accorde aux savoirs en jeu comme un déterminant de l'action conjointe. Selon ces auteurs « l'intention éducative, empreinte de valeurs, agit en structurant la séance » (Hervé et al., 2013, p. 17). Par ailleurs, Pautal, Schneeberger, & Venturini (2013) complètent la liste des déterminants proposés par la TACD (Sensevy, 2007) par les déterminants de l'action conjointe associés à l'élève et notamment le rapport à apprendre. Ces auteurs évoquent aussi les raisons individuelles et collectives pour expliquer « l'agir conjoint » professeur et élèves. Selon eux, les intentions du professeur et des élèves ont « une certaine épaisseur puisée dans des finalités fournies par des groupes

---

<sup>10</sup> La question de déterminants de l'action de l'élève a été soulevée par E. Pautal dans sa thèse (Pautal, 2012).

sociaux auxquels appartiennent ces personnes singulières, ceux qui enseignent, ceux qui apprennent ».

Avant de détailler chacun des trois déterminants de l'action du professeur évoqués par Sensevy (2007), à savoir, le rapport personnel aux savoirs, l'adressage de l'action par les différentes institutions et de l'épistémologie pratique du professeur, nous signalons que nous sommes conscients, qu'en situation didactique, les déterminants sont multiples. Ainsi, les déterminants de l'action de nature affective par exemple peuvent jouer un rôle important dans les transactions. Cependant, nous nous intéressons dans ce travail qu'aux déterminants de nature didactique « spécifiques au contenu de savoir » qui est dans notre cas, la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base.

#### **IV.3.1 - Action adressée**

L'action didactique analysée suppose la mise en lumière des divers assujettissements qui ont, probablement, des conséquences dans l'action conjointe professeur élève autour d'un savoir. L'enseignant est amené à appliquer le programme officiel, il cherche ainsi à être un bon sujet de l'institution. Cependant, l'action didactique de l'enseignant n'est pas quelconque vue la présence des contraintes institutionnelles qui pèsent sur cette action. Ces contraintes sont multiples, de nature institutionnelle, liées à l'assujettissement du professeur à différentes institutions (par exemple classe de chimie, groupe de professeurs de chimie de l'établissement, association des professeurs de chimie, etc...) dont il veut être un bon sujet (Chevallard, 1992) « Le jeu du Professeur sur le jeu de l'Élève est ainsi tributaire du jeu du Professeur dans l'institution dont il est lui-même sujet » (Sensevy, 2011, p. 186). De ce fait, « l'action de l'enseignant est adressée » (Venturini & Tiberghien, 2012) et son adressage dans l'action est considéré comme un déterminant institutionnel (Sensevy, 2007). L'enseignant à travers l'action didactique s'adresse aux élèves, à leurs parents, à ses collègues, à l'institution mais aussi à lui-même, il n'est pas seul avec les élèves, sa « liberté » est restreinte. Par ailleurs, l'adressage de l'action de l'enseignant constitue « une première manière de « sortir » des intentions du professeur » (Sensevy, 2007) et relève de « la dimension socio-didactique » (Marlot, 2008) relative à la détermination du jeu didactique. Aussi, les enseignants « assujettis à plusieurs institutions, trouvent dans celles-ci d'autres catégories d'action que celles produites par et dans le fonctionnement habituel de la classe » (Sensevy, 2007, p. 37).

### **IV.3.2 - Rapport à un objet de savoir**

Le concept du rapport au savoir fait l'objet de plusieurs approches, telles que l'approche clinique (Beillerot, Blanchard-Laville, & Mosconi, 1996 ; Beillerot, Bouillet, Blanchard-Laville, & Mosconi, 1989 ; Mosconi, 1996, 2008), l'approche microsociologique ou aussi socio-anthropologique (Charlot, 1997) et l'approche anthropologique du didactique (Chevallard, 1989). Sensevy mobilise dans la TACD cette dernière approche du fait que « la question du savoir et des savoirs, de leur production et de leur gestion sociales est centrale en toute société humaine » (Chevallard, 1991). Le focus est ainsi mis sur le savoir lui-même et non sur le sujet comme le proposent les approches clinique et microsociologique.

Dans l'article « Approche anthropologique du rapport au savoir et didactique des mathématiques », Chevallard (1989), introduit les notions d' « objet » et de « rapport à cet objet ». Il définit l'objet comme toute entité, matérielle ou immatérielle existant pour un individu ou une institution. En plus, il caractérise un rapport personnel à cet objet, « rapport à un objet » relatif à un individu, où l'objet est pour nous un « objet de savoir ». Par suite, « connaître un objet de savoir » signifie que la personne ou l'institution, a un rapport à cet objet. Ce rapport, quelle que soit sa nature, relève de « savoir, de savoir-faire, de conceptions, de compétences, de maîtrise, d'images mentales, de représentations d'attitudes, de fantasmes, etc., du sujet à propos de l'objet de savoir » (Chevallard, 1989, p. 227). Ce « rapport à un objet de savoir » est considéré comme étant un système de relations établies entre cet individu et les objets de savoir dans des institutions. Rappelons que l'institution, que nous avons déjà définie dans le Chapitre 1 - II.2 -est un dispositif social total permettant et imposant à ces sujets des manières de faire et de penser propres (Chevallard, 2003). De ce fait, Chevallard (1992) juge que tout objet est un objet institutionnel ne pouvant exister que parce qu'il est « objet de connaissance ». En outre, Le savoir n'existe pas in vacuo, dans un vide social. Chevallard (2003) suggère de l'imaginer au sein « d'un système de pratiques sociales qui, relativement à un certain domaine de réalité, marque sa différence, dont les acteurs sont vus comme réalisant une "performance" sociale, déterminée, réputée associée à une compétence spécifique ». De ce fait, il existe plusieurs positions dans l'institution et que pour un même objet de savoir, il y a plusieurs manières de faire et de penser, selon la position que l'on occupe dans l'institution (Professeur, Elève), si l'on veut être un bon sujet de l'institution. Par conséquent, le rapport institutionnel selon Chevallard (2003), « énonce en gros, ce que se

fait dans l'institution (didactique) avec cet objet (de savoir) » dans une position déterminée. C'est en d'autres termes, le produit d'un processus de transposition didactique opéré par l'institution didactique (Garnier, 2003). L'institution didactique conduit à une mise en conformité du rapport personnel de l'individu avec le rapport institutionnel, si cet individu est un bon sujet de l'institution.

D'un autre côté, Chevallard (1989) caractérise ainsi la relation entre la dimension personnelle et la dimension institutionnelle relatives aux rapports à un objet de savoir comme « un système essentiel des conditions et des contraintes sous lesquelles se forme et évolue le rapport personnel à l'objet de savoir des acteurs de l'institution. Inversement, ce sont les rapports personnels des acteurs qui – dès lors qu'ils sont suffisamment idoines aux rapports institutionnels correspondants « soutiennent » les rapports institutionnels, lesquels, à leur tour, « soutiennent » l'écologie du savoir S dans l'institution I » (Chevallard, 1989, p. 214).

Le rapport personnel à un objet de savoir d'un individu peut s'autonomiser de l'institution à laquelle il est assujéti du fait que ce savoir vit dans une multitude d'institutions (la famille, le lycée, la classe, le programme, le cercle d'amis, ..). A ce sujet, Chevallard (1992) indique que « la liberté de la personne apparaît alors comme l'effet obtenu en jouant sur un ou plusieurs assujettissements institutionnels contre d'autres ». Ainsi, selon cet auteur, la personne, construit un rapport personnel à l'objet savoir qui lui est propre du fait qu'elle est considérée comme « l'émergent d'un complexe d'assujettissements institutionnel» (Chevallard, 1992). En d'autres termes, l'émergence du rapport personnel d'un individu à un savoir suppose l'établissement des assujettissements entre cet individu avec ces institutions (Chevallard, 1998).

Aussi, Chevallard (1992) distingue alors la dimension « publique » et « privée » du rapport personnel au savoir d'un individu :

- La dimension publique, que l'individu rend visible dans une institution, correspond à ce que les sujets « mettent en visibilité à travers divers canaux et systèmes de signifiants » (Schubauer Leoni & Ntamakiliro, 1994). C'est ce que l'individu dans une position donnée dans une institution donne à voir de son rapport personnel. Ce rapport personnel est lié à une multitude d'assujettissements passés ou présents, il ne peut être identique au rapport institutionnel dans une institution donnée, la seule

manière de s'en sortir pour l'individu qui veut être un bon sujet est de n'en montrer qu'une partie, celle correspondant à l'institution dans laquelle il se trouve.

- La dimension privée, que l'individu cache à l'institution (Chevallard, 1992) par le fait que l'individu la conçoit « pour lui-même et qu'il ne juge pas utile ou nécessaire de rendre visible » (Schubauer Leoni & Ntamakiliron, 1994).

Ainsi, chaque enseignant a un rapport particulier à un objet de savoir, c'est-à-dire une manière de faire et de penser avec cet objet qui lui est particulière liée à ses assujettissements passés et présents, et que probablement, une partie de celui-ci va orienter et conditionner la manière dont il occupera la position de professeur (P) dans l'institution didactique. Ce rapport personnel de l'enseignant à un objet de savoir dont on peut voir la manifestation dans la préparation (en fait la manifestation de la partie publique dans cette institution de ce rapport), peut s'analyser, en outre, dans la situation, selon les topos occupés, selon aussi les formes de régulations qu'il opère et donc de la mésogenèse et aussi selon la chronogenèse qui en résulte. Par conséquent, ce rapport personnel peut être vu comme un déterminant de l'action inféré de l'action in situ ou de la préparation, vue comme une anticipation de l'action. A ce sujet, Sensevy (2006, p. 82) atteste « Lorsqu'on étudie des interactions didactiques, on perçoit que la pratique de savoir à laquelle le professeur veut initier et qu'il veut inculquer constitue un déterminant essentiel de son action et de l'action des élèves ». Il signale aussi que la compréhension de l'action didactique nécessite l'étude des différents rapports possibles aux objets savoir, révélés dans l'interaction entre le professeur et les élèves, sur lesquels cette action se fonde.

Aussi, nous considérons que la prise en compte d'un « rapport à un objet de savoir » nous offre l'opportunité de considérer, l'action didactique comme liée à un système de relations, à la fois personnelles et institutionnelles. D'autre part, par son orientation de l'action, ce « rapport au savoir » constitue un des déterminants de l'action, inférés comme les autres de l'action in situ.

Enfin, signalons que Pautal (2012) indique, dans sa thèse, l'intérêt de prendre en compte les élèves dans l'action conjointe à travers leur rapport aux savoirs en jeu et d'examiner aussi le sens et la valeur qu'ils accordent à ces savoirs in situ. Elle propose ainsi, d'analyser et d'examiner en plus du rapport aux objets de savoirs des élèves perçu dans l'action, le rapport à l'apprendre d'élèves au sens de (Charlot, 1997). Rappelons que selon Charlot, s'il évoque le rapport au savoir, il s'agit en fait pour lui d'un rapport à l'apprendre et dans ces circonstances

analyser le rapport au savoir n'est qu'« étudier le sujet confronté à l'obligation d'apprendre » (Charlot, 1997, p. 91). Ce rapport à l'apprendre est selon lui entendu comme la relation de sens et de valeur au savoir et comporte des dimensions, épistémique, identitaire et sociale. Pautal (2012) suggère ainsi, à la suite d'une analyse croisée de l'approche anthropologique et socio-anthropologique, d'ajouter aux déterminants de l'action conjointe proposées par Sensevy (2007), un déterminant côté élève, traduisant ce rapport à apprendre des élèves permettant de « d'apporter une intelligibilité supplémentaire aux pratiques conjointes » (Pautal, 2012, p. 38).

### **IV.3.3 - Epistémologie pratique**

Nous commençons cette partie par retracer les origines de la notion de l'« épistémologie pratique », telle qu'elle est élaborée par Brousseau dans le cadre de la théorie des situations didactiques. Ensuite nous développons cette notion selon l'approche comparatiste de la didactique et plus précisément selon la théorie de l'action conjointe en didactique. Cette partie s'achève par la déclaration d'une définition « procédurale » de la notion d'« épistémologie pratique » que nous utiliserons dans la suite de cette thèse.

#### **IV.3.3.1 Epistémologie pratique : une multitude définitions**

On doit à Brousseau l'introduction de la notion d'« épistémologie du professeur » à usage professionnel, afin de « résoudre les conflits du contrat didactique » (Brousseau, 1986, p. 56) et d'expliquer certains phénomènes transpositifs telles que les difficultés rencontrées par les professeurs lors de la mise en œuvre des ingénieries didactiques (Perrin-Glorian, 1993). Selon Brousseau (1986), l'épistémologie du professeur se réfère aux fonctionnements implicites de la discipline ou à un modèle. Il souligne que l'enseignant est amené à « expliciter auprès de l'élève une méthode de production de la réponse : comment répondre à l'aide des connaissances antérieures, comment comprendre, construire une connaissance nouvelle, comment appliquer les leçons antérieures, comment apprendre, deviner, résoudre<sup>11</sup>...etc »

---

<sup>11</sup> Pour Brousseau, si on crée une situation adidactique, on n'a pas besoin d'enseigner dans la situation elle-même. Mais en général mettre en œuvre une situation adidactique est très compliqué et donc comme les professeurs ne réussissent pas à la faire, ils sont obligés d'intervenir et amènent l'élève à produire un réponse : ce faisant ils mettent en œuvre une épistémologie professionnelle qui serait par ailleurs inutile si la situation était pleinement adidactique.



(Brousseau, 1986, p. 56). De son côté Perrin-Glorian (1994) définit l'épistémologie du professeur comme « une idéologie épistémologique des savoirs enseignés » ralliant en même temps la définition des savoirs et la conception de l'enseignement. Quant à Amade-Escot (1998), elle l'a appelée « théorie sous-jacente aux régulations de l'enseignant » permettant d'expliquer la pratique des professeurs.

Au sein de la TACD, l'analyse de l'action didactique suppose l'existence d'une « épistémologie qui arme et oriente le regard et l'enquête » (Sensevy, 2001, p. 204). Cette épistémologie qu'il appelle « épistémologie pratique », a selon Sensevy (2007) un caractère implicite, spontané et émergeant de la pratique et l'oriente. Sensevy précise les raisons de cette dénomination de « pratique » par le fait que : 1) elle a des conséquences pratiques, elle est directement ou indirectement agissante dans le fonctionnement de la classe ; 2) elle est produite en grande partie par la pratique même si elle est en grande partie non intentionnelle (Sensevy, 2007, pp. 37-38). En ce sens, l'épistémologie pratique participe à l'élucidation des fondements et des raisons du comportement didactique. En plus, Sensevy (2006) précise le fonctionnement de l'épistémologie pratique dans l'action comme « un tropisme d'action qui surdétermine dans une certaine mesure le pilotage de la classe. Cette surdétermination n'est pas produite par la définition a priori de formes d'actions, mais contraint la manière dont le professeur oriente les transactions dans la classe en fonction des équilibres didactiques. » (Sensevy, 2006, p. 219). Toutefois, Brière-Guenoum & Amade-Escot (2010) mentionnent que, s'intéresser aux actions des enseignants en contexte revient à considérer et analyser l'épistémologie pratique des professeurs comme déterminant didactique et inversement, « l'élucidation de l'épistémologie pratique informera et redéfinira l'analyse in situ, de même que telle conduite de régulation in situ pourra concourir à la compréhension d'un élément essentiel de cette épistémologie pratique<sup>12</sup>. » (Brière-Guenoum & Amade-Escot, 2010, p. 45).

---

<sup>12</sup>Brière-Guenoum and Amade-Escot (2010) renvoient par ces propos en partie à la méthodologie du chercheur qui part de certains « faits » qu'il décrit pour en inférer des éléments de l'épistémologie pratique, qu'il peut conforter à partir de déclarations de l'enseignant, et cet élément permet aussi de comprendre un autre « fait » qui n'avait pas été mis en lumière... on est sur des prises d'indices et des inférences sur plusieurs corpus, même si le corpus principal reste la vidéo

#### **IV.3.3.2 Epistémologie pratique identifiée à un « potentiel » des théories implicites**

A travers les lignes précédentes, on peut conclure à la difficulté de parvenir à une définition cohérente du concept d'« épistémologie pratique ». Pourtant il est considéré comme une notion centrale dans la compréhension de l'action enseignante. Néanmoins, nous considérons que déjà au moment où un enseignant planifie l'enseignement d'un objet de savoir, il l'aménage en particulier relativement à un certain nombre d'idées, implicites et explicites, qu'il a à propos de l'objet de savoir lui-même, de la manière dont les élèves appréhendent ce savoir, de la façon de l'aborder pour favoriser son apprentissage. Nous rejoignons (Sensevy, 2007) dans la définition de l'épistémologie du professeur en la considérant comme « une théorie plus ou moins implicite de la connaissance (des savoirs enseignés), de son sens, de son usage, des relations que telle connaissance entretient avec telle autre. Elle prolonge et constitue l'arrière-fond de cette épistémologie spécifique aux tâches confiées aux élèves (...) elle est aussi adressée, en tant qu'épistémologie des transactions didactiques, charriant aussi une conception de ce qu'est l'apprentissage, de ce que peuvent être les difficultés d'apprentissage, de ce que peuvent signifier les différences entre élèves, etc. » (Sensevy, 2007, p. 37). Toutefois, Hervé (2012) propose dans sa thèse d'incorporer aussi la dimension axiologique, relative aux savoirs, à l'épistémologie pratique de l'enseignant et d'ajouter ainsi les valeurs éducatives et ses théories implicites. Selon lui, cette dimension se réfère au sens que les enseignants attribuent à leur action sous l'angle des objectifs et finalités de leur enseignement « qui ne sont pas seulement liés à l'apprentissage de savoirs scientifiques mais aussi à une perspective éducative, dans le sens où les savoirs sont alors des moyens visant un développement humain » (Hervé, 2012, p. 381).

Ainsi, dans la suite de notre travail, nous considérons l'épistémologie pratique de l'enseignant comme un « potentiel » des « théories plus ou moins implicites » personnelles, en constante évolution pouvant être mises en relation avec son action, où tout se passe comme si elles étaient mobilisées dans l'action. Ces théories implicites sont des constructions individuelles qui ne peuvent pas être à l'écart des assujettissements à différentes institutions et qui selon Tardif (2007), résultent des interactions avec les pairs, des échanges et conflits cognitifs entre enseignants et de l'ajustement mutuel de leurs conceptions à propos d'un savoir. Nous suggérons que ces théories plus ou moins implicites ont trois dimensions produites pour l'action didactique et inversement la produisant en retour, à savoir :

a) une théorie implicite sur l'objet de savoir en tant qu'un savoir scientifique : cette construction se réfère à ce que pourrait être le point de vue épistémologique sur ce que c'est un savoir scientifique, sa nature, ses modalités de construction ainsi que le lien de cet objet de savoir avec d'autres concepts de chimie.

b) une théorie implicite sur l'enseignement d'un objet de savoir : cette catégorie inclut des théories sur l'enseignement de la chimie en général et d'un objet de la chimie en particulier dans un contexte donné. C'est aussi une idéologie, du fait que ce sont bien les valeurs des savoirs qui sous-tendent ces options qui sont autant pédagogiques que didactiques, par exemple rendre les élèves capables d'expliquer des phénomènes de la vie quotidienne, ou encore les rendre autonomes, par exemple aptes à utiliser des savoirs pour prendre des décisions.

c) une théorie implicite sur l'apprentissage d'un objet de savoir : cette section inclut les théories implicites de l'enseignant sur la façon dont l'apprentissage de ce concept et aussi plus généralement des savoirs de la chimie par exemple, voire des savoirs scientifiques peuvent se réaliser. On pourrait inclure dans ces théories implicites l'idée que pour apprendre des savoirs scientifiques et donc de la chimie, il faut que les élèves trouvent la solution à une question, ou qu'ils doivent d'abord construire le problème, ou qu'il faut confronter les élèves à une expérience.

Nous tentons au cours de cette recherche, d'analyser, lors des transactions didactiques accompagnant l'enseignement de la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base, les continuités et les discontinuités introduites par l'action didactique dans l'avancée de ce savoir, qui sont une manifestation de l'épistémologie pratique de l'enseignant, de caractériser cette épistémologie pratique, en l'inférant de l'observation in situ.

## **V - Etude de travaux antérieurs relatifs à la TACD**

Nous proposons dans la suite, pour clôturer notre étude sur l'action didactique, d'évoquer quelques travaux en didactique des sciences, plus particulièrement en didactique de physique chimie qui s'inscrivent dans l'approche comparatiste et notamment privilégiant la TACD comme cadre théorique pour analyser et comprendre ce qui se passe lors de l'enseignement d'un objet de savoir particulier in situ. Ces études contribuent entre autres à enrichir la théorie

par des nouveaux outils et concepts et permettent aussi de donner naissance à des savoirs sur les pratiques in situ. Cette étude, non exhaustive, essaye d'examiner les objets investigués, les méthodes utilisées et les types de résultats qui ont été trouvés dans l'objectif de s'inscrire en lignée de ces études, tout en leur empruntant certains éléments méthodologiques. Ces études ont en effet permis d'élaborer progressivement la méthodologie que nous utiliserons, empruntée de Tiberghien et Venturini (2015)

### **V.1 - Etude de Venturini & Tiberghien (2012)**

Venturini & Tiberghien (2012) proposent une analyse didactique d'une séance d'enseignement de physique, à propos de la loi d'additivité des tensions dans un circuit série, menée par un jeune enseignant en début de carrière. Ces deux chercheurs étudient la mise en œuvre de la démarche d'investigation de cet enseignant conformément aux exigences des nouveaux programmes de sciences physiques au collège. Ils mobilisent le cadre de l'action conjointe en didactique pour caractériser l'action conjointe professeur/élève et étudier les dynamiques méso, topo et chronogénétiques ainsi qu'inférer les déterminants de l'action du professeur. Le corpus à analyser est constitué d'une vidéo, d'une durée de 55 minutes, enregistrée pendant la séance avec la classe de 4<sup>e</sup>, une vidéo de type autoconfrontation, considérée comme un entretien, au cours de laquelle l'enseignant commente et justifie ses actions et enfin une fiche distribuée aux élèves contenant les activités proposées. L'analyse de ces données conduit les deux chercheurs, en référence à la TACD, à les structurer en neuf jeux didactiques successifs dont le niveau de granularité varie entre 3 à 18 minutes afin de percevoir les dynamiques en jeu. L'analyse à priori permettra d'identifier les comportements possibles des élèves envers les tâches proposées. Cette étude révèle l'engagement de cet enseignant à appliquer les réformes et à instaurer la démarche d'investigation dans l'apprentissage, bien qu'il éprouve des difficultés dans sa mise en œuvre, qu'il les dépasse en prenant en charge lui-même la majorité de l'avancée des savoirs. De cette analyse, les chercheurs infèrent, l'action adressée à différentes institutions, l'épistémologie pratique, les rapports personnels aux savoirs concernés, à la situation proposée et à la démarche mise en œuvre comme déterminants de l'action didactique de cet enseignant en début de carrière.

## **V.2 - Etude de Tiberghien & Malkoun (2007)**

Cette étude croise l'évaluation des performances des élèves avec le fonctionnement d'une classe de physique. Les deux chercheuses proposent d'étudier les relations entre les pratiques d'enseignement au cours d'une séquence relative à la partie mécanique du programme de physique en classe de seconde de l'enseignement général, celui du principe d'inertie, dans deux classes différentes de seconde et l'évolution des performances des élèves. L'analyse est centrée sur les savoirs en jeu dans la classe comme une production conjointe du professeur et des élèves in situ. La reconstruction du savoir enseigné in situ se fait à l'aide des enregistrements vidéographiques et est analysée selon plusieurs échelles. L'analyse à l'échelle mésoscopique, de l'ordre de dizaine de minutes, est basée sur une approche thématique. L'analyse à l'échelle microscopique, de l'ordre de la seconde, est basée sur le découpage du savoir en petits éléments appelés « facette » (Minstrell, 1992), une unité élémentaire de savoir, quotidien ou scientifique, donc un élément de la théorie, de concept, de procédure, un élément de description, de comportement. De l'analyse de ces facettes, émergent deux notions pouvant rendre compte de la dynamique du savoir enseigné : la continuité et la densité du savoir enseigné. Quant à l'analyse à l'échelle macroscopique de la totalité de la séquence d'enseignement, elle est assurée par des questionnaires élèves construits à partir d'une analyse conceptuelle du programme officiel et présentés au début et à la fin de la séquence dans les classes. Cette analyse permet de rendre compte et de comparer les appropriations des élèves du savoir enseigné au sein de deux classes et d'associer l'enseignement aux performances des élèves. Du fait de leurs hypothèses sur l'apprentissage, par exemple un élève n'apprend pas d'un coup le principe d'inertie mais va intégrer des éléments nouveaux de connaissance dans des ensembles déjà acquis, les deux chercheuses considèrent que « l'apprenabilité » d'un élément de savoir est capitale pour déchiffrer les relations entre enseignement et apprentissage de cet élément. Elles montrent de ce fait que pour des diverses facettes, un lien s'établit entre une continuité forte dans le savoir enseigné et son acquisition.

## **V.3 - Etude de Seck (2008)**

Cet article analyse l'action didactique d'une enseignante lors de l'enseignement d'un contenu de savoir, l'énergie. Cette analyse se fonde sur un corpus vidéo d'une durée de 8 heures 30

minutes correspondant à sept séances dans une classe de première scientifique. Le chercheur conçoit une méthodologie permettant d'analyser la vie d'un savoir mis en jeu dans une classe conformément aux diverses échelles temporelles et différents niveaux de granularité du savoir. L'analyse de la situation de classe au sein de la relation ternaire (enseignant, élève et savoir) est repérée selon trois échelles de temps : macroscopique, mésoscopique et microscopique. L'analyse des savoirs à enseigner se fait à l'échelle macroscopique des textes du programme officiel, des documents d'accompagnement des programmes et des séquences d'enseignements préparées par un groupe associant chercheurs et enseignants. En se référant à cette échelle et en se fondant sur le texte de la transcription, l'analyse du savoir effectivement enseigné est effectué aux échelles mésoscopique et microscopique. Ainsi, à l'échelle mésoscopique, la progression thématique, les phases didactiques et l'organisation sociale de classe caractérisent, ce que le chercheur appelle « les formes de mise en scène dans une classe ». D'autre part, l'analyse à l'échelle microscopique de l'ordre de la seconde, examine les énoncés des locuteurs concernant le savoir à une granularité très fine. Selon l'auteur, cette méthodologie, permet l'analyse de l'action conjointe enseignant élève et débouche sur la structuration et l'articulation des diverses échelles temporelles.

#### **V.4 - Etude de Cross (2010)**

Cross propose une étude sur les connaissances professionnelles d'une enseignante effectivement mises en œuvre lors de diverses séances de chimie en classe de Terminale. Ces connaissances professionnelles sont inférées à partir de l'analyse de l'action de l'enseignante in situ conduisant à une « reconstruction des connaissances ». Il articule ainsi l'action et les connaissances. Pour se faire, il se réfère en premier lieu, entre autre, à la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) pour décrire et analyser l'action didactique. En deuxième lieu, pour les connaissances des enseignants, il mobilise le modèle Pedagogical Content Knowledge (PCK), qui consiste à identifier et catégoriser les connaissances que développe un enseignant pour enseigner un contenu de savoir, dans son cas la notion de constante d'équilibre dans le cas des acides et des bases. Le chercheur adopte une méthodologie fondée sur une double approche : une analyse narrative d'un volume horaire de 25 heures d'extraits de bandes vidéo pris en classe ordinaire et une analyse statistique de mots clés caractérisant à ces mêmes extraits vidéo. Afin de lire le corpus du point de vue didactique et de suivre l'évolution du savoir, celui-ci est découpé en épisodes thématiques centrés chacun sur un objet de savoir,

d'une durée variable pouvant aller de quelques minutes à plusieurs dizaines de minutes et repérés par la présence de marqueurs linguistiques. Les connaissances professionnelles sont repérées et reconstruites à partir des réponses de l'enseignante en fonction des questions des élèves dans les moments où l'enseignante est supposée mobiliser ses PCK. L'action didactique de l'enseignante est, selon cette étude, orientée par des buts tels que la préparation des élèves au baccalauréat et la compréhension de la chimie par les élèves, ce qui permet au chercheur d'inférer diverses connaissances professionnelles liées à ces deux buts. Ces connaissances professionnelles dépendent de la situation et du savoir enseigné mis en jeu. Ce savoir est constamment au cœur de toute interaction, cependant le chercheur insiste sur le fait que ce sont les connaissances des acteurs par rapport à ce savoir enseigné qui caractérisent l'action didactique et non pas le savoir enseigné en soi.

### **V.5 - Etude d'Hervé et al. (2013)**

Ces chercheurs s'intéressent à l'analyse et la compréhension des pratiques ordinaires d'un jeune enseignant de physique au cours de l'enseignement, dans une classe de 1e Scientifique, de l'énergie et du changement climatique. Le premier objet est qualifié d'un savoir traditionnel alors que le deuxième relève des controverses socioscientifiques. Les chercheurs mobilisent la TACD dans une perspective comparatiste afin d'identifier les éléments génériques et spécifiques à l'enseignement de ces deux objets de savoir afin d'envisager à partir de cette étude de cas des possibilités d'articulation dans la pratique entre des modalités d'enseignement de savoirs établis et de savoirs controversés. La méthodologie de cette étude est fondée d'une part sur l'enregistrement vidéo de deux séances d'enseignement de « l'énergie » et sur « le changement climatique » dans un lycée de l'enseignement public agricole en France et d'autre part, par deux entretiens avec l'enseignant avant et après chaque séance. Ensuite, chaque séance est structurée en jeux didactiques, dont les frontières concordent avec un changement de milieu, d'enjeu de savoir ou bien de règles de jeu. Cette étude révèle des éléments de continuité dans les théories implicites de l'enseignement entre les deux séances à propos de l'enseignement/apprentissage de la physique. Mais, l'épistémologie pratique de l'enseignant a aussi des composantes spécifiques à dominante épistémologique dans la séance sur l'énergie, et à dominante sociale dans la séance sur le changement climatique. Cette dominante sociale est matérialisée par la sensibilisation, chez les élèves, des valeurs éducatives relatives au changement climatique.

## **V.6 - En guise de conclusion**

À travers ces études nous voulons « voir » comment le cadre conceptuel de la TACD a été mis en œuvre pour pouvoir analyser et comprendre les pratiques enseignantes afin de situer l'objet de notre recherche. Pour notre compte, nous retenons d'une part ce qui nous semble pertinent dans la méthodologie, notamment les échelles de temps macroscopique, mésoscopique et microscopique, la structuration thématique, la structuration en jeu et épisodes.



## **Chapitre 2 - La variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base : étude épistémologique, didactique et institutionnelle**

Comme nous l'avons déjà précisé dans la partie I, notre problématique s'intéresse à l'analyse et la compréhension de l'action didactique conjointe Enseignant/Elèves autour d'un objet de savoir particulier, la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base, de deux enseignants tunisiens d'expérience professionnelle différente. Afin d'éclairer notre étude, nous proposons dans la suite, d'étudier les aspects épistémologiques, didactiques et institutionnels liés à cet objet de savoir. Dans l'étude épistémologique, nous traitons les grandes théories qui ont marqué un progrès dans la compréhension des notions d'acide et de base, la genèse de la notion du pH et ses expressions théoriques dans les solutions acides et basiques ; nous clôturons cette partie par la question du titrage. Dans le volet didactique, nous proposons d'explicitier les difficultés d'enseignement/apprentissage, relatives à la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base, repérées dans des études en didactique de chimie. Enfin, à partir d'une analyse institutionnelle, nous indiquons les modalités de la mise en œuvre « officielle » de cet objet de savoir dans l'enseignement de chimie aux classes terminales scientifiques et les finalités du système éducatif tunisien pour un tel enseignement.

### **I - Les réactions acido-basiques : étude épistémologique**

Ce chapitre se veut une étude épistémologique des réactions acido-basiques. Nous estimons que les notions liées à notre objet de savoir, les acides, les bases, le pH et les tirages, méritent d'être développées, d'abord pour lever les ambiguïtés très nombreuses, et d'autre part, avoir une carte claire sur la référence scientifique pour comprendre la transposition didactique faite par les experts tunisiens, relative à la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base. A cet égard, nous retraçons la genèse et l'apport des théories importantes qui ont marqué l'évolution de la modélisation des notions acides et bases d'une part et d'autre part, l'histoire et les modifications qui ont été apportées au pH, notion qui permet de

caractériser l'acidité d'un milieu. Par la suite nous étudions les titrages acide-base pour comprendre la transposition qui a été faite à l'échelle des classes terminales scientifiques.

## **I.1 - Abrégé historique des notions d'acide et de base**

Jusqu'à l'époque contemporaine, les modèles chimiques des acides et des bases ont largement évolué, allant du niveau macroscopique au niveau microscopique et du concret à un niveau plus abstrait, essayant de donner une explication à certain nombre d'observables. Nous exposons un abrégé<sup>13</sup> historique et scientifique des grandes théories qui ont marquées l'évolution des notions acide et base d'une part et d'autre part la notion le pH. L'approche historique, sans qu'elle ne soit obligatoirement très approfondie, nous permet de voir plus clairement la chronologie de l'apparition des théories, les différences et les complémentarités entre elles.

### **I.1.1 - Les acides et les bases : point de vue alchimiste**

Dans une comparaison entre la chimie du Moyen-Age (Alchimie) et la chimie moderne, Sénéchal indique que la spécification de l'alchimie à la chimie moderne est « sa vision organique plutôt que mécanique de l'Univers » (Sénéchal, 2004, p. 144). L'alchimie, selon lui, « attribue à la manière « inerte » les qualités du vivant. Ainsi, toute chose est créée par la conjonction de principes mâle et femelle » (Sénéchal, 2004, p. 155). L'alchimie dans le Moyen-Age considère que toute la matière est formée par un mélange de quatre éléments aristotélicienne (terre, eau, air, feu). Cette idée est réfutée par les philosophes mécanistes parmi lesquels Sthal (1660-1734). Celui-ci affirme que « the object of chemistry was to differentiate the process of a homogeneous mixture (mixtion) from simple mechanical aggregation » (Cité par Furio-Mas et al., 2005, p. 1340). Le concept de « substance » s'établit alors, comme un concept empirique traduisant une matière pure dont les propriétés et les caractéristiques sont invariables et qui la distinguent des autres substances. Boyle (1627-1691) convaincu par cette nouvelle définition de « substance » (Furio-Mas et al., 2005) cherche une conceptualisation macroscopique basée sur les propriétés « visibles » des

---

<sup>13</sup>Voir l'article de Latifa Ouertatani et Alain Dumon (Ouertatani & Dumon, 2007) intitulé « Évolution historique des concepts d'acide et de base »

« substances » acides (Drechsler & Van Driel, 2008). En effet, à l'époque, la notion d'acidité est limitée aux stades gustatifs ou culinaires. On découvre aussi que des métaux et les carbonates mis en contact de certaines solutions « acides » se dégradent rapidement. Ou aussi, la solution acide prend une couleur rouge en présence de rouge de tournesol. Les alcalis<sup>14</sup> ont été reconnus par leurs sensations savonneuse au toucher, leurs virages au bleu en présence de rouge de tournesol mais surtout, par leur capacité à « détruire » les acides dans une réaction où un sel se forme (Drechsler & Van Driel, 2008). Dans ce modèle, la neutralisation est considérée comme un procédé chimique dans lequel les propriétés alcalis neutralisent les propriétés acides, et vice versa. Ce n'est qu'à la fin du 18ème siècle qu'on abandonne le terme « alcali » au profit de terme « Base » (Furio-Mas et al., 2005) défini comme étant toute substance qui forme un sel lors d'une réaction avec un acide (Oversby, 2000). La proposition de Davy en 1810, considérant que tous les acides contiennent de l'hydrogène (Ouertatani & Dumon, 2007) et l'introduction de la notion d'ion, présente dans les travaux de Faraday (1835), étaient une rupture avec les idées alchimistes et un point de départ d'une nouvelle ère de pensée permettant de proposer des nouvelles théories dans le but de mieux comprendre les acides et des bases.

### **I.1.2 - Les acides et les bases : évolution d'une chimie nouvelle**

Il existe plusieurs théories contemporaines, expliquant le comportement des acides et des bases, qui ont succédé à la théorie d'Arrhenius. Chacune d'elles est fondée sur l'échange d'un type bien déterminé de particules. Nous proposons dans la suite un balayage de chacune de ces théories. Toutefois, nous nous focalisons sur celles d'Arrhenius et de Bronsted dans la mesure où elles sont introduites dans les programmes officiels de chimie en Tunisie.

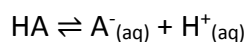
---

<sup>14</sup>Un terme qui dérive du mot arabe al-kali, ce qui signifie cendres des plantes proposé par Geber (721-815) (Abu Musa Jâbir Ibn Hayyan Al-sufi)

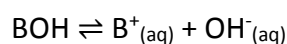
### I.1.2.1 Théorie d'Arrhenius<sup>15</sup> (1859 – 1927)

La théorie d'Arrhenius est la première théorisation véritable des acides et des bases. Elle est issue de ses travaux et ceux d'Ostwald<sup>16</sup> (1853 – 1932) concernant la dissociation des électrolytes en solution aqueuse et basée sur l'ionisation de l'eau. Arrhenius propose la définition suivante pour les acides et les bases :

Un acide HA est une substance qui s'ionise dans l'eau en libérant des ions hydratés  $H^+_{(aq)}$  et un anion suivant la réaction suivante :

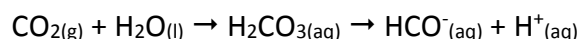


Une base BOH est une substance qui s'ionise dans l'eau en libérant des ions hydroxyde  $OH^-_{(aq)}$  et un cation selon la réaction :

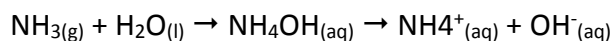


Par « substance », Arrhenius précise qu'il s'agit d'une espèce chimique neutre et renfermant de l'hydrogène. Cependant, Arrhenius explique l'acidité et la basicité de quelques substances « trouble-fête » telles que le dioxyde de carbone (dépourvu d'hydrogène) et l'ammoniac (dépourvu d'ion hydroxyde) comme suit :

Pour le  $CO_{2(g)}$  :



Pour le  $NH_{3(g)}$  :



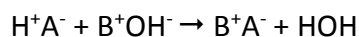
La force des acides et des bases dépend de leur ionisation dans l'eau. Plus l'ionisation est forte, plus l'acide (ou la base) est fort (forte).

Arrhenius en 1903 propose aussi que toute réaction entre un acide et une base forme, en plus de l'eau, un sel selon la représentation suivante :

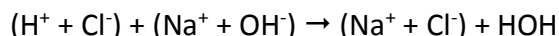
---

<sup>15</sup> Svente Arrhenius : chimiste suédois, prix Nobel de chimie en 1903. Il soutient en 1984 sa thèse de doctorat dont le sujet est « The interpretation of conductivity in extremely diluted electrolytes » où il présente sa théorie de dissociation électrolytique des substances ioniques.

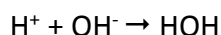
<sup>16</sup> Wilhelm Ostwald : chimiste allemand, prix Nobel de chimie pour ses travaux sur les équilibres chimiques.



Ainsi, une application sur la réaction entre l'acide chlorhydrique HCl et l'hydroxyde de sodium donne l'équation suivante :



Ou d'une façon plus simplifiée :



La théorie d'Arrhenius a permis d'expliquer la présence des substances amphotères décrites comme étant des substances pouvant jouer le rôle d'un acide (donneur de  $\text{H}^+$ ) ou une base (donneur de  $\text{OH}^-$ ) par exemple l'eau  $\text{H}_2\text{O}$ .

En conclusion, la théorie d'Arrhenius prévoit la production des ions  $\text{H}^+$  et  $\text{OH}^-$  par des substances électriquement neutres dans l'eau. Or l'expérience montre que ces mêmes substances produisent des ions dans d'autres solvants autres que l'eau. En plus, l'expérience montre que le comportement acide et basique ne se limite pas aux substances électriquement neutres. De ce fait, la théorie d'Arrhenius bien que pionnière dans la théorisation des acides et des bases, est insuffisante pour expliquer les acides et les bases dans leurs généralités. Toutefois, elle s'avère satisfaisante dans les solutions aqueuses, puisque du point de vue quantitatif, elle permet de prévoir correctement les équilibres acide-base.

### **I.1.2.2 Théorie de Bronsted-Lowry<sup>17</sup>**

Nous commençons par exposer les fondements de la théorie de Bronsted et sa contribution dans l'évolution de la conceptualisation des acides et des bases. Ensuite, nous essayons de montrer l'équivalence de cette théorie avec celle d'Arrhenius en milieu aqueux. Nous pensons que cette dernière tâche est importante pour comprendre les différences (s'il y en a) entre de la théorie de Bronsted – Lowry et celle d'Arrhenius en milieu aqueux.

#### **I.1.2.2.1 Les fondements de la théorie de Bronsted – Lowry**

Bronsted et Lowry ont révolutionné la conception de la nature des acides et des bases par une idée très simple : l'échange de protons. Ils suggèrent, à quelques mois d'intervalle tout en

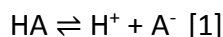
---

<sup>17</sup> Johannes Nicolaus Bronsted (1879-1947) : chimiste et biologiste danois.

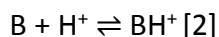
Thomas Martin Lowry (1874-1936) : chimiste anglais

ignorant le travail l'un de l'autre, de nouvelles définitions similaires, concernant les acides et les bases, fondées sur le principe de transfert de protons. Selon cette théorie :

- Un acide est un composé (HA) susceptible de libérer un proton suivant l'équation :



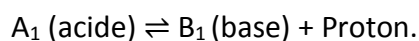
- Une base est un composé (B) susceptible de fixer un proton suivant l'équation :



Ces définitions élargissent la liste des acides et des bases figurant dans la théorie d'Arrhenius. Elles montrent que le caractère acide ou basique d'une substance chimique est indépendant de sa charge électrique. Cependant, compte tenu de la particularité<sup>18</sup> de l'espèce proton et de son inexistence<sup>19</sup> à l'état libre en solution, les équilibres [1] et [2] sont virtuels et on ne peut jamais les mettre en évidence séparément en solution. Par suite, la réaction « visible » est la réaction acide-base résultante des équilibres virtuels [1] et [2] :



C'est une réaction d'échange de proton entre deux couples acide-base HA/A<sup>-</sup> et BH<sup>+</sup>/B. Ce transfert de protons résulte du fait que l'acide peut donner une base lors de la perte d'un proton et réciproquement une base peut donner un acide lors de la captation d'un proton. Une parfaite dépendance entre l'acide et la base est née alors, contrairement à la théorie d'Arrhenius qui définit l'acide et la base indépendamment l'un de l'autre. En outre, la théorie de Bronsted définit le couple acide-base conjugué A<sub>1</sub>/B<sub>1</sub>, où A<sub>1</sub> et B<sub>1</sub> sont dits conjugués, par l'équation formelle suivante :



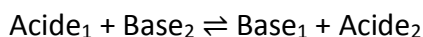
---

<sup>18</sup> Le terme proton désigne l'ion H<sup>+</sup>. Contrairement aux ions qui possèdent un ou plusieurs électrons autour de leur noyau, le proton ne possède aucun. De ce fait, il règne à sa surface un champ électrique intense le permettant d'exercer un pouvoir polarisant très fort sur toute espèce se trouvant dans son entourage.

<sup>19</sup> Un calcul de la concentration des protons en phases aqueuses réalisé par, Farjans, conduit à la valeur de 10<sup>-130</sup> mol.L<sup>-1</sup>

Ainsi, l'apport fondamental de la théorie de Bronsted est la notion de couple acide-base conjugué qui lui a permis d'éviter la nécessité d'introduire  $\text{OH}^-$  et de considérer à la fois des solvants protiques<sup>20</sup> et aprotiques<sup>21</sup>.

La théorie de Bronsted-Lowry considère que toute réaction acide-base est une réaction mettant en jeu deux couples  $\text{Acide}_1/\text{Base}_1$  et  $\text{Acide}_2/\text{Base}_2$  et au cours de laquelle il y a un transfert des protons et dont l'équation générale s'écrit sous la forme :

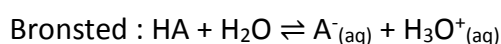


#### **I.1.2.2.2 Equivalence de la théorie d'Arrhenius et de Bronsted en solution aqueuse**

Contrairement à ce qu'on pourrait penser, les deux théories sont équivalentes en solution aqueuse et les différences entre elles sont plutôt d'ordre théorique. Les exemples suivants illustrent cette constatation.

Premier exemple

Les deux théories expliquent la manifestation des caractères acide et basique par l'apparition des mêmes espèces chimiques à savoir le cation oxonium<sup>22</sup> et l'ion hydroxyde  $\text{OH}^-$ . Regardons de près l'ionisation de l'acide HA selon les deux théories.



Si on considère que les espèces  $\text{H}^+_{(\text{aq})}$  et  $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$  sont identiques (et c'est une réalité physique due à l'inexistence d'un proton « nu ») ces deux écritures sont équivalentes.

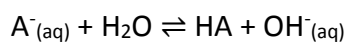
L'espèce  $\text{A}^-$  est bel et bien une base de Bronsted selon la réaction :

---

<sup>20</sup> Solvants possédant des hydrogènes capables d'agir dans des liaisons hydrogènes. Exemple, eau, alcool, acide, ammoniac

<sup>21</sup> Solvants incapable (ou très difficilement) de faire des liaisons hydrogène. On distingue les solvants aprotiques polaires peu solvatants (Acétone, Butan-2-ol, Sulfolane...) et les solvants apolaires très solvatants (Benzène, Cyclohexane, Toluène,...).

<sup>22</sup> L'ion hydronium  $\text{H}_3\text{O}^+$  est le plus simple des ions oxonium. Le proton  $\text{H}^+$  ne peut pas exister seul dans les solutions aqueuses, une molécule d'eau se fixe alors pour donner l'ion oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+$ . C'est pourquoi il est judicieux de représenter le proton  $\text{H}^+$  hydraté par  $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$

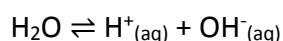


Par ailleurs, l'étude de cette réaction révèle que l'espèce  $A^{-}$  s'ionise dans l'eau pour donner l'ion hydroxyde et par suite  $A^{-}$  est aussi une base d'Arrhenius. Seulement, les ions hydroxydes proviennent du solvant et non pas de la base comme l'indique Bronsted.

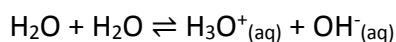
En outre, si on exclue l'origine des ions hydroxyde (qui n'est pas d'ailleurs détectable) et si l'on associe les espèces  $\text{H}^{+}(\text{aq})$  aux  $\text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq})$ , les deux théories sont équivalentes dans l'eau.

Deuxième exemple

Selon la théorie d'Arrhenius, l'eau est amphotère parce qu'elle libère à la fois un proton hydraté et un ion hydroxyde par molécule selon :



Selon la théorie de Bronsted, pour afficher le caractère amphotère de l'eau, nous aurons besoin de deux molécules d'eau selon :



La première molécule joue le rôle de l'acide, la deuxième celui de la base. Le caractère amphotère de l'eau résulte donc d'un transfert de protons entre les couples  $\text{H}_3\text{O}^{+}/\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^{-}$ . Aussi, si on ne se prend pas en compte de la présence de deux molécules d'eau (au lieu d'une), les deux théories sont équivalentes. Leur seule différence réside dans l'explication du caractère amphotère de l'eau, pour lequel elles mettent toutefois en jeu les mêmes espèces chimiques.

### **I.1.2.3 Théorie de Lewis<sup>23</sup>**

En 1923, Lewis propose une approche plus étendue des notions acides et bases. Elle repose sur l'échange de doublets électroniques entre base et acide et elle n'est plus restreinte à la présence d'une espèce chimique particulière, comme le cas de la théorie de Bronsted.

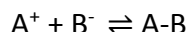
Un acide de Lewis est un accepteur de doublet électronique. Une base de Lewis est un donneur de doublet électronique.

---

<sup>23</sup> Gilbert Newton Lewis (1875 – 1946) un physicien et chimiste américain



La réaction acido-basique selon Lewis produit un composé de coordination (A-B) par création d'une liaison covalente :



Cette théorie est très large et dépasse celle de Bronsted. Toutes les bases de Bronsted sont des bases de Lewis. Cependant, l'inverse n'est pas vrai. Le monoxyde de carbone, par exemple, est une base de Lewis importante<sup>24</sup> mais il n'est pas base de Bronsted parce qu'il n'est pas capable de capter les protons. Cette théorie est aussi très intéressante pour les chimistes organiciens. En chimie de coordination<sup>25</sup>, les chimistes privilégient l'utilisation des termes d'accepteurs et donneurs (d'électrons). En outre, elle trouve son champ en chimie de milieux non aqueux où se produisent des phénomènes acide-base qui ne comportent pas de transfert de protons.

#### **I.1.2.4 Autres théories des acides et des bases : Oxoacide – solvoacide**

La présence dans la nature d'une quantité importante des deux ions  $H^+$  et  $O^{2-}$ , indépendamment de la nature du solvant où ils se trouvent, fait naître les idées de l'acidité et de l'oxoacidité (Trémillon, 2012). La théorie d'Arrhenius, sur l'acidité dans les solutions aqueuses, a inspiré d'autres chimistes<sup>26</sup> à élaborer des théories sur l'acidité dans des solvants non aqueux, en reliant la définition des acides et les bases à l'auto-ionisation du solvant. Ces théories mettent en évidence l'existence des couples solvoacide – solvobase identifiés par le transfert d'ions (cations ou anions) caractéristiques de l'auto-ionisation du solvant.

#### **I.1.2.5 Acidité selon Franklin-Gutman (solvoacidité)**

La particule échangée est maintenant issue du phénomène d'autodissociation du solvant. La notion de solvoacidité selon Franklin-Gutmann est alors introduite. Cette théorie propose de définir, un solvoacide comme une espèce accepteuse d'anion ( $X^-$ ) du solvant, et une solvobase comme espèce donneur d'anion du solvant selon l'équation formelle suivante :



---

<sup>24</sup> Pour ses réactions avec les métaux.

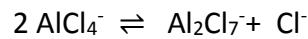
<sup>25</sup> Une spécialité de chimie qui étudie les complexes, du point de vue des liaisons entre les ligands et les cations, et de leurs propriétés physiques et chimiques.

<sup>26</sup> Germann en 1925 ; Cady et Elsey en 1928 ; Franklin en 1935 ; Gutmann en 1952

Exemple de la chloroacidité la chloroacidité issue de la dissociation de solvant (Tétrachloroaluminate de sodium) :  $\text{NaAlCl}_4$



L'espèce  $\text{AlCl}_4^-$  se transforme en  $\text{Al}_2\text{Cl}_7^-$  selon la réaction :



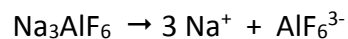
Dans un tel solvant, un chloroacide est un capteur de  $\text{Cl}^-$  ou un donneur de la particule conjuguée, telle que  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}_2\text{Cl}_7^-$ .

Selon ce point de vue,  $\text{AlCl}_3$  est donc un acide :  $\text{AlCl}_3 + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AlCl}_4^-$  ;

$\text{NaCl}$  est une chlorobase :  $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

Exemple de fluoroacidité : la fluoroacidité est liée à la dissociation du solvant cryolithe :

$\text{Na}_3\text{AlF}_6$



Le fluoroacide est alors un donneur de  $\text{AlF}_4^-$  ou accepteur de  $\text{F}^-$ , par exemple le composé  $\text{AlF}_3$

La fluorobase est donc un donneur de  $\text{F}^-$  ou accepteur de  $\text{AlF}_4^-$ , par exemple le composé  $\text{NaF}$

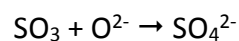
### **I.1.2.6 Théorie de Lux – Flod**

Cette théorie permet d'étudier les réactions acide-base en milieu non-protique ou sans solvant. Elle est fondée sur l'échange de l'ion oxyde  $\text{O}^{2-}$ . Elle est très utile en métallurgie et dans la géologie, notamment dans les études des roches.

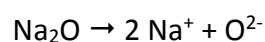
Un acide (oxoacide) est un capteur de  $\text{O}^{2-}$ , il possède un caractère covalent fort. Une base (oxobase) est un donneur de  $\text{O}^{2-}$  et possède un caractère ionique fort. L'oxoacide et l'oxobase sont reliés par l'équation formelle :



Exemple d'acides : oxydes covalents



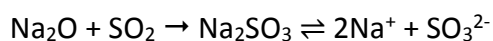
Les bases : oxydes ioniques



Les amphotères : espèces à la fois acide et base par exemple ZnO

Acide :  $\text{ZnO} + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{ZnO}_2^{2-}$  et base :  $\text{ZnO} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{O}^{2-}$

Les réactions acide-base sont caractérisées selon ce point de vue par un transfert des ions  $\text{O}^{2-}$  comme l'indique les deux exemples suivants :



### **I.1.2.7 Vers une théorie plus générale : la théorie d'Usanovich**

En 1934, Usanovitch propose une théorie plus générale connue sous le nom de « théorie positif-négatif ». Selon cette théorie tout processus conduisant à la formation d'un sel est une réaction acide-base. Usanovich propose de définir les concepts acides et bases de la manière suivante :

- Un acide est une espèce capable de donner des cations, de se combiner avec des anions ou des électrons, ou de neutraliser une base.
- Une base est une espèce capable de donner des anions ou des électrons, de se combiner avec des cations, ou de neutraliser un acide.

Cette théorie étudie non seulement les réactions acide-base mais encore les réactions d'oxydo-réduction.

La théorie d'Usanovich peut être considérée comme une théorie qui regroupe celle de Lewis, qui elle-même regroupe toutes les autres théories (Arrhenius, Bronsted-Lowry et Lux – Flood). De ce fait, cette théorie rend compte de presque toutes les réactions chimiques (Day & Selbin, 1969), de sorte que ces derniers chercheurs ont suggéré de désigner les réactions acido-basiques tout simplement par des « réactions chimiques ».

### **I.1.2.8 Théorie des acides et des bases dures et molles (Hard and Soft Acid and Base : théorie HSAB)**

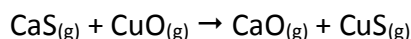
Les études des réactions entre acides et bases de Lewis conduisent Pearson en 1963 à introduire la notion de dureté. Il distingue deux types de substances qu'il nomme dures et molles. Selon Pearson, l'acide dur est de petite taille, fortement électropositif, difficile à réduire. L'acide mou est de grande taille, peu électropositif, facile à réduire. Voici quelques exemples d'acides durs et mous :

- Exemples des acides durs : ions des métaux alcalins et alcalino-terreux, ions des métaux de transition les plus légers dans leurs degrés d'oxydation élevés ( $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ),  $\text{BF}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ..
- Exemple des acides mous : des métaux de transitions lourds et ceux des degrés d'oxydation les plus bas ( $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ),  $\text{BH}_3$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{I}$ ,  $\text{N}$ .

La base dure est fortement électronégative, peu polarisable, difficile à oxyder (fortement chargée, orbitales contractées). Une base molle est faiblement électronégative, très polarisable, facile à oxyder. En voici quelques exemples :

- Des bases dures :  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{CO}_2^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{O}^{2-}$
- Des bases molles :  $\text{H}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{CO}$ .

Cette théorie repose sur un principe simple : « ce qui se ressemble s'assemble ». En outre, le HSAB prévoit que lors d'une réaction chimique, les espèces de même dureté réagissent ensemble. Un exemple qui illustre ce principe :



Dans cette réaction, les atomes « durs » calcium et l'oxygène s'associent et le soufre et le cuivre, atomes « mous », s'unissent ensemble. Les études récentes montrent que les substances dures interagissent par liaisons principalement ioniques, alors que les substances molles s'unissent par des liaisons covalentes. La dureté d'une substance est exprimée par la formule suivante

$$\eta = \frac{E_I - A}{2}$$

où A est l'affinité électronique et  $E_I$  est l'énergie d'ionisation.

La théorie HSAB est très complexe et est destinée à l'explication de la stabilité des composés, les vitesses des réactions, etc.

### I.1.3 - Conclusion

De cette discussion des principales théories qui, depuis Arrhenius, se sont succédées pour définir les acides et les bases et expliquer leurs interactions, on peut voir qu'il n'y a pas de théorie acide-base idéale. Par suite, chaque théorie a un champ d'application particulier et une approche pragmatique doit être adoptée dans le choix d'une théorie plutôt qu'une autre.

La théorie de Bronsted - Lowry suffit pour définir toutes les bases et les acides protoniques, et la théorie de Lewis définit les acides aprotiques et explique l'activité des catalyseurs. L'équilibre acide-base dans la métallurgie est couvert par la théorie de Lux – Flood. Toutefois, la chimie de terminales concerne essentiellement les solutions aqueuses et que les théories de Bronsted et Arrhenius suffisent pour expliquer les phénomènes chimiques dans ce niveau.

## **I.2 - Mesure de l'acidité d'une solution en milieu aqueux**

Bien que la mesure du pH, aujourd'hui, soit une opération routinière, le concept de pH, que l'on doit à Sorensen<sup>27</sup>, possède une histoire complexe au cours de laquelle sa définition a été plusieurs fois modifiée. Cette complexité émerge aussi dès que l'on pose la question du sens physique qu'elle porte. A cet égard, de son apparition à nos jours, plus de « cent ans d'existence n'ont pas levé les paradoxes de cette grandeur à la fois indispensable au plan utilitaire, et insaisissable au plan fondamental » (Bardez, 2010, p. 35). Nous retraçons dans cette partie, en premier lieu, l'histoire de la naissance de la notion du pH et les différents changements qui ont affecté sa définition. Ensuite nous évoquons les méthodes utilisées pour la détermination du pH. Enfin nous exprimons, sans approfondir dans l'étude théorique, le pH des solutions acides et basiques dans l'eau.

### **I.2.1 - Aperçu historique**

Sorensen développe chez Carlsberg<sup>28</sup> à Copenhague la notion de pH afin d'établir une relation entre l'acidité et les réactions enzymatiques. Sorensen bénéficie des résultats de recherches utilisant la théorie d'Arrhenius en vogue à cette époque. Arrhenius, par sa théorie de dissociation ionique conduit Ostwald en 1888 et Wijs en 1893 à déterminer le produit ionique de l'eau. Ils trouvent chacun des valeurs voisine à  $10^{-14}$  à 25°C. Fort de ces résultats, Friedenthal suggère en 1904 de considérer la concentration des ions hydrogène comme marqueur de la réactivité acido-basique, ce qui permet à Sorensen de corréler des activités

---

<sup>27</sup> Un biochimiste danois (1869 – 1939), il dirige le département chimique chez Carlsberg de 1901 à 1938. L'invention de la notion du pH a révolutionné le procédé de brassage.

<sup>28</sup> Compagnie brassicole danoise où Sorensen étudie, à l'époque, l'influence de l'acidité sur certains phénomènes biologiques liés à la fermentation de la bière.

enzymatiques à la concentration des ions hydrogène. En plus, le produit ionique de l'eau fait ressortir une très large gamme de concentrations de l'ion hydrogène dans l'eau allant de  $10^{-14}$  mol.L<sup>-1</sup> à 1 mol.L<sup>-1</sup>.

### I.2.1.1 Les expressions du pH introduites par Sorensen

Ces concentrations, comme remarqua Sorensen, prennent des valeurs en puissance négative de dix. Il invente, alors, en 1909 un concept que, pour des raisons typographiques (Norby, 2000), il désigne par  $p_H^+$  dans son article en français<sup>29</sup> et  $p_H^*$  dans son article en allemand. Il énonce que « la valeur numérique de l'exposant sera désignée par  $p_H^+$  et appelée exposant des ions hydrogène » (Sorensen, 1909 ; cité par Bardez, 2010, p. 37). La formulation mathématique de cette définition est alors :

$$p_H^+ = -\log_{10} C_{H^+}$$

Dans ces expressions H, toujours en majuscule, désigne évidemment l'ion hydrogène et  $C_{H^+}$  désigne la concentration de l'ion hydrogène. Cependant, Sorensen n'a jamais explicité ses raisons pour le choix de la lettre p en minuscule. Norby (2000) la relie au mot danois « potens » qui signifie en allemand « potenz » et en français « puissance » et non « potentiel » comme l'indique Bardez (2010).

Dans les dix premières années qui succèdent l'apparition de la notion du pH, plusieurs symboles ont été utilisés :  $P_h, PH, ph, pH, Ph, P_H, P_H^+$  et  $p_H^+$  (Myers, 2009). Ce n'est qu'en 1920 que Clark suggère<sup>30</sup> l'utilisation de « pH » comme symbole traduisant la « puissance » d'ions hydrogène.

$$pH = -\log_{10} C_{H^+}$$

D'un autre côté, la formulation par Nernst<sup>31</sup> du potentiel d'une électrode en fonction de la concentration des espèces présentes ouvre une piste pour la réalisation des piles électrochimiques. Pour réaliser des mesures de pH, il faut opposer l'électrode à hydrogène à une autre demi-pile, dite de référence, et dont le potentiel reste constant à une température

---

<sup>29</sup> Cet article porte le titre « *Etude enzymatiques II* »

<sup>30</sup> Lors de son ouvrage « *The Determination of Hydrogen Ions* », paru en 1920 chez the Williams and Wilkins Compagnie, Baltimore.

<sup>31</sup> Walther Hermann Nernst (1864 – 1941) est physicien et chimiste allemand prix Nobel de chimie de 1920

donnée. Sorensen était pionnier aussi dans ce domaine puisqu'il utilise pour la première fois, une électrode au calomel en référence pour une mesure de pH. Il remarque que les mesures potentiométriques réalisées avec une électrode de verre sensible aux ions hydrogène ne sont pas identiques à leur concentration (Burgot, 2011). L'introduction par Lewis de la notion d'activité, lors de l'établissement des lois thermodynamiques en solution diluée, convainc Sorensen que ces mesures avec l'électrode à hydrogène s'adressent à l'activité de l'ion hydrogène et non pas à sa concentration. Ignorant le symbole « pH », pour garder la définition originale (Bardez, 2010), Sorensen et Linderstron – Lang en 1924 introduisent un nouveau concept qu'ils notent :

$$pa_H = -\log_{10} a_H^+$$

Toutefois, ce nouveau symbole  $pa_H$  n'a pas reçu avec enthousiasme dans le milieu scientifique, il est rapidement négligé et le symbole de pH retrouve son existence mais cette fois est relié à l'activité chimique de l'ion hydrogène et non plus à sa concentration comme lors de la première définition.

$$pH = -\log_{10} a_{H^+}$$

Et par extension de cette définition, on peut écrire la fonction  $p^{32}$  de l'espèce X :

$$pX = -\log a_X$$

Bien que cette définition du pH en termes d'activité soit incontournable, elle complique la situation puisque expérimentalement l'activité d'un ion n'est pas accessible (Burgot, 2011).

### **I.2.1.2 L'activité d'un ion**

Nous proposons dans la suite un éclaircissement du concept d'activité d'un ion, compte tenu de son intervention dans l'expression du pH et de son importance dans l'établissement des lois thermodynamiques dans les solutions.

L'activité  $a_i$  d'un constituant  $i$  dans le mélange est donnée par la relation :

$$\mu_{i,mol}(T, p, x_i) = \mu^0(T) + RT \ln a_i$$

où :

---

<sup>32</sup> C'est la fonction cologarithme. C'est le logarithme décimal de l'espèce X changé de signe.

$\mu_{i,mol}$  est le potentiel chimique du constituant i.  $\mu^0$  est le potentiel chimique standard. Très souvent la référence choisie est le corps pur. T étant la température exprimé.

$R=8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$  est la constante de gaz parfait.

Dans une solution, solvant et soluté interagissent. Ces interactions vont réduire la disponibilité du soluté pour une réaction chimique. De ce fait la concentration du soluté « libre » en solution capable de réagir n'est plus égale à la concentration initiale.

La solution est « idéale » lorsque chaque molécule de soluté ne fait l'objet d'aucune interaction avec le solvant et par suite, la concentration du soluté « disponible » pour la réaction est celle apportée à la solution.

Pour se rendre compte de ce phénomène, on définit alors une grandeur correctrice sans unité, traduisant l'« écart à l'idéalité » qu'on appelle activité, définie par la relation :

$$a_i = \frac{\gamma_i C_i}{C^0}$$

Dans cette expression on désigne par  $C_i$ , la concentration de l'espèce i dans le mélange,  $C^0$ , la concentration de référence égale à  $1 \text{ mol.L}^{-1}$ . C'est la concentration en soluté de solution idéale où on suppose qu'il n'y a plus d'interaction entre les constituants et par suite  $\gamma_i=1$ .

$\gamma_i$ , le coefficient d'activité de l'espèce i dans le mélange, sans unité, est compris entre 0 et 1. Sa valeur dépend de la concentration molaire de l'ion et de sa charge.

La relation précédente s'écrit alors :

$$a_i = \gamma_i C_i$$

Dans le cas d'une solution peu concentrée (environ  $< 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$ ), le coefficient d'activité est voisin de 1, on confond alors l'activité et la concentration et on aura comme expression de pH :

$$pH = -\log[H^+]$$



En revanche, pour une solution concentrée,  $\gamma$  varie avec la force ionique<sup>33</sup>  $I$  et l'échelle pH ordinaire n'est plus valable et on fait appel alors aux fonctions d'acidité (Hammett, 1940).

## **I.2.2 - Méthode de mesure du pH**

La mesure du pH se réalise par une variété de méthodes, essentiellement optiques et électrochimiques. Ces deux méthodes mobilisent des procédés différents et par suite elles donnent des mesures différentes. Cependant, les procédés normalisés de mesure du pH sont fondés sur le principe de mesure électrochimique avec des électrodes en verre. Sans entrer dans les détails, nous décrivons les principales caractéristiques de chacune de deux méthodes tout en nous focalisant sur la méthode potentiométrique par utilisation de pH-mètre, l'instrument sans doute le plus utilisé dans les laboratoires et dans l'enseignement de chimie.

### **I.2.2.1 Méthodes électrochimiques**

Elles sont basées sur l'utilisation de deux électrodes, une indicatrice et l'autre de référence. La détermination du pH se fait par recours aux lois de Nernst.

#### **I.2.2.1.1 L'électrode à hydrogène**

C'est la méthode incontournable en raison de son intérêt historique et théorique. Elle met en jeu le couple électrochimique  $H_2/H^+$  et permet de mesurer un potentiel électrique lié directement à l'activité des ions  $H^+$ . Cependant, elle est très délicate et n'est pas adaptée aux mesures de routine dans les laboratoires. En plus, peu de laboratoires dans le monde disposent d'une électrode à hydrogène et sont par suite désignés en tant que Laboratoire de Référence<sup>34</sup>.

#### **I.2.2.1.2 Mesure potentiométrique**

Les méthodes potentiométriques sont fondées sur la mesure du potentiel d'une électrode indicatrice sensible à un composé ou ion de la solution étudiée, par rapport à une électrode de référence.

---

<sup>33</sup> La force ionique se calcule par la formule  $I = \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2$  et elle s'exprime en mol.L<sup>-1</sup>.  $Z_i$  étant la charge de l'ion  $i$  et  $C_i$  sa concentration.

<sup>34</sup> Nous citons le *National Institute of Science and Technology* aux Etats-Unis et *Radiometer A/S* au Danemark

La pH-métrie est un cas particulier<sup>35</sup> des méthodes de potentiométrie, elle est utilisée dans les laboratoires pour une mesure routinière du pH. Elle est basée sur une chaîne de mesure composée d'un pH-mètre, une électrode indicatrice, appelée électrode de verre, et une électrode de référence, une sonde de température et des solutions étalons. Les deux électrodes souvent regroupées et forment ainsi une seule électrode appelée électrode combinée. Le pH-mètre est constitué alors d'une électrode combinée et un convertisseur numérique. Il mesure en réalité une différence de potentiel (en mV) entre les deux électrodes et son rôle est de convertir cette valeur en pH.

Cette différence de potentiel entre les deux électrodes est définie par la loi de Nernst :

$$E = E_{ind} - E_{ref} = E'_T + \frac{RT}{F} \ln(a_{H^+})$$

Dans cette expression, E désigne la différence de potentiel mesuré en mV ;  $E_{ind}$  et  $E_{ref}$  les potentiels respectivement de l'électrode indicatrice et celle de référence ;  $E'_T$  une constante fonction de la température s'exprimant en mV ; R la constante de gaz parfait de valeur 8,3144 J.K<sup>-1</sup> ; T la température absolue exprimée en °K ; F la constante de Faraday est égale à 96485 C.

Transformée en logarithme décimal cette relation devient :

$$E = E'_T + 2,303 \frac{RT}{F} \log(a_{H^+})$$

En tenant compte de l'expression de  $pH = -\log a_{H^+}$ , la valeur de pH à une température T s'exprime :

$$pH = pH_T^0 - \frac{E}{R'.S.T}$$

Où, R' est une constante égale à 0,1984 mV.K<sup>-1</sup> ; S est un facteur de correction qui prend en compte la différence de réponse entre l'électrode utilisée et la valeur théorique et  $pH^0$  est le zéro pH correspondant à E = 0.

---

<sup>35</sup> On distingue aussi la méthode ISFET (Ion Selective Field Effect Transistors) où le potentiel mesuré est dû à l'interaction des ions étudiés avec une membrane d'oxyde métallique. Aussi la mesure potentiométrique avec électrodes à membrane.

Avant de commencer les mesures, on procède à un étalonnage du pH-mètre pour prendre en compte les caractéristiques réelles de l'électrode. Généralement, on utilise deux solutions tampons différentes, ce qui nous amène à déterminer les deux paramètres, le  $\text{pH}^0$  et la pente.

Cette méthode est relative et les valeurs affichées par le pH-mètre ne sont que des valeurs approchées. En outre, plusieurs paramètres ne sont pas pris en considération dans la mesure expérimentale du pH. A titre d'exemple, l'algorithme de calcul du pH-mètre ne prend pas en compte la variation de température sur les composants électroniques internes du pH-mètre. Néanmoins, pour réduire ces influences, on recommande de mettre sous tension le pH-mètre une trentaine de minute avant de procéder aux mesures pour que la température des composants stationnaire et de choisir un couple d'électrodes symétrique.

### **I.2.3 - Méthodes optiques**

Elles regroupent les procédés colorimétriques, les papiers pH et la photométrie.

#### **I.2.3.1 Colorimétrie**

C'est une méthode qu'on l'utilise lorsque la précision des mesures n'est pas exigée. Elle dépend de la lumière de jour, d'une solution indicatrice et de l'œil humaine. La solution indicatrice (ou indicateur coloré) est constituée par une substance qui prend une couleur différente selon la valeur de pH. La détermination du pH se fait par comparaison de la couleur de la solution avec une échelle de référence. Le premier indicateur coloré introduit en 1850 est le tournesol. Plus tard vers les années 1877 et 1878, la phénolphthaléine et l'orange de méthyle viennent de naître (Burgot, 2011). L'intérêt de leur utilisation repose d'une part, sur le coût faible comparé à celui des instruments spécialisés et d'autre part, sur la facilité d'utilisation.

#### **I.2.3.2 Papiers pH**

C'est une méthode fréquemment utilisée pour sa simplicité d'utilisation et son coût abordable. L'indicateur de pH est simplement déposé sur une bandelette de papier ou un bâtonnet de matière plastique. On plonge le papier dans la solution. De la même façon qu'avec la méthode colorimétrique, on estime la valeur de pH par comparaison avec une échelle de couleurs. C'est une méthode, qui n'autorise pas une haute précision. Les valeurs trouvées

dépendent de nombreux paramètres tels que la subjectivité d'appréciation, la marque du papier ou des bâtonnets etc.

### **I.2.3.3 Photométrie**

Il s'agit d'un procédé colorimétrique dans lequel la mesure d'intensité de couleur n'est plus à la charge de l'œil humain mais à celle d'un photomètre. C'est un dispositif constitué d'une source de lumière et d'un élément photosensible au silicium agissant comme récepteur. Cette méthode donne des mesures plus précises que celles de la colorimétrie.

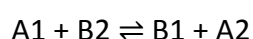
## **I.3 - pH des solutions acides et basiques en milieu aqueux**

Dans la mesure où la majorité des réactions dans les organismes vivants et où un grand nombre des réactions au laboratoire se produisent dans l'eau, c'est le seul solvant que nous envisageons dans cette partie. La notion d'acide et de base que nous développons, dans ce qui suit, sont celles de la théorie de Bronsted (1923) qui, comme nous l'avons indiqué dans l'abrégé, est la mieux adaptée pour la description acido-basique en solutions aqueuses. Les transformations acides bases sont capitales dans les tissus vivants où le pH physiologique est contrôlé (chez l'être humain le pH sanguin varie entre 7,3 et 7,4 alors que le pH de la salive est de 6). Elles sont importantes aussi dans les processus industriels où les couples acides/bases interviennent comme de catalyseur pour certaines réactions ou des réactifs pour d'autres.

Cette partie s'intéresse donc à l'étude des équilibres acidobasiques en milieu aqueux par échange de protons. Il s'agira, essentiellement, de déterminer le pH de certaines solutions aqueuses (acides ou basiques). Au sujet de pH, rappelons qu'il s'exprime en fonction de l'activité des ions  $H^+$ . Cependant, pour simplifier les calculs nous confondons tout au long de cette partie, activités et concentrations et ceci en supposant que les solutions sont très diluées. Enfin, il convient de mettre également en évidence l'importance du dosage par titrage acidobasique où nous exploitons les courbes issues de suivis pH-métriques.

### **I.3.1 - Equilibre acido-basique**

L'échange protonique entre deux couples acide-base de Bronsted  $A_1/B_1$  et  $A_2/B_2$  s'écrit :



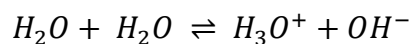
L'équilibre résultant est caractérisé par une constante d'équilibre  $K$ , obtenue à partir des activités chimiques des corps  $A_i$  et  $B_i$  :

$$K = \frac{a_{B_1} \times a_{A_2}}{a_{A_1} \times a_{B_2}}$$

La connaissance de la valeur de  $K$  fournit une indication sur le sens de déroulement spontané de la réaction. Qualitativement si  $K$  est supérieur à 1, la réaction se fait de gauche à droite, et dans le sens inverse si  $K < 1$ . La valeur de  $K$  est liée au caractère total ( $K > 10^4$ ) ou limité ( $K < 10^4$ ) de cet équilibre.

### I.3.2 - Dissociation de l'eau pure

Il s'agit de mettre en jeu les deux couples acide – base  $H_3O^+/H_2O$  et  $H_2O/OH^-$ . L'équation résultante de ces deux couples s'écrit :



La loi d'action de masse appliquée à cet équilibre donne :

$$K = \frac{a_{H_3O^+} \times a_{OH^-}}{a_{H_2O}^2}$$

Comme l'activité de l'eau est constante la constante d'équilibre usuelle identifiée à  $K_w$ , le produit ionique de l'eau, s'exprime de la manière suivante :

$$K_w = a_{H_3O^+} \times a_{OH^-} = [H_3O^+][OH^-] \times \gamma_{\pm}^2$$

En tenant compte du fait que la force ionique est très faible,  $\gamma_{\pm} \cong 1$ , et le produit ionique de l'eau est alors :

$$K_w = [H_3O^+][OH^-]$$

A 25°C, le produit ionique de l'eau est égale à  $K_w = 10^{-14}$

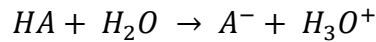
C'est une solution électriquement neutre et par suite :

$$[H_3O^+] = [OH^-]$$

Ce qui donne un pH = 7 à 25°C

### I.3.3 - pH d'une solution d'acide fort

un acide fort HA, de concentration C, est totalement dissocié dans l'eau selon la réaction d'équation suivante :



Le principe de neutralité électrique est alors

$$[H_3O^+] = [OH^-] + [A^-]$$

La dissociation est quasi-totale, le principe de conservation de masse est alors :

$$[A^-] = C$$

En tenant compte de la relation du produit ionique de l'eau, la formule générale donnant le pH d'un acide fort est alors :

$$pH = -\log\left(\frac{C + \sqrt{C^2 + 4K_w^2}}{2}\right)$$

Pour des acides suffisamment concentrés c'est-à-dire en chimie analytique  $C > 5 \cdot 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$ , les ions hydroxydes sont négligeables et par suite :

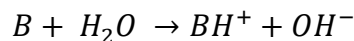
$$[H_3O^+] = [A^-] = C$$

Et donc le pH d'un acide fort est donné par la relation :

$$pH = -\log C$$

### I.3.4 - pH d'une solution de base forte

Nous traitons maintenant le cas d'une base forte. Sa dissociation dans l'eau, quasi - totale, met en jeu deux couples acide - base  $BH^+/B$  et  $H_2O/OH^-$  selon l'équation :



Le principe de neutralité électrique s'écrit :

$$[BH^+] + [H_3O^+] = [OH^-]$$

Le principe de conservation de la matière permet d'écrire :

$$[BH^+] = C$$

En tenant compte de l'expression de produit ionique de l'eau, on obtient l'équation générale permettant de déterminer le pH de la solution :

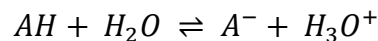
$$\frac{K_w}{[H_3O^+]} - [H_3O^+] = C$$

Cette équation se simplifie dans le cas où on néglige les ions hydronium, du fait que la base forte est suffisamment concentrée, et ainsi on obtient l'expression du pH d'une solution de base forte :

$$pH = pK_w + \log C$$

### I.3.5 - pH d'une solution d'acide faible

On considère la dissociation d'un acide faible dans l'eau. Cette réaction met en jeu deux couples acide – base AH/A<sup>-</sup> et H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup> selon l'équation :



Le principe de neutralité électrique s'écrit :

$$[H_3O^+] = [A^-] + [OH^-]$$

Le principe de la conservation de matière :

$$[A^-] + [AH] = C$$

La constante d'équilibre relative à la dissociation de l'acide faible, identifiée à sa constante d'acidité est :

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[AH]}$$

En tenant compte du fait que les ions OH<sup>-</sup> sont négligeables dans le principe de la neutralité électrique puisqu'on travaille dans un milieu acide, le pH se déduit de l'expression de K<sub>a</sub> qui devient :

$$K_a = \frac{[H_3O^+]^2}{C - [H_3O^+]}$$

Si en plus, nous supposons que la dissolution de l'acide est très faible, nous pouvons alors négliger les ions [A<sup>-</sup>] devant [AH] dans l'expression de la conservation de la matière et par suite l'expression de K<sub>a</sub> se simplifie :

$$K_a = \frac{[H_3O^+]^2}{C}$$

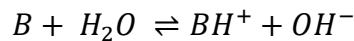
Cette relation nous donnera l'expression du pH d'une solution d'acide faible, faiblement dissocié dans l'eau :

$$pH = \frac{1}{2} (pK_a - \log C)$$

C'est la relation la plus connue pour le calcul du pH d'un acide faible et qui résulte de deux approximations en cascade. Cependant, il faut l'utiliser avec précaution. Elle n'est valable par exemple pour l'acide éthanoïque que lorsque  $C > 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  et  $C > 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  pour l'acide fluorhydrique.

### I.3.6 - pH d'une solution de base faible

Nous considérons la réaction de dissociation dans l'eau d'une base faible B d'équation :



La constante d'équilibre relative à cette dissociation est

$$K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]}$$

La détermination du pH suit le même raisonnement que celui de l'acide faible. En tenant compte de deux approximations en cascades à savoir, en négligeant d'une part la concentration des ions  $[H_3O^+]$  devant  $[OH^-]$  du fait qu'il s'agit d'une solution basique et d'autre part, les ions  $[BH^+]$  devant  $[B]$  en supposant que la base est faiblement dissociée, alors l'expression de la constante de basicité s'écrit :

$$K_b = \frac{[OH^-]^2}{C}$$

Le pH d'une solution de base faible, dans ces conditions, est :

$$pH = \frac{1}{2} pK_a + \frac{1}{2} pK_w + \frac{1}{2} \log C$$

## I.4 - Les titrages acidobasiques

L'analyse titrimétrique constitue la plus ancienne des méthodes de l'analyse quantitative. Utilisée pour la première fois par Gay-Lussac (1778 – 1850) pour déterminer la quantité de



chlore actif, elle est considérée depuis comme une méthode absolue d'appréciation d'une quantité de substance (Burgot, 2011). La simplicité de sa mise en fait une méthode d'analyse rapide et de routine. Nous proposons au début de cette partie, des généralités sur les titrages acido-basiques. Nous définissons le titrage acido-basique, son principe et les méthodes permettant de déterminer le point d'équivalence. Nous clôturons cette partie par une étude théorique où nous déterminons la variation du pH en fonction du volume ajouté de la solution titrante.

### **I.4.1 - Généralités sur les titrages acido-basiques**

Nous commençons tout d'abord par différencier deux termes souvent utilisés dans cette partie en chimie « dosage » et « titrage ».

Le dosage est la détermination de la quantité de matière, la fraction<sup>36</sup> ou la concentration d'une substance bien déterminée. On distingue trois méthodes permettant la réalisation du dosage.

- La méthode physique : fondée sur une propriété physique caractéristique de la substance. Par exemple, le dosage spectrophotométrique consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique, le dosage conductimétrique mesure la conductance de cette substance.
- La méthode physico-chimique : basée sur les propriétés intrinsèques de la substance (spectrométrie, chromatographie...) ou aussi sur sa capacité à réagir avec des réactifs spécifiques (dosages complexométriques<sup>37</sup> ou d'oxydoréductions...)
- La méthode chimique ou aussi titrage : appuyée sur la réactivité chimique de la substance à doser avec une espèce chimique introduite en quantité connue appelée réactif titrant.

---

<sup>36</sup> La fraction est le rapport de deux grandeurs de même nature. Dans les mélanges, on distingue la fraction molaire (le rapport entre le nombre de moles  $n_i$  de constituant  $i$  sur le nombre total de moles), la fraction massique (le rapport entre la masse  $m_i$  du constituant  $i$  sur la masse totale  $m$ ) et la fraction volumique (le rapport entre le volume  $V_i$  du constituant  $i$  sur le volume total).

<sup>37</sup> Ce type de dosage est basé sur la capacité que peut avoir certaines substances à former des complexes. Un complexe est un édifice composé d'un atome central entouré de plusieurs ligands. Ces ligands sont constitués par des atomes, des molécules ou des ions.

De ce fait le titrage est une catégorie particulière du dosage faisant appel à une méthode chimique. En outre, tous les titrages sont considérés comme des dosages alors tous les dosages ne sont pas des titrages. Nous pouvons citer une variété de titrages en chimie analytique, les titrages acidobasiques, de précipitation, d'oxydoréduction ou aussi de complexation. De même, les suivis de ces titrages sont multiples : suivi colorimétrique, pH-métrique, conductimétrique, spectrophotométrique. Selon l'IUPAC<sup>38</sup>, un titrage dans lequel une base est titrée par une solution titrée acide est dit « titrage acidimétrique » et inversement pour un « titrage alcalimétrique ».

Ces deux titrages permettent de déterminer la concentration d'un composé A, acide ou base, de concentration inconnue  $C_A$  à partir de la mesure de la quantité d'un réactif B, acide ou base, qui réagit avec lui. Cette réaction chimique, entre les composés A et B, doit être quasi-totale, très rapide, et avoir une stœchiométrie connue. Sur le plan expérimental, lors de la réaction de titrage, on utilise généralement une burette graduée contenant la solution titrante de concentration connue. Les graduations indiquent le volume versé de la solution titrante. Le volume de l'échantillon à doser est prélevé au moyen d'une pipette de volume déterminé et est placé dans un bécher où on place la sonde du pH-mètre, si le suivi est pH-métrique. Le titrage doit donner lieu à un repérage facile de l'équivalence. On additionne progressivement des volumes mesurés de B à la solution A de volume connu  $V_A$ .  $V_{BF}$  est alors le volume de B ajouté, au point final F, faisant disparaître A. On appelle équivalence du dosage le point où le volume de réactif titrant versé est tel que les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction de titrage. La quantité de B qui a réagi avec A est alors  $C_B V_{BF}$  et en tenant compte de la quantité initiale de A,  $C_A V_A$ . La détermination de  $C_A$  est alors immédiate :

$$C_A = \frac{C_B V_{BF}}{V_A}$$

Cependant, la difficulté est que  $C_A$  ne correspond pas exactement à la concentration de A du fait que le point F, déterminé expérimentalement, ne correspond pas fidèlement au point d'équivalence. Cette différence est causée par les « erreurs de titrage » dues essentiellement à l'appréciation du point d'équivalence. On définit alors les erreurs relatives de titrage :

---

<sup>38</sup> International Union of Pure and Applied Chemistry.

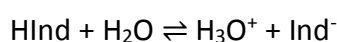
$$\frac{V_{p.f} - V_{p.e}}{V_{p.e}}$$

où  $V_{p.e}$  est le volume au point d'équivalence. L'indice p.e signifie « point d'équivalence ». Nous revenons sur ce concept d'« erreur de titrage » à l'occasion de l'étude des courbes de titrage.

Plusieurs causes d'erreur peuvent affecter la précision du titrage. Ces erreurs sont de nature systémique, liées au mode opératoire suivi (calibrage du matériel, subjectivité de l'observateur, etc.) ou peuvent être de nature aléatoire. Mais l'erreur la plus importante dans le cas de l'étude de l'évolution du pH au cours d'un titrage est due à l'incertitude de la valeur du pH au point d'équivalence. La prise en compte des incertitudes sur la détermination du pH et de volume de B ajouté à l'équivalence permet, entre autre, de donner un sens à ces mesures

### **I.4.2 - Indicateurs colorés de pH**

Un indicateur coloré acide-base est une molécule généralement organique dont les formes acide HInd et basique  $\text{Ind}^-$  diffèrent par leur couleur. Son équation de dissociation protonique s'écrit :



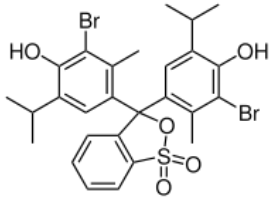
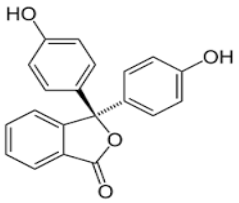
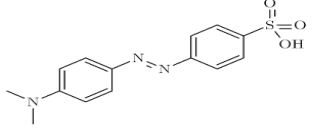
L'indicateur coloré peut être un acide faible ou base faible caractérisé par le cologarithme  $pK_a$ . En confondant l'activité à la concentration on peut écrire la relation d'Henderson appliquée à un indicateur coloré :

$$pH = pK_a + \log \frac{[\text{Ind}^-]}{[\text{HInd}]}$$

L'expérience montre que pour qu'une forme impose sa couleur, il faut que sa concentration soit supérieure à dix fois à la concentration de l'autre forme. Par suite, il existe une zone de virage, passage d'une couleur à l'autre, à l'intérieur de laquelle le pH, est donné par l'encadrement suivant :

$$pK_a - 1 < pH < pK_a + 1$$

Nous donnons dans ce qui suit les propriétés des trois indicateurs les plus utilisés au niveau de secondaire en Tunisie, à savoir le bleu de bromothymol, la phénolphthaléine et l'héliantine.

Indicateur	pKa	Forme acide	Forme basique	Zone de virage	Structure moléculaire
Bleu de bromothymol	7.0	Jaune	bleu	6 – 7,6	
Phénolphtaléine	9.4	Incolore	rouge-violet	8,3 – 10	
Hélianthine	3.8	Rouge	jaune	3,2 – 4,5	

### I.4.3 - Détermination du point d'équivalence

La courbe expérimentale  $pH = f(V)$ , courbe traduisant l'évolution du pH en fonction du volume de la solution titrante, est tracée manuellement en absence de tout dispositif d'acquisition numérique. La détermination du point d'équivalence de cette courbe est réalisée au moyen de quatre méthodes différentes : colorimétrique, méthode des tangentes, la méthode de Gran et l'utilisation de la dérivée. Nous proposons dans la suite les particularités essentielles de chaque méthode sans aller très loin dans le développement mathématique.

#### I.4.3.1 Méthode colorimétrique

Elle exige un bon choix de l'indicateur coloré. L'indicateur le plus approprié est celui pour lequel la zone de virage contient le pH à l'équivalence. Le virage s'effectue alors au voisinage de l'équivalence.

#### I.4.3.2 Méthode des tangentes

Elle consiste à tracer deux tangentes parallèles à la courbe  $pH=f(V)$  avant et après le saut du pH puis définir le point d'inflexion comme l'intersection entre la courbe et le milieu de la médiatrice de ces deux tangentes. Cette méthode est utilisée souvent dans les manuels scolaires pour déterminer l'équivalence. Toutefois, Brisset (2011) la qualifie de non

scientifique et suggère même de ne plus l'utiliser. Cette méthode, selon lui, suppose deux hypothèses. La première est que la courbe  $\text{pH}=f(V)$  est symétrique par rapport au point d'inflexion et la seconde est que les rayons de courbures avant et après le point d'inflexion sont identiques. Or ces conditions sont absentes dans le cas des courbes de titrage. En plus, il n'y a pas de support mathématique qui légitime le recours à cette méthode. Il souligne que cette méthode n'est pas scientifique et induit des erreurs qui peuvent atteindre 1%.

### I.4.3.3 Méthode de Gran

C'est une méthode qui se base sur la linéarisation de la courbe. Souvent, on trace la courbe traduisant l'antilogarithme de pH en fonction du volume de la solution titrante introduite, satisfaisant la fonction  $C_{H^+} = f(V)$ . Cette variation est linéaire. L'intersection de cette droite avec l'axe horizontal nous donne le volume  $V_E$  de l'équivalence.

### I.4.3.4 La méthode de la dérivée

Elle est basée sur le calcul mathématique de la dérivée de  $\text{pH} = f(V)$ ,  $g(V) = \frac{d\text{pH}}{dV}$ . La dérivée est maximale au point d'équivalence. Cependant, la détermination de l'équivalence avec précision par cette méthode dépend de la prise d'un grand nombre de points au voisinage de l'équivalence.

## I.4.4 - Solutions tampons

La solution est dite tampon si son pH varie peu lors d'une dilution ou addition d'un acide ou une base en quantité modérée. Elle est caractérisée par un pouvoir tampon défini par :

$$\beta = \frac{dC_B}{d\text{pH}} = - \frac{dC_A}{d\text{pH}}$$

Où  $dC_B$  et  $dC_A$  sont les variations élémentaires de la concentration respectivement de la base B et de l'acide A.

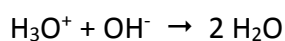
## I.4.5 - Courbes de titrage acido-basique

Nous procédons maintenant à une étude des courbes de titrage acidobasique. Les réactions de titrage mènent à une quantification des espèces et il est donc intéressant de les examiner théoriquement. Cette étude nous permettra de localiser à chaque fois l'équivalence et d'interpréter les courbes d'évolution du pH en fonction du volume de la solution titrante ajouté. Dans le souci de simplifier les calculs d'une part et d'autre part, les solutions utilisées

étant diluées, nous confondons les activités et les concentrations. Nous traitons uniquement les monoacides et les monobases, c'est-à-dire échangeant un seul proton dans le solvant considéré, l'eau. Nous traitons les titrages suivants : acide fort par une base forte, acide faible par une base forte et base faible par un acide fort. Le titrage base forte par un acide fort est absolument symétrique au premier et le titrage acide faible – base faible ne figure pas dans le programme officiel de chimie au niveau de la classe terminale.

#### I.4.5.1 Titrage d'un acide fort par une base forte

La réaction de neutralisation d'un acide fort par une base forte est une réaction complète et s'écrit :



La variation du pH en fonction du volume de la base ajoutée dans le cas d'une réaction entre un acide chlorhydrique et l'hydroxyde de sodium est représentée sur le graphe suivant :

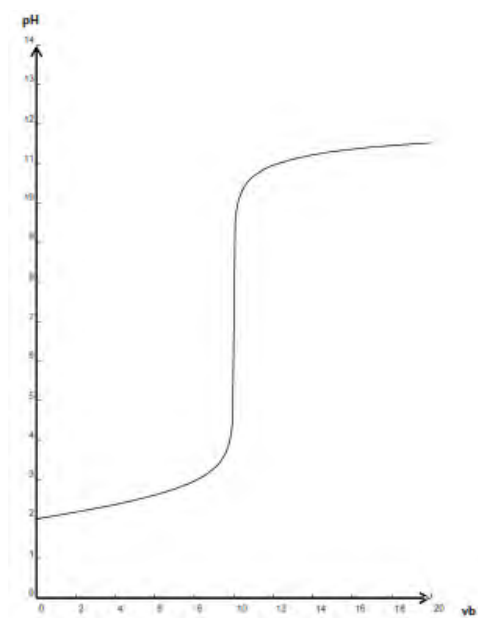


Figure 1 : évolution du pH au cours de titrage de 10 mL d'acide chlorhydrique  $10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$  par une solution de soude  $10^{-2}\text{M}$

Avant l'équivalence les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  sont en excès. La concentration de ces ions est alors :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{C_A V_A - C_B V_B}{V_A + V_B}$$

En tenant compte que les solutions sont diluées pour qu'on puisse prendre le coefficient d'activité proche de l'unité et par suite confondre l'activité à la concentration, le pH de la solution est alors :

$$pH = -\log \frac{C_A V_A - C_B V_B}{V_A + V_B}$$

Au point d'équivalence, on obtient un sel d'acide fort et de base forte. Dans le cas du titrage d'un acide fort par une base forte on obtient à l'équivalence un sel de chlorure de sodium et on a :

$$[Na^+] = [Cl^-]$$

Par conséquent la solution est neutre à l'équivalence et le pH=7 à 25°C

Après l'équivalence, les ions OH<sup>-</sup> sont en excès et par suite :

$$[OH^-] = \frac{C_B V_B - C_A V_A}{V_A + V_B}$$

Le pH de la solution s'exprime alors en fonction du produit ionique de l'eau de la manière suivante :

$$pH = pK_w + \log \frac{C_B V_B - C_A V_A}{V_A + V_B}$$

Rappelons que le point d'équivalence ne correspond pas exactement au point final objectif par l'une des quatre méthodes citées dans I.4.3 - . On définit alors la fraction titrée  $\phi$  comme étant le nombre de moles de titrant ajouté sur le nombre de moles total du titré.

$$\Phi = \frac{C_B V_B}{C_A V_A}$$

$\phi$  est donc égale à 1 au point d'équivalence ; les erreurs systématiques relatives au titrage peuvent s'exprimer alors en fonction de cette fraction titrante :

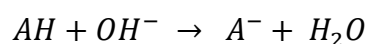
$$\Phi_{p.f} - 1$$

La relation permettant de déterminer l'erreur relative au titrage est :

$$\Phi_{p.f} - 1 = \frac{C_A + C_B}{C_A C_B} \left[ \frac{K_w}{[H_3O^+]_{p.f}} - [H_3O^+]_{p.f} \right]$$

#### I.4.5.2 Titrage d'un acide faible par une base forte

La neutralisation d'un acide faible par une base forte est une réaction complète :



De la constante d'équilibre, on peut déduire l'expression du pH :

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[AH]}$$

L'évolution du pH en fonction du volume de la base ajouté dans le cas d'une réaction entre un acide éthanique et l'hydroxyde de sodium est représentée par le graphe suivant :

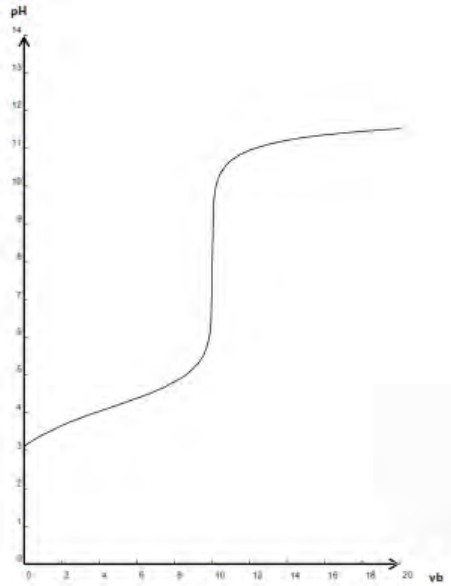


Figure 2 : évolution du pH au cours de titrage de 10 mL d'acide éthanique  $10^{-2}$  mol.L<sup>-1</sup> par une solution de soude  $10^{-2}$  M

Nous remarquons quatre points remarquables de la courbe  $pH = f(V_B)$ .

- Initialement, pour  $V_B=0$ , la solution ne contient qu'un acide faiblement ionisé et le pH se calcule par l'expression

$$pH = \frac{1}{2} (pK_a - \log C_A)$$

- Après l'addition de différents volumes du réactif titrant (la base forte) (dans tout le domaine qui précède le point d'équivalence), la solution est une solution tampon. Le pH peut être calculé à l'aide de l'équation d'Henderson les concentrations des ions sont :

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[AH]}$$

Avec :

$$[AH] = \frac{C_A V_A - C_B V_B}{V_A + V_B}$$

$$[A^-] = \frac{C_B V_B}{V_A + V_B}$$



$$pH = pK_a + \log \frac{C_B V_B}{C_A V_A - C_B V_B}$$

De la relation du pH découle, que pour  $C_B V_B = \frac{1}{2} C_A V_A$  on a  $pH = pK_a$ . Ce point est défini comme le point de demi-équivalence

$$[A^-] = \frac{C_A V_A}{V_A + V_{p.e}}$$

En introduisant la fraction titrée  $\phi$  dans l'expression du pH on obtient la formule de Henderson :

$$pH = pK_a - \log \frac{\Phi}{1 - \Phi}$$

- Au point d'équivalence, l'acide est entièrement converti en sa base conjuguée. Le pH se calcule à partir de la seule concentration de l'acide. Le pH de la solution à l'équivalence et dans le cas où la solution titrante est suffisamment concentrée est donc :

$$pH = \frac{1}{2} pK_w + \frac{1}{2} pK_a + \frac{1}{2} \log C_A$$

- Au-delà du point d'équivalence, l'excès de base forte masque le caractère basique de la base conjuguée de l'acide titré. Le pH dépend essentiellement de la concentration du réactif titrant présent en excès.

L'erreur relative à ce titrage a pour expression

$$\Phi_{p.f} - 1 = \frac{C_A + C_B}{C_A C_B} \left[ \frac{K_w}{[H_3O^+]_{p.f}} - [H_3O^+]_{p.f} \right] - \frac{[H_3O^+]_{p.f}}{K_a}$$

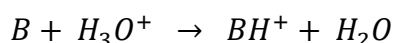
Néanmoins, la réussite d'un tel titrage exige de poser certaines conditions sur la concentration de l'acide qui varie, par ailleurs, avec sa force. Elles sont matérialisées par le paramètre  $\beta$  qui s'exprime de la manière suivante :

$$\beta = \frac{K_w}{K_a C_A}$$

La réussite de ce dosage exige que  $\beta$  soit inférieur à une valeur empirique égale à  $10^{-5,6}$ .

#### **I.4.5.3 Titrage d'une base faible par un acide fort**

Ce titrage résulte de la réaction mettant en jeu les deux couples  $BH^+/B$  et  $H_3O^+/H_2O$ . La réaction de titrage de la base B dans l'acide fort, supposée complète, est de type :



L'étude est pratiquement identique au cas de titrage d'une acide faible par une base forte. Au point de demi-équivalence le  $pH = pK_a$  du couple  $BH^+/B$ .

A l'équivalence, on obtient une solution acide faible  $BH^+$ . L'expression du  $pH$  à l'équivalence :

$$pH = \frac{1}{2}pK_a - \log \frac{C_B V_B}{V_B + V_{A,p.e}}$$

Du point de vue pratique l'erreur relative à ce type de dosage est donnée par la relation :

$$\Phi_{p.f} - 1 = \frac{C_A + C_B}{C_A C_B} \left[ [H_3O^+]_{p.f} - \frac{K_w}{[H_3O^+]_{p.f}} \right] - \frac{K_w}{[H_3O^+]_{p.f} K_b}$$

## I.5 - En guise de conclusion

L'étude épistémologique de titrages acido-basiques montre l'intérêt de mettre en évidence un certains nombres de points pour une interprétation rigoureuse des courbes de titrage, courbes traduisant l'évolution du  $pH$  de la solution à titrer en fonction du volume de la solution titrée  $pH = f(V)$ . Nous identifions des points liés au savoir et/ou savoir-faire de référence et que la manière dont ils sont transposés dans l'institution didactique fera l'objet de commentaires dans l'analyse institutionnelle pour la première partie de la transposition, et fera l'objet de questions de recherche pour la seconde partie de la transposition (savoirs enseignés) :

- Connaître les concentrations des ions présents dans le mélange en prenant en compte le volume de la solution titrée ajouté.
- Déterminer le  $pH$  du mélange en fonction du volume de la solution titrée ajouté.
- Identifier les points particuliers de la courbe et leurs caractéristiques ( $V$ ,  $pH$ ).
- Différencier le point final et le point d'équivalence.
- Déterminer la zone de virage de l'indicateur en fonction de son  $pK_a$ , ce qui nécessite la connaissance de la relation liant sa forme acide et sa forme basique pour un virage acide ou basique.
- Expliquer les résultats expérimentaux en tenant compte des erreurs systématiques et calculer ces dernières pour donner un sens aux mesures.

- Avoir recours aux méthodes scientifiques (méthode de dérivée, méthode de Gran) pour déterminer le point d'équivalence et rejeter la méthode dite « des tangentes » puisqu'elle n'est légitimée par aucun support théorique.

Dans le chapitre suivant, nous étudions l'évolution du pH au cours d'un titrage acidobasique d'un point de vue didactique. Nous évoquerons les difficultés d'enseignement – apprentissage liées à cet objet de savoir révélées par des études en didactique de la chimie.

## **II - Variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base : étude didactique**

Nous proposons dans ce chapitre de faire un inventaire de quelques difficultés, dans le processus enseignement – apprentissage relatif au titrage acido-basique, révélées dans certaines études en didactique de chimie. Ces difficultés, qui touchent la majorité des notions liées au titrage, sont associées à une multitude de facteurs comme l'abstraction du sujet (Herron, 1975), la complexité des calculs impliqués, l'éloignement de la langue scientifique utilisée (Glassman, 1967) et les différents niveaux de représentation que les chimistes utilisent (Gabel, Samuel, & Hunn, 1987 ; Nakhleh & Krajcik, 1994). Ensuite, et comme le titrage acido-basique suivi par pH-métrie génère la représentation graphique, nous évoquons deux modèles didactiques permettant de faire le lien entre les données empiriques, la représentation graphique et les contenus théoriques.

### **II.1 - Revue de travaux sur les difficultés des élèves lors de l'apprentissage de titrage acido-basique**

Nous nous intéressons dans cette partie à rendre compte, à partir des travaux de recherche en didactique de la chimie, des difficultés d'enseignement/apprentissage relatives au titrage acido-basique. Nous commençons par évoquer les difficultés d'apprentissage chez les élèves à propos de l'écriture de l'équation de la réaction de titrage, du pH des acides et des bases et de son évolution au cours d'un titrage acido-basique. Nous terminons par les difficultés et les obstacles rencontrés lors de l'enseignement de ce savoir. Enfin, il est judicieux de signaler que l'enseignement du titrage acide – base vient juste à la suite de l'enseignement des équilibres acidobasiques et par suite, nous considérons ces derniers comme des prérequis.

### **II.1.1 - Equation de réaction d'un titrage acide - base**

Naija (2004) affirme que les étudiants de première année universitaire tunisiens sont incapables d'écrire correctement les équations de titrage. Elle attribue ces difficultés à leur incapacité à identifier les espèces chimiques présentes en solution au cours du titrage. Camacho & Good (1989) expliquent cette impuissance d'identification des ions par l'abstraction nécessaire, chez les élèves, pour conceptualiser les espèces chimiques en solution (cations, anions molécules). L'absence chez les élèves d'une « conception claire » de ce que recouvre le concept de réaction chimique (Ouertatani & Dumon, 2008) et leur ignorance de la symbolisation des équations de réaction entre un acide et une base les rend incapables d'identifier les espèces chimiques présentes en solution (Goffard, 1993). Par suite, ils confondent ainsi l'équation de la réaction avec des équations bilan complètes ou des réactions de dissociation (Naija, 2004) et ont des difficultés à calculer les concentrations des ions lors d'un titrage acide-base (Nakhleh, 1994).

### **II.1.2 - pH des solutions acides et basiques dans l'eau**

Chez les élèves, la notion du pH engendre des difficultés d'apprentissage. Selon Sheppard (2006), le terme « pH » est d'un usage courant chez les élèves et ils l'utilisent pour rendre compte de la mesure de la force et/ou de la quantité d'un acide ou d'une base. Alors que Meyers (2009) affirme que certains d'entre eux font correspondre automatiquement les valeurs élevées de pH aux acides faibles, Ross & Munby (1991) signalent que pour les élèves, le pH est une mesure de l'acidité de la solution et non pas de la basicité. Ils expliquent ce constat par l'absence du concept de « base » dans la vie courante alors que la notion d'acidité fait partie du langage quotidien. En plus, Cros, Chastrette, & Fayol (1988) mentionnent l'aptitude des étudiants à mémoriser une définition qualitative du pH au détriment des aspects quantitatifs. Quant à Nakhleh (1990), il montre que cette compréhension qualitative de pH est plutôt faible. Enfin, Ouertatani & Dumon (2011), évoquent « une stagnation conceptuelle » chez les élèves. En effet, les élèves confondent la définition du  $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$  avec la relation donnant le pH d'un acide fort,  $\text{pH} = -\log C$ , où C est la concentration de la solution acide fort.

### II.1.3 - Neutralisation dans un titrage

Les élèves associent généralement le concept de neutralisation à l'action d'un acide fort sur une base forte, laissant de côté l'ensemble des réactions acido-basiques mettant en jeu acide et/ou base (Schmidt, 1991). Par ailleurs, de nombreux élèves considèrent qu'à la neutralisation d'un acide par une base, la solution obtenue est neutre et de  $\text{pH} = 7$  ceci quelle que soit la nature de l'acide ou de la base (Lin & Chiu, 2007 ; Schmidt, 1991) ce qui mène Schmidt & Chemie (1995) à la décrire comme étant « hidden persuader ».

### II.1.4 - Evolution du pH au cours d'un titrage acido-basique : courbes de $\text{pH}=\text{f}(\text{V})$

Un titrage avec un suivi pH-métrique nécessite l'utilisation des représentations graphiques, décrivant l'évolution du pH de la solution à titrer en fonction du volume de la solution titrante, que les élèves sont censés interpréter. De nombreuses recherches en didactique (Le Maréchal & Naija, 2008 ; Maichle, 1994 ; Naija, 2004 ; Nakhleh & Krajcik, 1993, Ouertatani & Dumon, 2008 ; Pinker, 1990 ; Rabier et al., 2001) montrent les difficultés des élèves à construire et à interpréter ces représentations graphiques. Maichle (1994) montre que la représentation mentale « visual description<sup>39</sup> » est dominante chez les élèves allemands de 17/18 ans et par suite ils ont tendance à extraire des informations spontanées de nature qualitative lors de la description d'une portion de la courbe. Mokros & Tinker (1987) soulignent quant à eux que les graphiques sont perçus par les élèves comme images de la réalité et non comme des représentations symboliques. Certains chercheurs comme Ouertatani & Dumon (2008), ou encore Le Maréchal & Naija (2008) signalent que l'allure logarithmique des courbes de dosage pourrait être un obstacle empêchant les élèves d'interpréter l'évolution des quantités de matière se trouvant dans le mélange réactionnel. La courbe de suivi du pH est vue comme formée de trois parties dont les parties avant et après le saut sont perçues comme évolution progressive d'un milieu acide à un milieu basique et dont le saut de pH est allié à un

---

<sup>39</sup> Pinker (1990), évoque deux sortes de représentations mentales pour percevoir et comprendre une représentation graphique « visual description » et « graph schéma ». La première est une description structurée de l'image et la seconde est le passage de constituants visuels à l'information conceptuelle.

événement perceptible (Naija, 2004 ; Sheppard, 2006) qui se manifeste lorsque la réaction chimique de dosage est achevée (Ouertatani & Dumon, 2008).

Par ailleurs, la détermination de la concentration inconnue d'une espèce chimique en solution par l'intermédiaire d'un agent titrant est le but d'un titrage. L'équivalence est toujours obtenue lorsque la quantité de matière de l'espèce ajoutée est égale, en proportions stœchiométriques, à celle introduite initialement ce qui se traduit par la fameuse relation  $C_A V_A = C_B V_B$ . Cette relation stéréotypée constitue un moyen heuristique de raisonnement chez les élèves qui se réfugient dans son application, et ceci quelles que soient les espèces acides et basiques mises en jeu dans la solution (Meyer & Dousset, 1988 ; Naija, 2004 ; Rabier et al., 2001). L'utilisation de cette formule est extrêmement fréquente même si la question ne nécessite pas son utilisation et cela sans écrire les équations de réaction (Goffard, 1993). Un autre point évoqué par Naija (2004), est l'amalgame qui existe chez les élèves entre le point d'équivalence et l'état du système à l'équivalence.

### **II.1.5 - Indicateurs colorés**

Plusieurs études montrent que les élèves éprouvent des difficultés à comprendre le rôle joué par un indicateur coloré à l'équivalence acido-basique, lors du changement de nature de la solution (Nakhleh, 1994). C'est d'ailleurs aussi le cas pour des étudiants préparant le concours d'enseignement en France et dont seulement un tiers identifie clairement ce rôle (Ganaras, 1998). Par ailleurs, Sheppard (2006) montre que les élèves ont du mal à interpréter le changement des teintes de l'indicateur en fonction du pH et considèrent souvent que le changement de couleur de tous les indicateurs se fait à une même valeur de pH égale à 7.

### **II.1.6 - En guise de conclusion**

L'analyse didactique précédente attire notre attention sur l'intérêt et la nécessité d'étudier le titrage acide-base. En effet, cet objet de savoir cristallise des difficultés tant d'apprentissage que dans l'enseignement. Il suscite également des complexités dans la conception des stratégies d'enseignement et dans la transposition didactique. Nous pensons que l'ensemble des incertitudes, citées dans l'étude précédente, sont capables d'avoir des répercussions sur l'action conjointe enseignant élève autour de l'objet de savoir, la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base.

## II.2 - Difficultés d'enseignement des acides et des bases

Alors que l'on trouve dans la littérature didactique plusieurs études investiguant les difficultés des élèves sur le sujet acide base, celles qui examinent les difficultés des enseignants lors de l'enseignement de ce sujet sont beaucoup moins nombreuses. La plupart de ces études portent principalement sur le PCK<sup>40</sup> des enseignants relatif aux acides et bases (Drechsler & Van Driel, 2008, 2009). Dans une étude recherchant la manière dont les enseignants et les manuels scolaires présentent les modèles expliquant les réactions acide-base, Drechsler & Schmidt (2005) indiquent que les enseignants suivent les manuels scolaires dans la présentation de ces modèles tout en ignorant la confusion que font ces manuels entre la théorie de Bronsted et celui d'Arrhenius ainsi que leur utilité respective. La plupart des enseignants, ainsi, souffrent d'une difficulté à manipuler ces théories alors qu'ils en connaissent l'importance.

L'étude de Drechsler & Van Driel (2008) dans le contexte suédois tente de déterminer ce que savent les enseignants à propos des difficultés de leurs élèves à propos des notions d'acide et de base et les stratégies qu'ils adoptent pour enseigner le modèle acide-base. Selon cette étude, tous les enseignants participant à cette investigation affirment que les élèves ont des difficultés face aux modèles acide-base. Cependant, cette étude catégorise deux types de professeurs à stratégies d'enseignement différentes. Les premiers bâtissent leur stratégie sur les élèves et leurs difficultés en accentuant au cours de leurs enseignements l'explicitation des théories acide-base. Les deuxièmes bâtissent leur stratégie d'enseignement pour le rendre motivant tout en ignorant les difficultés des élèves et l'explicitation des modèles. Dans une étude plus approfondie, Drechsler & Van Driel (2009) mentionnent que la majorité des enseignants de secondaire affirme que la théorie de Bronsted permet de bien expliquer les concepts acides et bases. Cependant, ces enseignants ignorent les différences entre cette théorie et celle d'Arrhenius et l'évolution historique de ces théories. Cette recherche mentionne aussi la faible « connaissance » de ces théories les chez les professeurs qui préfèrent le manuel scolaire comme support de préparation de leurs cours. Par ailleurs, Furio-

---

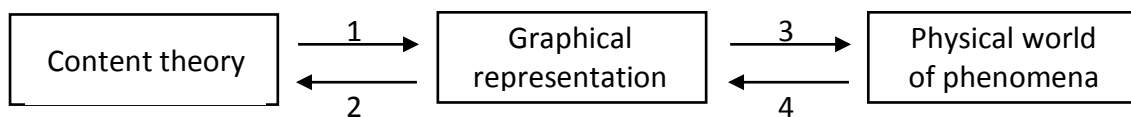
<sup>40</sup>Pedagogical Content Knowledge : concept élaboré par Shulman (1987) et traduit un modèle pour la réflexion sur les connaissances que les enseignants en sciences occupent ou devraient élaborer, pour que leur enseignement soit efficace (Nouiri & Kilani, 2012).

Mas et al., (2005) affirment que la connaissance des problèmes qui ont été à l'origine de la construction des théories scientifiques produites dans des périodes et des contextes spécifiques est l'une des compétences professionnelles que devraient avoir un enseignant de sciences. A ce sujet, Harrison et Treagust (2000) montrent que cette connaissance a un double effet dans les pratiques de l'enseignant. En effet, elle l'aide d'une part à orienter épistémologiquement les élèves lors de la construction et l'interprétation des modèles et d'autre part, à leur faire prendre conscience de l'artificialité et la limite de ces modèles.

### II.3 - Relations entre données empiriques, représentations graphiques, symboliques et contenus théoriques

Un titrage acide – base avec un suivi pH-métrique engendre la représentation graphique de la courbe du pH de la solution à titrer en fonction du volume de la solution titrante. Cette courbe est essentielle pour interpréter le titrage. Nous allons évoquer rapidement deux modèles permettant d'expliquer la relation entre les données empiriques, la représentation graphique et les contenus théoriques que se spécifie le titrage acido-basique.

Bisdikian & Psillos (2002) estiment que la construction et l'interprétation des représentations graphiques sont deux aptitudes permettant le passage de « physical world of phenomena » au contenu théorique « theory content » et proposent ainsi le modèle « graphys » qui modélise le lien entre contenu théorique, représentation graphique et phénomènes physiques.



Ils indiquent les représentations graphiques comme un pont reliant le « content theory » et le « physical world of phenomena » et relient ces trois catégories par des flèches dont :

La flèche 1 indique l'aptitude de construire des représentations graphiques à partir de la théorie. La flèche 2 symbolise l'aptitude à lire, interpréter et comparer des graphiques pour en extraire des relations entre variables. La flèche 3 indique l'aptitude, selon l'interprétation des graphiques, à organiser des expériences. Et enfin, la flèche 4 symbolise la construction des représentations graphiques permettant de d'expliquer l'évolution de systèmes physiques. Toutefois, nous pensons qu'il s'agit d'un point de vue réduit sur le rôle des représentations



puisqu'il ne renvoie qu'aux représentations graphiques. Les représentations symboliques ou en langage naturel ont un rôle similaire. Ce rôle est joué nous semble en tant que médiation entre signifiant et signifié (Roulet, 1975, cité par Bécu-Robinault, 2015).

Par ailleurs, Tiberghien (1994), s'inspirant des travaux des épistémologues tel que Bachelard (1979) ou Bunge (1973), transpose modélisation épistémologique des savoirs de la physique en « théorie, modèle et champ empirique » dans la salle de classe au secondaire en « modèle/théorie, et observables ». Ces deux mondes, celui des observables (objets et événements) qui correspondent « au monde matériel » (Tiberghien & Vince, 2005, p. 157), et celui des théories et modèles qui se rapportent aux « aspects théoriques et aux modèles des situations matérielles étudiées » (Tiberghien, 1994, p. 73) servent tout autant à la conception qu'à l'analyse de séances (Bécu-Robinault, 2015).

Tiberghien, Buty & Le Maréchal (2005) considèrent que la compréhension des concepts scientifiques relevant du monde des théories et des modèles s'effectue à travers leur mise en relation avec des objets et événements du monde physique. Toutefois, ces deux chercheurs pointent la construction de ces relations entre les deux mondes comme une difficulté essentielle dans le processus d'apprentissage des concepts scientifiques (cf. Figure 3). En effet, ces relations se font entre « concepts et relations (syntaxiques) entre les concepts » et « observables et relations (praxéologiques) entre observables ». Cette mise en relation est de nature sémantique puisque c'est elle qui donne du sens aux concepts, et aux observables (Robardet & Guillaud, 1997).

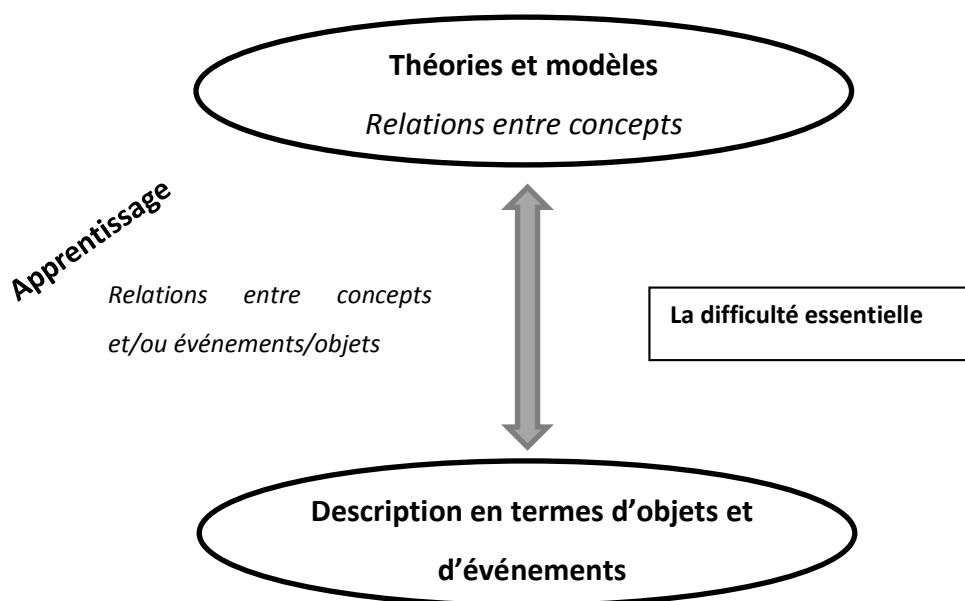


Figure 3 : Catégories principales d'analyse de production verbales et gestuelles permettant de caractériser les relations établies dans le cas du savoir enseigné en physique (Tiberghien & Vince, 2005, p. 163)

Cependant, l'intérêt de catégorisation (Tiberghien, 1994, 2000, 2005) est, pour nous, double. D'une part, elle est « transversale » niant ainsi toute distinction des connaissances procédurales et déclaratives. D'autre part, elle est considérée comme « une base commune » servant à « analyser le savoir<sup>41</sup> à enseigner, le savoir effectivement enseigné et la compréhension par l'élève de ce savoir et du monde matériel » (Tiberghien & Vince, 2005, p. 158). Ces savoirs, précisent Tiberghien & Vince (2005), sont échangés par tous les moyens sémiotiques.

## II.4 - En guise de conclusion

Le suivi pH-métrique lors d'un titrage est l'un des phénomènes acide-base touchant plusieurs domaines de la vie quotidienne. La mesure du pH est fondamentale dans les sciences de la vie, dans la médecine, la pharmacie, l'agriculture, l'environnement, la fabrication des produits de qualité. D'un autre côté, le titrage acido-basique intervient dans de nombreuses applications qui touchent plusieurs aspects des sciences et de la vie quotidienne contemporaine. Par exemple, en chimie, ce titrage est utilisé pour doser des sels, des groupes

---

<sup>41</sup> Le terme « savoir » est employé dans son sens le plus large et qui s'étend au savoir et au savoir-faire.

fonctionnels organiques, des substances inorganiques et aussi pour l'analyse élémentaire des éléments chimiques tel que le carbone, le soufre, l'azote. Le titrage acidobasique intervient aussi pour protéger l'environnement, notamment dans l'industrie chimique où le titrage intervient pour neutraliser les tonnes de solutions acides ou basiques issus des opérations de lavage avant de les rejeter dans les rivières ou la mer.

L'analyse des études antérieures fait apparaître l'existence d'un certain nombre de difficultés que les élèves éprouvent lors de l'apprentissage de la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base. Parmi elles, on peut citer l'incapacité d'écrire convenablement l'équation de la réaction du dosage, l'interprétation difficile des courbes de  $\text{pH}=\text{f}(\text{V})$  et aussi de l'équivalence acidobasique. En plus, l'étude didactique montre les enseignants aussi éprouvent des difficultés devant le titrage acide – base, notamment dans la conception des stratégies d'enseignement et les différences entre les théories d'Arrhenius et celle de Bronsted.

Nous allons dans le chapitre suivant examiner les prescriptions officielles sur la mise en œuvre en classe Terminale de la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base. A travers les documents officiels, nous cherchons des éléments permettant de comprendre les intentions officielles concernant l'enseignement de cet objet de savoir. Nous allons, entre autre voir la transposition qui a été faite à propos de cet élément de savoir pour le rendre accessible aux classes terminales scientifiques en Tunisie.

### **III - Variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base : étude institutionnelle**

De nombreuses recherches en sciences de l'éducation pointent la crise de l'enseignement scientifique en réponse au manque d'intérêt des jeunes pour certaines disciplines scientifiques, y compris la chimie, et l'image même de cet enseignement.

Le programme pour la mise en œuvre du projet « Ecole de demain » présenté par le ministère de l'enseignement en octobre 2002 dans le cadre de « la nouvelle réforme du système éducatif tunisien », arrive dans un contexte social de crise de l'enseignement scientifique révélée par le classement très faible de la Tunisie dans les épreuves de PISA. Il constitue la balise inévitable pour bien comprendre les grandes orientations ministérielles tunisiennes. Nous allons identifier les principaux axes de la stratégie de changement relatifs à l'enseignement des sciences physiques et chimiques au niveau secondaire, après avoir donné une description brève du fonctionnement de système éducatif tunisien. Nous analysons ensuite le programme officiel, les contenus à enseigner et les démarches relatifs à notre objet d'étude, la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base en classe terminale tout en évoquant, sommairement, les contenus à enseigner relatifs aux acides et bases programmés dans les classes précédentes pour savoir dans quelle progression se situe les élèves de cette classe terminale.

#### **III.1 - Système éducatif tunisien**

L'éducation pré-universitaire en Tunisie est de 13 années. L'enseignement de base comporte neuf années de scolarité, 6 ans pour le primaire, et 3 ans pour l'école préparatoire (début du secondaire aussi appelé « collège »). Les quatre années d'enseignement secondaire sont ouvertes à tous les titulaires du diplôme de fin d'études de l'enseignement de base ou aux élèves qui ont obtenu une moyenne annuelle supérieure à 10/20 à la fin de la neuvième année de base. Pendant ces deux cycles d'enseignement, les matières relatives aux humanités, les sciences et les techniques sont enseignées en arabe. L'enseignement secondaire dure quatre ans repartis sur deux phases : un parcours académique général d'un an au terme duquel les élèves admis sont orientés vers une phase de trois ans spécialisée sur l'un des quatre domaines d'apprentissages suivants, littéraires, scientifiques, économique et services et

Technologie informatique. Les élèves de la deuxième année « sciences » auront à choisir, définitivement, à la fin de l'année l'une de trois spécialités : les mathématiques, les sciences techniques et les sciences expérimentales. Tout au long de ce cycle secondaire la langue de l'enseignement dans les domaines techniques, scientifiques et mathématiques est le français. Ce cycle secondaire s'achève par l'examen national de baccalauréat à la fin de la quatrième année.

### **III.2 - Attentes institutionnelles relatives à l'enseignement des sciences physiques et chimiques**

Pour combler et corriger les dysfonctionnements, qui affectent le rendement du système éducatif tunisien, décrits lors de l'évaluation de 2002, le ministère de l'Education présente sa réforme sous un projet intitulé « Ecole de demain ». Ce projet présente les grandes orientations et les principaux axes de changement pour développer l'efficacité du système éducatif tunisien.

Pour ce qui est de la nouvelle orientation de l'école, le programme des programmes<sup>42</sup> indique que la modernisation des programmes de physique et chimie a une double préoccupation : assurer la formation cognitive des apprenants ; leur faire acquérir les méthodologies de travail et de résolution de problèmes. Il indique p. 64 que l'enseignement de sciences physiques et chimiques vise à « développer des éléments de culture scientifique qui aideront les élèves à se faire une représentation rationnelle des phénomènes naturels environnants et à se situer dans le monde contemporain ; leur faire acquérir une certaine autonomie [...] ; systématiser la pratique de la démarche scientifique... ». De ce fait, la plupart des suggestions institutionnelles en Tunisie dès lors, portent un intérêt considérable à la démarche préconisée dans l'enseignement de la physique et la chimie. La partie introductive du programme officiel met en garde contre l'échec des apprentissages suite à l'utilisation des méthodes traditionnelles ainsi, on peut lire : « Il est à peine utile ici de rappeler que l'enseignement traditionnel des sciences physiques formel, abstrait et hautement mathématisé est voué à l'échec » (Ministère de l'Education, 2009, p. 6). La partie introductive invite les enseignants à

---

<sup>42</sup> Un document ministériel qui explique les objectifs et les finalités de chaque programme d'enseignement en cours d'exécution.

mettre en œuvre « les principes constructivistes et d'intégration des connaissances » (Ministère de l'Éducation, 2009, p. 6) et à « placer l'élève, qui est l'acteur principal du système éducatif, au centre de l'action éducative [...] à professionnaliser les enseignants... » (Ecole de demain, 2002, p. 51) et en physique et chimie à lui « accorder l'initiative, et ce, en l'impliquant régulièrement dans des activités d'investigation, de structuration et d'intégration, dans toutes les situations d'apprentissage » (Ministère de l'Éducation, 2009, p. 7). En plus, on suggère de conduire les activités d'apprentissage par des méthodes actives et de « recourir autant que possible à l'enseignement par « le problème » ou par « le projet », un enseignement qui vise un apprentissage dont le point de départ est une situation problème<sup>43</sup> [...], c'est-à-dire une situation qui fait initialement problème aux élèves parce qu'ils n'ont pas les connaissances scientifiques indispensables pour s'en acquitter [...] et d'utiliser les moyens contemporains et essentiellement les TIC<sup>44</sup>» (Ministère de l'Éducation, 2009, p. 7).

### **III.3 - Analyse du programme officiel et du contenu à enseigner**

Bien que nous voulions nous focaliser sur le dernier programme de chimie de la quatrième année Mathématiques tel qu'il est proposé en 2009, il est intéressant de mentionner qu'il n'y a pas de différence notable entre les différents programmes de chimie pour les différentes spécialités scientifiques, les mathématiques, les sciences techniques et les sciences expérimentales, et qu'ils sont quasi identiques concernant la partie « Réaction d'un acide avec une base ». En plus, les exigences du programme officiel sont les mêmes pour les trois disciplines scientifiques.

Avant d'entreprendre l'analyse du programme, il nous semble intéressant de préciser, d'une façon non exhaustive, la structuration des programmes officiels de physique et chimie dans l'enseignement secondaire en Tunisie.

---

<sup>43</sup> La situation problème proposée permet aux élèves la « redécouverte » d'un phénomène et/ou la construction et la structuration d'un modèle modeste (Ministère de l'Éducation, 2009, p. 7)

<sup>44</sup> Technologies de l'Information et de la Communication

### III.3.1 - La structuration des programmes

Les programmes<sup>45</sup> officiels de physique et chimie, tel qu'ils sont proposés en 2009 (en cours au moment de réalisation de cette étude), sont organisés suivant quatre rubriques comme suit (voir figure 1 dans l'annexe). les objectifs à atteindre par l'élève, les exemples de questionnements et d'activités (il s'agit d'une liste de questionnements et d'activités qui peuvent être exploités en classe comme support pour permettre d'atteindre les objectifs visés), le contenu de cours proposé sous forme des grands titres et le volume horaire correspondant à chaque partie du programme.

Pour préciser la démarche à suivre dans l'apprentissage de quelques notions, le programme officiel de physique chimie est accompagné des commentaires se trouvant à la fin de chaque partie du programme.

Une première constatation lors de l'étude de programme de la 4<sup>e</sup> Mathématiques peut être faite à propos de l'imprécision dont il fait preuve sur les situations d'apprentissage. En effet, il ne donne que les grands thèmes et ne les explicite pas. Nous sommes donc dans l'obligation, chaque fois que les instructions du programme d'un niveau d'enseignement sont floues, de recourir au manuel scolaire correspondant à ce niveau, non pour une analyse exhaustive mais pour déceler la manière « officielle » dont les objets de savoirs seront introduits en classe. Nous avons constaté lors d'une étude (Nouri & Kilani, 2012) que la majorité des enseignants tunisiens puisent leurs connaissances en chimie dans le manuel scolaire, bien qu'ils blâment certaines de ses imperfections notamment dans l'introduction des concepts à étudier. En Tunisie, l'Etat se charge de l'édition des manuels scolaires. Leur rédaction se fait par une commission désignée par le Ministère, ce qui donne au manuel scolaire un aspect « officiel ». Ces commissions sont formées en général par des inspecteurs de la discipline, des universitaires et des enseignants généralement chevronnés.

---

<sup>45</sup>Programmes de sciences physiques, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> année de l'enseignement secondaire- Direction générale des programmes et de la formation continue. Ministère de l'Education Tunisienne.

### III.3.2 - Le contenu à enseigner

Ce chapitre présente une analyse du contenu, relatif à la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base, enseigné dans les classes de 4<sup>ème</sup> mathématiques. Nous pensons qu'il est judicieux d'examiner aussi les programmes de la 2<sup>ème</sup> Sciences et 3<sup>ème</sup> Mathématiques, classes dans lesquelles on enseigne les acides et les bases avant la terminale, pour savoir dans quelle progression on se situe en entrant en 4<sup>e</sup> mathématiques.

#### III.3.2.1 Le pH dans l'enseignement de chimie au secondaire

En, Tunisie, les concepteurs des programmes reproduisent en deuxième année la définition originale de Sorensen en exprimant la concentration des ions hydrogène en puissance négative de 10.

$$[H^+] = 10^{-pH} \text{ mol.L}^{-1}$$

En quatrième année (classe terminale) où les fonctions logarithmes sont étudiées, on exprime le pH traduisant l'acidité d'une solution diluée, en fonction du logarithme décimal la concentration des ions hydrogène et sans unité. Le pH, précise-t-on, est une grandeur sans unité exprimée par un nombre positif lié à la molarité des ions hydronium  $H_3O^+$  d'une solution aqueuse. On ajoute que cette relation n'est pas valable pour des solutions de concentration molaire supérieure à  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ .

$$pH = -\log[H^+]$$

En considérant uniquement des solutions aqueuses diluées, les concepteurs cherchent, sans doute à s'éloigner de la complexité que pose la présence de l'activité de l'ion hydrogène dans l'expression de pH. Manipuler avec les seules solutions diluées fait tendre, rappelons-le, le coefficient d'activité vers 1 et par suite nous pourrions confondre l'activité de l'ion hydrogène à sa concentration.

#### III.3.2.2 Les acides et les bases en classe de deuxième année

Les acides et les bases sont introduits en deuxième année en se fondant sur la théorie d'Arrhenius et ils sont caractérisés par leurs propriétés perceptives et qualitatives (action sur les indicateurs, les métaux, le calcaire, action de HCl sur NaOH). Nous présentons en annexe (cf. figure 1 voir la page 13 dans l'annexe) un extrait du programme de chimie relative à ce niveau traitant les acides et les bases.



L'étude des dosages acidobasiques est limitée au cas de la réaction entre un acide fort et une base forte et a pour but la détermination de l'équation de la réaction ainsi que la détermination de la concentration molaire de la solution à titrer. Voyons maintenant comment est présenté le savoir avant de revenir sur le dosage acidobasique.

Les acides et les bases sont introduits dans le cadre du thème « Les solutions ». Après l'étude des électrolytes et les solutions ioniques, on introduit les notions d'acide et de base selon la théorie d'Arrhenius. On définit ainsi un acide comme étant « un corps composé qui s'ionise dans l'eau avec formation d'ions hydronium  $\text{H}_3\text{O}^+$  » (Manuel scolaire 2<sup>ème</sup> SC, 2014, p. 114) alors que la base est définie comme étant « un corps composé qui s'ionise dans l'eau avec formation d'ions hydroxyde  $\text{OH}^-$  ». L'acidité et la basicité des solutions dépendent de la comparaison des concentrations des ions hydronium  $\text{H}_3\text{O}^+$  et hydroxyde  $\text{OH}^-$  dans la solution. Une solution est dite acide si  $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$ , elle est dite basique si  $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$  et neutre  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ . On définit alors un produit ionique de l'eau  $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-]$  dont la valeur à la température 25°C est égale à  $10^{-14}$ . Ensuite, on introduit la notion de pH défini comme étant ce qui « caractérise l'acidité ou la basicité d'une solution ». Il est défini par la relation (Manuel scolaire 2<sup>ème</sup> SC, 2014, p. 140) :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

La mesure de ce pH se fait à l'aide un pH-mètre ou d'un papier pH. Ensuite la classification des forces des acides se fait selon la valeur de pH : « A une même température et dans des solutions de même concentration, un acide est d'autant plus fort que son pH est faible ». Un acide est fort lorsque son ionisation dans l'eau est totale  $\text{AH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{A}^-$  alors qu'un acide est faible lorsque son ionisation dans l'eau est partielle et par suite son ionisation s'écrit :  $\text{AH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{A}^-$

La réaction entre un acide fort et une base est le seul type de réactions acides bases introduite à ce niveau. L'acide fort utilisé, la solution à doser mise dans bécher, est supposé de concentration  $C_A$  inconnue alors que la base forte, solution dosante mise dans une burette, est de concentration connue. Après la détermination de l'équation de la réaction du dosage  $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ , on procède à une étude qualitative au cours de laquelle les élèves réalisent un dosage volumétrique en utilisant le bleu de bromothymole (BBT) comme indicateur coloré. On mentionne que lorsque le BBT vire au vert, la solution dans le bécher est neutre et que le pH est égale à 7 et on note le volume  $V_{BE}$  volume de la base ajouté. Dans ce cas, on précise

qu'on arrive à l'équivalence acido-basique « lorsque le nombre de mole de  $\text{H}_3\text{O}^+$  fournis par l'acide est égal au nombre de mole de  $\text{OH}^-$  fournis par la base » (Manuel scolaire 2<sup>ème</sup> SC, 2014, p. 166). Cette égalité de nombre de mole de  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  se traduit par la relation  $C_A V_A = C_B V_{BE}$  qui permet de déterminer la concentration inconnue de l'acide.

### **III.3.2.3 Les acides et les bases en classe de troisième année scientifique**

Les acides et les bases sont introduits dans un thème appelé « Acides et bases de Bronsted » dans lequel on commence par rappeler les définitions des acides et des bases selon Arrhenius en soulignant leurs insuffisances avant de les définir selon la théorie de Bronsted. Le programme impose la définition de l'acide et de la base dans les commentaires : « Un acide sera défini comme étant une entité chimique (neutre ou chargée) capable de céder un ion  $\text{H}^+$  au cours d'une réaction chimique » ; « Une base sera définie comme étant une entité chimique (neutre ou chargée) capable de capter un ion  $\text{H}^+$  au cours d'une réaction chimique » (Ministère de l'Education, 2009, p.23). A partir des équations formelles des acides et des bases, on introduit la notion des couples acide/base conjugué(e) qui leur sont associés. Les réactions acide base sont interprétées comme la mise en jeu de deux couples acide base que l'on demande de retrouver en précisant que ces réactions consistent en un transfert d'ions  $\text{H}^+$ . Nous présentons en annexe (cf. figure 2 voir la page 13 dans l'annexe) un extrait du programme de 3<sup>e</sup> Mathématique relatif aux apprentissages des acides et des bases.

### **III.3.2.4 Les acides et les bases en classe de quatrième année scientifique**

L'horaire légal accordé à l'enseignement des acides et des bases en quatrième année scientifique (classe terminale) est entre 10 et 11,5 heures (dont 5,5h sont consacrées aux réactions de dosage), ce qui représente environ le 1/3 de l'horaire total du programme de chimie en cette classe. Nous nous proposons dans la suite d'analyser le savoir à enseigner relatif aux dosages acidobasique à travers le programme officiel de chimie au niveau des classes terminales scientifiques, la classe 4<sup>e</sup> Mathématiques.

#### **III.3.2.4.1 Les contenus du programme**

Le programme de chimie dans les classes terminales scientifiques est organisé autour de quatre grands thèmes (un cinquième concernant l'étude des amines est ajouté au programme de la classe de quatrième Sciences Expérimentales) : la cinétique chimique, les équilibres chimiques, les acides et les bases et les piles.

Le thème des acides et des bases est structuré, lui aussi, selon quatre chapitres : équilibre acide-base, classification des acides et des bases, pH des solutions aqueuses et les réactions d'un acide avec une base. Avant d'entreprendre l'analyse de ce dernier chapitre dans le programme officiel, il nous semble indispensable de présenter les savoirs enseignés, en quatrième année, que les élèves sont supposés connaître avant d'entamer les dosages acido-basiques.

Le premier chapitre, où la théorie de Bronsted est privilégiée dans la définition d'un acide ou d'une base, est une application directe de la loi d'action de masse aux équilibres chimiques. Selon la rubrique « commentaires » relative à ce chapitre, on doit rappeler la nature limitée de la réaction de dissociation de l'eau et que l'application de la loi d'action de masse à cette dissociation permet de retrouver le produit ionique de l'eau  $K_e = [H_3O^+].[OH^-]$ . Pour les autres équilibres caractérisant la réaction entre deux couples acide base  $A_1/B_1$  et  $A_2/B_2$  de type  $A_1 + B_2 \rightarrow B_1 + A_2$ , la prédiction du sens d'évolution est assurée par la comparaison de la fonction des concentrations  $\Pi$  (rapport des produits des concentrations) à la valeur de la constante  $K$  à l'équilibre. Le deuxième chapitre, classification des acides et des bases, traite la classification des acides (respectivement des bases) par la comparaison de leurs constantes d'acidité  $K_a$  ou  $pK_a$  qui caractérise un couple  $AH/A^-$  (respectivement constantes de basicité  $K_b$  ou  $pK_b$  de ce même couple), où le  $pK_a$  est défini  $pK_a = -\log K_a$ . A partir des constantes  $K_a$  et  $K_b$ , on demande d'établir pour un couple acide/base la relation  $K_a.K_b = K_e$ . La comparaison des forces des couples acide-base entre eux se réfère au couple de référence  $H_3O^+/H_2O$ . Dans le troisième chapitre, pH des solutions aqueuses, on établit les expressions donnant le pH des solutions aqueuses, en fonction de la constante d'acidité et de la concentration initiale de la solution : acide fort, base forte, acide faible et base faible. Le dernier point de cette partie réside dans l'application de l'expression du pH d'une solution aqueuse d'acide ou de base au calcul des concentrations initiales.

Dans le chapitre quatre, « Réaction d'un acide avec une base », les réactions acido-basiques sont interprétées quantitativement. On demande de réaliser les expériences de dosage acide-base par un suivi pH métrique. Les dosages à traiter sont le dosage d'un acide fort avec une base forte, d'un acide faible avec une base forte et d'une base faible avec un acide fort. Le dosage acide faible par une base faible est mentionné hors programme. Nous trouvons dans

la figure (cf. figure 3 voir la page 14 dans l'annexe), les exigences du programme officiel relatives aux dosages acido-basiques (Ministère de l'Éducation, 2009, p. 49).

Au niveau de l'organisation des séances, le programme propose de réserver une séance de travaux pratiques pour l'étude de la variation du pH au cours de la réaction de dosage d'un acide fort par une base forte et une autre séance qui regroupe les deux autres dosages, dosage d'un acide faible par une base forte et dosage d'une base faible par un acide fort.

Le calcul des concentrations des entités chimique dans le mélange réactionnel lors de l'interprétation des courbes de suivi pH métrique des réactions acide-base est hors programme.

La nature de la solution au point d'équivalence est absente dans les exigences du programme officiel qui demande, en se basant sur les courbes d'évolution du pH, de déterminer la force de l'acide ou de base, la concentration de la solution aqueuse acide ou basique utilisée, le point d'équivalence et éventuellement celui de demi-équivalence.

Les solutions tampons sont introduites sommairement à partir de la forme des courbes lorsque les solutions ont un pH voisin du pKa et le programme insiste sur le fait qu'elles ne soient pas l'objet d'une application numérique et que l'on n'étudie pas leur préparation tout en se contentant des solutions tampons obtenues à partir des dosages étudiés.

L'indicateur coloré est introduit sans développement théorique, comme étant « une substance qui prend une couleur donnée selon le pH de la solution dans laquelle elle est introduite ». Par ailleurs, on demande de donner des exemples de zones de virage de quelques indicateurs colorés tout en signalant leurs teintes sensibles et que le choix de l'indicateur est justifié par la valeur du pH au point d'équivalence dans un dosage particulier. Tout développement théorique portant sur la zone de virage est hors programme.

#### **III.3.2.4.2 Mise en œuvre dans le manuel officiel**

Pour mettre en œuvre les objectifs annoncés dans le programme à propos de la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base, le manuel propose le plan d'action suivant (Manuel scolaire 4<sup>e</sup> M, 2014) :

- Détermination du taux d'avancement final d'une réaction acide-base : par la réalisation du tableau descriptif d'évolution d'un système constitué par le mélange d'une solution d'acide fort HCl et une solution de base forte NaOH, on demande

d'évaluer le taux d'avancement final afin de montrer que cette réaction est pratiquement totale.

- Variation du pH d'une solution d'un monoacide fort suite à l'ajout d'une solution de monobase forte : il s'agit d'une activité expérimentale permettant de suivre la variation du pH en fonction du volume de la solution d'hydroxyde de sodium ajouté à une solution de chlorure d'hydrogène HCl. Le traçage de la fonction  $\text{pH} = f(V)$  permet d'interpréter la variation du pH et de préciser des valeurs de V pour lequel le mélange est acide ou basique. On définit l'équivalence comme étant « l'état d'un mélange obtenu lorsque les quantités de matière d'acide et de base sont en proportions stœchiométriques. Pour le dosage d'un monoacide par une monobase, l'équivalence est atteinte quand la quantité du monoacide initial  $n_A$  est égale à la quantité de monobase ajoutée  $n_B$ . Cela se traduit par :  $n_A = n_B$  soit :  $C_A V_A = C_B V_B$  » (Manuel scolaire 4<sup>e</sup> M, 2014, p.213). Les coordonnées du point d'équivalence sont déterminées en calculant tout d'abord le volume de la solution basique versée à l'équivalence et en lisant ensuite, sur la courbe, la valeur du pH correspondant. Ensuite, on vérifie ces
- coordonnées par la méthode des tangentes parallèles. On note enfin que le pH à l'équivalence est égal à 7 à 25°C.
- Variation du pH d'une solution d'un monoacide faible suite à l'ajout d'une solution de monobase forte : c'est une activité expérimentale de même type que la réaction précédente en ajoutant à la précédente la détermination du point de demi-équivalence et en montrant que le pH est alors égal au pKa du couple acide/base conjuguée
- Variation du pH d'une solution d'une monobase faible suite à l'ajout d'une solution d'un monoacide fort : la démarche suivie est pratiquement la même pour le cas de la réaction d'un acide faible par une base forte.
- Applications aux dosages acide-base : on commence par donner la définition du dosage : « Le dosage d'une solution aqueuse d'acide fort ou d'acide faible par une solution de base forte de concentration molaire C connue (solution titrée) consiste à déterminer la concentration molaire  $C_A$  de l'acide. Le dosage d'une solution aqueuse de base forte ou de base faible par une solution d'acide fort de concentration molaire  $C_A$  connue consiste à déterminer la concentration molaire  $C_B$  de la base. A l'équivalence acido-basique, on a la relation :  $C_A V_A = C_B V_B$  » (Manuel scolaire 4<sup>e</sup> M, 2014, p.224).

Ensuite, on remarque que la détermination de la concentration inconnue de la solution à doser, de volume connue, se fait par deux méthodes. La première est l'utilisation de la méthode des tangentes parallèles pour connaître le point d'équivalence, ce qui permet de lire le volume de la solution titrante ou dosante et par la suite l'application de la formule précédente pour calculer la concentration inconnue. La deuxième est l'utilisation d'un indicateur coloré pour déterminer le point d'équivalence. Le virage de cet indicateur lorsqu'on ajoute la solution dosante à la solution à doser permet de lire le volume dosé et par suite appliquer la formule  $C_A V_A = C_B V_B$  pour déterminer la concentration inconnue de la solution à doser. Le manuel propose de définir l'indicateur coloré comme suit : « un indicateur coloré de pH, utilisé en petite quantité dans les dosages acido-basiques, est constitué d'un acide faible dont la teinte est différente de celle de sa base conjuguée ». On donne par suite les zones de virage de quelques indicateurs et on définit la teinte sensible d'un indicateur coloré de pH comme « la teinte qu'il prend lorsqu'il est introduit dans une solution de pH appartenant à sa zone de virage » (Manuel scolaire 4<sup>e</sup> M, 2014, p. 225). A partir d'une multitude d'indicateurs permettant d'identifier l'équivalence, on introduit l'indicateur coloré convenable à un dosage acide-base comme étant celui dont la zone de virage contient le pH à l'équivalence.

- Les solutions tampons : On commence par examiner les courbes de dosage d'un acide faible par une base forte et celui d'une base faible par un acide fort au point de demi-équivalence et on fait constater qu'en ce point, la concentration de la forme acide est égale à celle de la forme basique et que la solution dont le  $\text{pH} = \text{pKa}$ , s'appelle solution tampon. Cette solution est caractérisée par le fait que son pH : a) diminue très faiblement lors de l'addition d'un acide (fort ou faible) en proportion modérée ; b) augmente très légèrement lors de l'addition d'une base (forte ou faible) en proportion modérée ; c) varie très légèrement suite à une dilution modérée.

### **III.4 - En guise de conclusion**

L'étude des instructions officielles, à propos de l'enseignement/apprentissage de la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base au niveau des classes terminales, nous permet de constater que la transposition externe a été opérée d'une certaine manière

(pour des raisons qui nous échappent) en comparant les savoirs de référence et les savoirs à enseigner. Nous pouvons en citer quelques-unes :

- Le terme « dosage » est continuellement utilisé en lieu et place de « titrage » qui désigne scientifiquement ce type de réaction acide – base avec un suivi pH-métrique.
- Il n'existe aucune référence à la différence entre le point final (point déterminé expérimentalement) et le point d'équivalence et par la suite les documents officiels ignorent d'une façon totale les erreurs de nature systématiques existantes dans la détermination du point d'équivalence.
- La détermination du point d'équivalence est à opérer par la méthode des tangentes qui n'a aucun fondement scientifique.
- Le pH théorique au cours de titrage n'est déterminé qu'à l'origine, lorsque le volume de la solution titrante est nul, et à la demi-équivalence, pour le titrage acide faible par une base forte ou celui d'une base faible par un acide fort.

D'un autre côté, nous remarquons que le programme officiel et le manuel scolaire donnent une grande place à la représentation graphique  $\text{pH} = f(V)$  qui traduit la variation du pH en fonction du volume de la solution titrante. En effet, les documents officiels proposent des activités axées sur ces courbes (leurs interprétations, détermination de l'équivalence, les coordonnées du point de l'équivalence, calcul des concentrations des ions aux points particuliers, le  $\text{pK}_a$ ...etc.).

Par ailleurs, les activités d'apprentissage relatives à la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base, que proposent les documents officiels, sont fréquemment présentées comme une suite de définitions suivies par des applications dans des procédures de détermination de concentration et des coordonnées du point d'équivalence, loin de toute investigation. Par ailleurs, le manuel officiel ne présente pas d'activité d'investigation, que les recommandations détaillées quant à elles proposent un déroulement linéaire de type définition application. Ceci indique que l'enseignement de chimie est réduit essentiellement à la présentation des connaissances conceptuelles déjà élaborées, et rend ainsi difficile pour les élèves de « faire la science » (Duschl & Gitomer, 1991). En outre, le programme officiel et le manuel de chimie s'inscrivent dans un héritage qui présente le cours de chimie de manière « linéaire » où une notion s'appuie sur une autre tout en négligeant la manière dont cette dernière a été construite. Au sens large, on assiste à une ambiguïté même à un paradoxe au

sein de ce programme. Il n'est ni classique à cause des consignes se trouvant dans sa partie introductive, ni socio constructiviste à cause de type d'activités qu'il propose. L'écart est vraiment notable entre d'un côté les assujettissements institutionnels en matière des démarches préconisées et, de l'autre, des activités d'apprentissage classiques proposées « officiellement ». En plus, bien que l'enseignement des acides et des bases suive<sup>46</sup> l'évolution historique en matière d'introduction des théories, nous remarquons l'absence d'explicitation dans le programme officiel de la transition d'une théorie à l'autre ainsi que des relations qui existent entre les différentes théories, notamment entre celle d'Arrhenius et celle de Bronsted.

---

<sup>46</sup> On commence par le modèle d'Arrhenius en deuxième année Science uniquement ensuite on introduit le modèle de Bronsted dans les années qui suivent.



## Chapitre 3 - Problématique et questions de recherche

Les études récentes en sciences de l'éducation portent une attention particulière à l'analyse des pratiques ordinaires dans l'enseignement. Ces études dont le premier objectif est de décrire et comprendre ce qui se passe dans la classe servent aussi pour proposer ensuite des pistes pour la formation et le développement professionnel des enseignants. Et si ces études sont utiles en général, elles sont particulièrement importantes en sciences physiques et chimiques dans la mesure où elles concourent à mieux former les élèves qui deviendront les futurs cadres scientifiques dans la société, y compris la nôtre en Tunisie. C'est probablement une des raisons qui explique la croissance et le développement de recherches dans ce secteur (Calmettes, 2012 ; Cross, 2010 ; Hervé et al., 2013 ; Jameau, 2012 ; Kermen & Barroso, 2013 ; Seck, 2008 ; Tiberghien & Malkoun, 2007, Venturini & Tiberghien, 2012).

Notre recherche, dont l'objet est de décrire et de comprendre l'action didactique conjointe Enseignant/Elève en chimie en milieu ordinaire, se veut être descriptive à finalité compréhensive dans une visée heuristique. Elle s'inscrit dans le prolongement de ces études, avec l'ambition de produire des connaissances et des outils. Elle s'inscrit également dans les perspectives de recherche développées en didactique comparée. Cette didactique prend en charge les questions de « ce qui se passe et se joue d'ordinaire dans des classes quelconques » notamment en essayant d'identifier ce qui est générique à certaines pratiques et ce qui est spécifique (Schubauer Leoni, 2008). A cet égard, il nous semble donc intéressant d'observer les enseignants en action in situ, lors de la transmission d'un objet de savoir, en adoptant une analyse ascendante de la transposition didactique. La transposition didactique ascendante dans laquelle « la vérité n'est ni du côté des savoirs, ni du côté des sujets » (Schubauer Leoni, 2008, p. 69), concerne l'analyse « d'une co-construction des savoirs, dépendant des actions conjointes des différents acteurs impliqués » (Brière-Guenoum, 2012, p. 10).

Par ailleurs, nous adoptons le cadre théorique de l'action conjointe en didactique pour décrire et comprendre cette action co-construite. Cette théorie offre en effet, des outils permettant de décrire l'action didactique (modèle du jeu didactique, concepts de contrat, de milieu, dynamiques méso, topo et chronogénétiques, types de stratégies du professeur susceptibles

de faire apparaître des généralités et des spécificités dans l'action didactique. Elle postule de plus, l'existence d'un certain nombre de déterminants (épistémologie pratique, adressage de l'action, rapports aux savoirs des acteurs, rapports à l'apprendre des élèves, valeurs des savoirs...) susceptibles de lui conférer une intelligibilité. Nous souhaitons chercher quelles sont les caractéristiques des dynamiques méso, topo et chronogénétiques développées conjointement dans la classe autour d'un objet de savoir particulier. Après avoir décrit l'action de l'enseignant, nous cherchons à comprendre ce qui se trouve en amont de l'action professorale à propos d'un objet de savoir en particulier, quels sont les déterminants de l'action didactique, inférés de l'action in situ, susceptibles de nous faire comprendre ces dynamiques ?

Une des spécificités et des complexités de l'enseignement scientifique est l'articulation du champ empirique avec le formalisme théorique, utile pour aller au-delà de la perception des phénomènes (Feynman, 1980 ; Hulin, 1992). Toutefois une particularité s'impose dans l'étude des systèmes en chimie. Etudier un système en chimie, une transformation chimique, c'est se préoccuper d'un système qui diffère profondément entre le début et la fin de l'étude. Par ailleurs, l'enseignement des concepts relatifs à cette discipline nécessite la mise en relation entre des données empiriques, représentations graphiques, symboliques et des contenus théoriques. Nous voulons chercher, comment le professeur, au sein d'une relation ternaire enseignant – élève – cet objet de savoir, met en œuvre le lien entre les données expérimentales, les représentations graphiques et symboliques et les contenus théoriques pour établir une référence (raisonnablement) commune co-construite relative à cet objet de savoir ? Cette mise en relation constitue vraisemblablement une difficulté essentielle dans le processus enseignement/apprentissage des concepts scientifiques. Nous voulons, dans cette mise en relation, identifier en particulier quelles sont les continuités et les discontinuités révélées dans la progression du savoir construit conjointement lors de la transition entre le champ empirique et le monde des théories et modèles.

Nous nous inscrivons pour cela dans une perspective comparatiste expérimenté/novice afin de créer de l'étrangeté et de chercher les aspects généraux et spécifiques dans leurs pratiques enseignantes autour d'un savoir particulier. Nous choisissons d'investiguer les pratiques ordinaires de deux enseignants dont l'un a une trentaine d'années dans l'enseignement des classes terminales et une enseignante d'expérience très réduite par

rapport à lui, deux années seulement dans ces classes, considérée comme novice dans l'enseignement de ces classes. Nous voulons par ce choix les comparer pour déceler ce qui est spécifique et générique dans leurs pratiques afin de dégager des éléments à intégrer dans les formations des enseignants, qui peuvent être différents selon l'expérience du niveau d'enseignement. Ceci dit, nous voulons chercher quelles différences existent dans les pratiques et les déterminants de l'enseignant expérimenté et novice autour d'un objet de savoir particulier.

Notre étude s'inscrit dans le prolongement des travaux sur les pratiques d'enseignement de la chimie et plus particulièrement sur la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base. Plusieurs raisons nous mènent à ce choix. Tout d'abord, l'enseignement de cet objet de savoir occupe une place importante dans le programme officiel de toutes les classes de baccalauréat scientifique, programme dans lequel on opérationnalise les connaissances construites auparavant, notamment celles des acides et des bases. Nous pensons que les élèves des classes terminales scientifiques atteignent un certain état de développement de la pensée formelle leur permettant de comprendre et de manipuler des modèles mentaux, conformément aux travaux de Kleinman, Griffin, & Kerner (1987) qui montrent que le niveau d'abstraction augmente chez les individus avec leur niveau d'éducation. Ensuite, la mesure du pH et le titrage acido-basique jouent un rôle important non seulement sur le plan académique mais aussi sur les plans de la vie quotidienne et des décisions citoyennes liées à des processus industriels mettant en jeu les acides et les bases. L'importance de ce sujet se traduit également à travers les nombreux articles présentant les difficultés d'apprentissage et d'enseignement au niveau d'études secondaires et universitaire (Calatayud, Barcenas, & Furio-Mas, 2007 ; Le Maréchal & Naija, 2008 ; Ouertatani & Dumon, 2008 ; Rabier, Venturini, & Terrisse, 2001 ; Treagust, Duit, & Nieswandt, 2000 ; Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994).

L'analyse didactique nous sensibilise sur l'intérêt et la nécessité d'étudier cet objet de savoir dans la mesure où il cristallise de nombreuses difficultés d'apprentissage (courbes de pH, neutralisation, etc...) et des difficultés dans l'enseignement qui se manifestent essentiellement lors de la manipulation par les enseignants des théories d'Arrhenius et de Bronsted et la conception des stratégies d'enseignement. D'autre part, la transposition du savoir savant exige plus de précision au niveau de l'utilisation d'une terminologie pouvant

induire des amalgames (« dosage » au lieu de « titrage »), de l'utilisation de la « méthode des tangentes » pour déterminer le point d'équivalence et étant associée fréquemment à l'ignorance totale des erreurs de nature systématique dans cette détermination. En plus, la relation chimie société est quasi-absente dans le programme officiel et manuel scolaire. Le programme véhicule un objet de savoir décontextualisé et propage ainsi l'idée de la chimie « neutre » ce qui ajoute des difficultés pour les élèves. Par ailleurs, l'analyse institutionnelle à propos de l'enseignement de cet objet de savoir révèle d'une part, le paradoxe entre des progressions faisant référence à un enseignement traditionnel et à une tradition académique et des commentaires généraux mettant l'élève au centre et demandant de mettre en œuvre de l'investigation. A cet égard, même si les recommandations générales invitent à des situations d'investigation, le manuel n'en présente aucune, et les enseignants n'ont pas cette expérience. Nous pensons que cette multitude d'incertitudes sont susceptibles d'avoir des répercussions sur les pratiques des enseignants dans l'enseignement des acides et des bases et particulièrement lors des titrages acidobasiques. De ce fait, ce bilan sur la conjoncture actuelle d'un tel enseignement conduit à s'interroger sur les pratiques ordinaires des enseignants tunisiens à propos de l'enseignement de l'objet de savoir, variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base. Nous pouvons en effet penser que certains, qui ont plus d'expérience, ont construit des pratiques plus abouties, ou en tout cas différentes de celles développées par des enseignants moins expérimentés, même si probablement, elles ont un fond commun, générique permettant en contraste de saisir les particularités développées par l'un et l'autre.

A la lumière de tous ces éléments, nous pensons que cet objet de savoir, variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base, est intéressant pour répondre aux questions suivantes susceptibles de rendre plus sensible à la différence entre deux enseignants d'expérience différente dans l'enseignement de la classe de baccalauréat scientifique :

- 1- quels sont les éléments génériques et spécifiques du triplet chrono, topo et méso génétiques qui caractérisent l'action de deux enseignants, débutant et expérimenté ?
- 2- quelles sont les continuités/discontinuités apparaissant lors de l'avancée du savoir ?
- 3- quels sont les déterminants des pratiques observées de ces deux enseignants ?

## Chapitre 4 - Cadre méthodologique

Cette partie est consacrée à la méthodologie que nous avons élaborée pour mener ce travail de recherche, collecter et traiter les données empiriques. Nous présentons l'orientation globale de la méthodologie adoptée, qui nous amène à conclure sur la nécessité de recourir à la méthodologie d'étude des cas. Nous explicitons, par la suite, notre méthode de recueil et de réduction des données empiriques et d'éclairer les caractéristiques des enseignants retenus pour notre investigation, des classes et des établissements dans lesquels ils travaillent. Nous terminons cette partie par exposer notre méthode de traitement des données collectées.

### I - Principes généraux

Notre corpus des données s'articule autour de deux volets. Le premier qualifié de primaire lié à la classe et concerne l'enregistrement vidéo des séances observées, la prise en note in situ et éventuellement les documents distribués en classe. Le corpus secondaire concerne les données complémentaires collectées à l'extérieur de la classe notamment, les entretiens ante protocole ante et post séance, le manuel et le programme officiel. Généralement, toutes ces données seront confrontées et aboutiront à des inférences visant à préciser les déterminants de l'action dont l'épistémologie pratique des enseignants.

Par ailleurs, s'intéresser à l'analyse et à l'interprétation des pratiques enseignantes « ordinaires », sous l'angle des transactions didactiques ternaires, nous positionne dans une perspective où « l'ingéniosité de chaque enseignant nous intéresse autant que celle exercée sous le contrôle d'une ingénierie » (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002, p. 228). Par ailleurs, nous nous basons sur les travaux issus de la didactique comparatiste où cette perspective est « centrale à la fois pour la dialectique clinique/expérimentale et pour celle de l'explication/compréhension de phénomènes d'ordre didactique » (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002, p. 235). Le mot « clinique » est employé, ici, dans le sens de *recherche clinique* et non d'une « clinique pour l'enseignant praticien [...] ni d'une clinique visant une intervention sur les systèmes ou sur les personnes » (Leutenegger, 2000, p. 213). En outre, c'est la posture du chercheur non-interventionniste, dans le fonctionnement et la régulation

des systèmes didactiques étudiés, qui oriente nos choix méthodologiques. La démarche clinique/expérimental est caractérisée par deux phases « une première phase de collection des traces et la mise en archive et, dans une deuxième phase, le traitement des traces et l'explication/compréhension des phénomènes » (Leutenegger, 2000, p. 240).

Toutefois, analyser et comprendre en profondeur un phénomène, si complexe, nécessite une méthodologie spécifique qui puisse capter toute les dynamiques. L'analyse détaillée des jeux didactiques, où nous devons tenir compte de plusieurs composantes enchevêtrées nous conduit à choisir la méthode de l'étude de cas. Cette méthode « favorise une analyse globale et contextualisée de l'objet de recherche ; de plus, en concentrant son attention sur un ou sur quelques cas seulement, le chercheur pourra prendre en compte et examiner un grand nombre de dimensions et de facteurs en jeu dans le phénomène à l'étude » (Van der Maren, 1995, p. 108).

En outre, nous nous inscrivons dans un paradigme interprétatif qui cible la compréhension des transactions didactiques ternaires au sein des pratiques enseignantes et par suite notre recherche se veut une recherche qualitative« intrinsèque<sup>47</sup> », « centrée sur le contenu des interactions, c'est-à-dire centrée sur le sens de l'action pour l'acteur » (Sensevy, 2011, p. 228). Notre ambition, justement, est de comprendre les données qualitatives collectées pour agir ensuite en formation, loin de toute évaluation ou jugement envers les transactants en s'inscrivant dans une démarche qualitative / interprétative « souple et émergente [...] qui permet au chercheur de comprendre, de l'intérieur, la nature et la complexité des interactions d'un environnement spécifique, et d'orienter sa collecte de données en tenant compte de la dynamique interactive du site de recherche » (Savoie-Zajc, 2000, p. 173 – 174).

---

<sup>47</sup>Sensevy (2011) évoque p. 228, deux variétés pour analyser un corpus donné, l'analyse structurale et l'analyse intrinsèque. L'analyse structurale renvoie « aux critères des éléments extérieurs à l'action de l'acteur, et, en particulier, à ses intentions »

## **II - Enseignants observés, classes et établissements concernés**

Les deux enseignants nommés ici, P1 et P2 travaillent dans deux différents établissements secondaires de la banlieue de Tunis. P1 travaille dans un lycée se trouvant dans un quartier dont la majorité des habitants appartient à la classe moyenne. Ce lycée, dont les résultats au baccalauréat sont jugés moyens selon les statistiques données par le ministère de l'éducation, est bien équipé en matériel pour l'enseignement de physique – chimie et possède trois laboratoires dont deux sont totalement rénovés. Le professeur P1 assure l'enseignement des classes terminales depuis vingt-huit ans et est donc considéré « expérimenté ». La professeure P2 travaille dans un établissement se trouvant dans un quartier de la classe aisée. Ce lycée, à bonne réputation et aux résultats satisfaisants au baccalauréat, souffre, selon les enseignants, d'un manque du matériel et des produits chimiques dans leur laboratoire. Par ailleurs, les salles spécialisées manquent d'entretien et certaines d'entre elles sont dépourvues d'eau et d'un nombre satisfaisant des prises de courant. Cette professeure a une dizaine d'années d'expérience professionnelle, mais c'est la deuxième année qu'elle enseigne dans les classes de baccalauréat et son expérience à ce niveau est réduite. Ces deux professeurs ont une formation universitaire de quatre années et ont chacun une maîtrise en sciences physiques. Par ce choix, nous nous s'inscrivons, conformément à notre cadre théorique, dans une démarche comparatiste visant à déterminer les aspects génériques et spécifiques dans les actions didactiques d'un enseignant expérimenté dans l'enseignement des classes terminales, et d'un enseignant à expérience plus réduite.

Les classes de terminales investiguées sont de section Mathématiques, de 21 élèves pour P1 (17 filles et 7 garçons) et 24 élèves pour P2 (18 filles et 6 garçons). L'enseignement se fait en classe entière pour P1 et en classe dédoublée pour P2.

Par ailleurs, nous avons expliqué à ces deux enseignants les grandes lignes de notre recherche et en détail notre méthodologie de recueil des données qui se manifeste par l'enregistrement vidéo des séances concernant l'enseignant de l'objet de savoir, la variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base, et les différents entretiens que nous voulions faire avec eux. Nous leur avons précisé que nous voulions enregistrer des séances ordinaires et de ce fait, nous n'intervenons ni dans la planification du nombre des séances envisagées, ni dans les

activités proposées aux élèves. Nous avons négocié avec eux les dates des entretiens ante protocole alors que celles de l'enregistrement vidéo se sont imposées à nous au gré du rythme de leurs classes.

### **III - Recueil des données**

Nous avons utilisé lors de recueil des données trois caméras numériques, un dictaphone et un appareil photo numérique pour l'enregistrement vidéo des séances d'enseignements et les entretiens avec les professeurs.

#### **III.1 - Les séances d'enseignement**

Notre principale source de données pour révéler un certain nombre d'aspects de l'action in situ est l'enregistrement vidéo. Bien que l'importance de ce mode de recueil soit incontestée dans les recherches en didactique comparée s'inscrivant dans le courant de la clinique expérimentale (Leutenegger, 2000), Sensevy (2011) fait remarquer que « cela ne signifie pas [...] que a) le film absorbe la totalité de l'action in situ ; b) qu'il n'y ait pas d'autres manières de rendre compte de l'action in situ » (Sensevy, 2011, p. 219). En outre, le film enregistré ne traduit pas le réel de l'action mais il est « un analogon<sup>48</sup> de l'action » (Sensevy, 2011, p. 219). Ainsi, le « film de pratique » (Sensevy, 2011) ne peut nous offrir qu'un aperçu limité des « phénomènes relatifs au fonctionnement du système didactique » (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002, p. 107) du fait que la caméra donne non pas une image de toute la pratique, mais une partie de la pratique, celle « constatée sous les conditions de l'observation » (Bru, 2002, p. 170). Par ailleurs, l'enregistrement vidéo « fait appréhender ce qui se joue dans le défilé du temps, et défait l'irréversibilité propre au temps de la pratique. Il peut opérer au niveau microscopique, à l'aide de procédés (ralenti, accéléré, travail sur photogrammes) [...]. Il peut opérer au niveau macroscopique, par exemple dans la mise en comparaison

---

<sup>48</sup>Sensevy (2011) introduit le concept « analogon » qui, selon lui, provient d'une distinction analogique/digital empruntée de Winkin (2001) qui cite, entre autres, « La communication analogique serait le mode de communication sur les relations, tandis que la communication digitale serait le mode de communication sur le contenu » (Winkin, 2001, pp. 62-63).



immédiate de moments très éloignés, dans un processus là encore foncièrement étranger à la perception habituelle (Sensevy, 2011, p. 234).

Avant de commencer les procédures d'enregistrement vidéo, nous avons invité les proviseurs de chacun de deux établissements, les deux enseignants et les parents d'élèves à signer des autorisations d'enregistrement et ceci pour des considérations éthiques, déontologiques et juridiques. Les différentes autorisations se trouvent dans l'annexe.

Nous ne sommes pas intervenus dans les choix ou la planification de deux enseignants pour l'enseignement de l'objet de savoir, la variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base. Le professeur P1 organise l'enseignement de cet objet de savoir en trois séances d'une durée de 2 heures chacune, une séance de cours, intitulée variation du pH au cours de la réaction entre un monoacide et une monobase, et deux séances de travaux pratiques. La première est intitulée, variation du pH d'une solution d'un monoacide fort par ajout progressif d'une solution d'une monobase forte et la deuxième a pour titre, variation du pH d'une solution d'un monoacide faible par ajout progressif d'une solution d'une monobase forte. La professeure P2 planifie son enseignement en deux séances de travaux pratiques (en fait des TP-cours) d'une durée de 2 heures pour chacune. La première séance est intitulée, dosage d'un acide fort par une base forte. La deuxième séance a un double titre, dosage d'un acide faible par une base forte et dosage d'une base faible par un acide fort. Nous avons filmé la totalité de ces cinq séances et nous avons obtenu 10 heures d'enregistrement vidéo à l'état brut.

Nous avons à notre disposition trois caméscopes numériques. Une caméra (A) fixe est posée sur un trépied mis sur une pailasse sur l'une des diagonales au fond de la classe et permet de filmer les élèves « de dos » ainsi que les actions de l'enseignant. Une caméra (B), pratiquement inaperçue, sur un petit trépied posé sur le pailasse du professeur juste à côté du mur permet de filmer les élèves de face. Les caméras (A) et (B) se trouvent dans deux positions opposées l'une de l'autre. Une caméra (M) mobile à notre disposition nous permet de zoomer sur le tableau chaque fois que l'enseignant ou un élève écrit quelque chose. Un appareil photo numérique nous permet de prendre éventuellement des vues du tableau, de la classe ou de prendre des séquences vidéo brèves.

Ce matériel et sa disposition nous permettent d'avoir le champ le plus large possible pour d'une part capter le maximum des interactions Professeur/Elèves et Elèves/Elèves et d'autre

part, observer une neutralité souhaitée par la non focalisation de ce qui nous semble, au moment de l'enregistrement, important à saisir.

L'enseignement de deux professeurs se fait dans des salles spécialisées et étroites, les salles des groupes. Cette étroitesse facilite la prise de son effectuée par les différents caméscopes.

### **III.2 - Les entretiens avec les enseignants**

Pour comprendre les pratiques d'enseignement, nous avons eu recours à différents entretiens, ante protocole, ante séance et post séance.

L'entretien ante protocole est le plus dense et plus riche en matière de questionnement et d'informations et a duré 2h 30 min pour le professeur P1 (expérimenté) alors que pour la professeur P2, réservée et brève dans ses réponses, il n'a duré que 1h 30 min. Les entretiens ante séance et post séance sont relativement rapides et moins denses en matière de questionnement en raison du peu de temps dont les enseignants disposent juste avant et juste après la séance.

Le choix des questions est inspiré de celles développées par Loughran et al. (2004, p. 376) dans le cadre de travaux liés au concept de « Content Representations » (CoRes)<sup>49</sup>. Il s'agit de huit questions ayant pour but à l'origine de discerner les PCK des enseignants. Nous recourons aussi aux questions proposées par Pautal (2012), Hervé (2012) dans le cadre de leurs thèses et nos propres questions dans le cadre de notre sujet de Master<sup>50</sup>. Nous présumons que ces questions peuvent contribuer à la réduction de l'incertitude vis-à-vis les théories implicites des enseignants inférées de leurs pratiques. Toutefois, une reformulation de ces questions est

---

<sup>49</sup>(1) What do you intend the students to learn about this idea? (2) Why is it important for students to know this? (3) What else do you know about this idea (that you don't intend students to know yet) ? (4) Difficulties/limitations connected with teaching this idea. (5) Knowledge about student thinking that influences your teaching of this idea. (6) Other factors that influence your teaching of this idea. (7) Teaching procedures (and particular reasons for using these to engage with this idea) (8) Specific ways of ascertaining students' understanding or confusion around this idea (include likely of responses)

<sup>50</sup> Nous avons choisi comme sujet de master : PCK des enseignants tunisiens relatifs au concept avancement chimique.

nécessaire pour s'adapter au contexte tunisien et au sujet de la recherche qui renvoie à l'enseignement de la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base.

Les entretiens sont réalisés en arabe tunisien, cherchant ainsi une discussion ouverte loin de toute officialisation. Ils sont composés de trois sortes de questions : des questions ouvertes, des questions semi-ouvertes et des questions fermées. Les entretiens ont été transcrits intégralement puis traduits. Leur traduction se trouve pour P1, dans les pages 11 – 17, 18, 49, 59, 87, 102 et 125 dans l'annexe, et pour P2, dans les pages 129 – 133, 134, 152, 172 et 188 dans l'annexe.

### **III.2.1 - L'entretien ante protocole**

L'entretien ante protocole avec l'enseignant s'articule autour de quatre thèmes : le contexte de l'action, le rapport à l'objet de savoir, les points de vue sur l'enseignement/apprentissage et le fondement de l'enseignement chez l'enseignant. Nous proposons dans la suite d'évoquer nos intentions, à travers les questions posées, relatives à chaque thème. L'intégralité des questions est disposée pour P1, en pages 11 – 17 et pour P2, en pages 129 – 133 dans l'annexe.

- Le contexte de l'action : Nous cherchons à mieux connaître l'environnement de travail (établissement, milieu social...), les élèves (notamment leur engagement dans l'apprentissage de la chimie, leur niveau scolaire), l'équipement du laboratoire de physique-chimie en matériel didactique.
- Rapport à l'objet de savoir : nous cherchons à connaître les rapports qu'entretient l'enseignant avec la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base et quel sens il attribue à cet objet de savoir.
- Les points de vue de l'enseignant sur l'enseignement/apprentissage de la chimie et plus particulièrement sur l'évolution du pH lors d'un titrage : les stratégies adoptées, les difficultés supposées des élèves. Il s'agit ici de clarifier comment l'enseignant apprécie les connaissances préalables des élèves, les difficultés qu'ils éprouvent lors de l'apprentissage des dosages, leurs capacités linguistiques et leurs raisonnements pour les exercices quantitatifs. Nous voulons savoir aussi si l'enseignant est sensible à ces difficultés et s'il choisit, en conséquence, de recourir à des stratégies spécifiques pour faire face aux erreurs des élèves. Aussi, nous voulons chercher son point de vue sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences et de lui demander les finalités qu'il

attribue à cet enseignement. Nous voulons savoir aussi le rôle qu'il attribue à la modélisation dans l'enseignement de la chimie.

- L'enseignant : nous voulons, de plus, collecter des informations sur la carrière professionnelle de l'enseignant, les représentations qu'il a de son métier et sur la manière dont il assure ses tâches. Nous souhaitons aussi disposer de son point de vue sur le programme officiel en chimie.

### **III.2.2 - L'entretien ante séance**

L'entretien ante séance s'articule autour de deux thèmes :

- La mise en jeu de l'objet de savoir dans la séance : Nous cherchons à savoir de quelle manière l'enseignant a prévu de présenter cet objet de savoir (quelles activités, pourquoi ces activités), ainsi que les objectifs qu'il vise.
- Les difficultés des élèves au regard du contenu de la séance : Nous cherchons les difficultés que l'enseignant attend chez les élèves, ainsi que les stratégies qu'il envisage pour les surmonter.

### **III.2.3 - L'entretien post séance**

Par cet entretien à chaud, nous voulons à travers un retour réflexif engager l'enseignant à parler du déroulement de la séance, de l'écart entre ce qui était planifié et réalisé, des difficultés qu'il a rencontrées.

### **III.2.4 - En résumé**

Pour les deux enseignants, P1 expérimenté et P2 novice dans l'enseignement des classes terminales, retenus pour notre investigation, nous avons collecté les données suivantes :

#### **III.2.4.1 Les données collectées pour P1 :**

- Un corpus vidéo de 6 heures résulte de l'enregistrement de trois séances de cours de 2 heures chacune
- Un entretien ante protocole
- Trois entretiens ante séance
- Trois entretiens post séance

- Trois photocopiés distribués aux élèves après la fin des trois séances et constituant les éléments des présentations PowerPoint projetées en classe (cf. pages 46 – 52, 96 – 99 dans l'annexe).

### **III.2.4.2 Les données collectées pour P2**

Un corpus vidéo de 4 heures résulte de l'enregistrement de deux séances de travaux pratiques.

- Un entretien ante protocole
- Deux entretiens ante séance
- Deux entretiens post séance
- Trois fiches de TP-cours distribuées aux élèves au cours des deux séances (cf. pages 172 – 174, 201 – 206 dans l'annexe).

Ces données englobent la totalité de l'enseignement portant sur la variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base.

Par ailleurs, nous avons signalé dans notre étude scientifique que tous les titrages étaient des dosages, mais pas l'inverse. Toutefois, dans la sphère scolaire tout le monde, les enseignants, les élèves, le programme officiel, le manuel scolaire, les recommandations ministérielles, parlent de dosage même si ce terme est impropre. De ce fait, nous trouverons un peu partout le terme de dosage (dans les questions, les commentaires, etc...).

## **IV - Réduction des données**

Nous avons procédé ensuite à un premier traitement de données recueillies à partir du corpus principal, constitué par des enregistrements vidéo des séances observées. Nous sommes conscient que toute analyse de données « se ramène finalement à l'analyse de systèmes de signes, de systèmes sémiotiques, de systèmes d'inscriptions qui se substituent aux phénomènes que l'on veut étudier » (Sensevy, 2011, p. 218).

Nous avons en premier lieu, réduit les données brutes et structuré le corpus afin d'une part, de mieux l'appréhender dans sa totalité, et d'autre part de sélectionner les jeux à analyser d'une manière très raisonnée, pour répondre à nos questions de recherche

Notre traitement des données brutes s'est déroulé en trois phases essentielles.

- La phase de transcription des données par le logiciel Transana<sup>51</sup>.
- La phase de structuration de la séance en thèmes et en jeux didactiques puis la structuration en épisodes à l'intérieur du jeu didactique.
- La phase de construction du synopsis des séances enregistrées.

## IV.1 - Transcription

Comme premier traitement, les productions verbales, issues des données collectées de l'enregistrement vidéo et des différents entretiens sont traitées avec le logiciel Transana. Nous avons choisi de ne pas transcrire les travaux de groupe et par suite, nous nous intéressons seulement aux interactions en classe entière.

Les transcriptions sont dressées sous forme de tableaux à trois colonnes. La première fait apparaître les tours de parole. La deuxième le nom de locuteur. La troisième est destinée aux interactions verbales des transactants, complétées par la description éventuelle des gestes et environnement matériel nécessaires à la compréhension des interactions. L'intégralité des transcriptions, des copies d'écran du tableau, des extraits des documents des élèves ainsi que le temps sont disposés en annexe. Dans la suite, un extrait du tableau (cf. pages 23 dans l'annexe) avec quatre tours de paroles illustre notre transcription :

71. E : il a une certaine couleur et après l'équivalence
72. P1 : après l'équivalence
73. E : on a une autre couleur
74. P1 : après l'équivalence on a une autre couleur (0:13:28) donc l'indicateur coloré obligatoirement doit posséder différentes couleurs

---

<sup>51</sup>Transana ([www.transana.org](http://www.transana.org)) est un logiciel de transcription et d'analyse qualitative des données audio / vidéo, disponible en deux versions, Windows et Mac.

## **IV.2 - Structuration de la séance : granularité de plus en plus fine**

### **IV.2.1 - Une variété d'échelles temporelles**

L'activité de classe est complexe et les phénomènes s'y déroulent sur différentes échelles de temps, si bien que l'analyse doit elle aussi les prendre en compte. Les trois échelles les plus connues et utilisées sont l'échelle macroscopique correspondant au temps académique de la séquence analysée (de l'ordre de quelques heures), l'échelle mésoscopique correspondant au temps didactique des activités en classe (de l'ordre de 10 à 30 minutes environ) et l'échelle microscopique (de l'ordre de quelques secondes) correspondant aux gestes des transactants et/ou à leurs énoncés.

Nous commençons par une première structuration au niveau mésoscopique, la structuration que nous appellerons « de niveau N », en jeux didactiques. Cette structuration est associée au rythme habituel de changement des activités dans la classe. Une deuxième structuration à ce niveau temporel correspond au thème (ce dont on parle effectivement dans la classe) et une troisième se réfère à l'organisation sociale parce que souvent lorsqu'on change l'activité, l'organisation sociale de la classe change.

### **IV.2.2 - Structuration en jeux (niveau N et épisodes de niveau N-1)**

L'analyse du jeu didactique s'avère difficile à réaliser en toute sa globalité à cause de la durée de quelques jeux qui peuvent atteindre une vingtaine de minutes. Nous procédons alors à un découpage plus fin à l'intérieur du jeu en se référant aux travaux de Venturini & Tiberghien, 2012 et Tiberghien & Venturini, 2015. Pour une nécessité méthodologique, ces deux chercheurs ont suggéré qu'il est intéressant de prendre une échelle de quelques minutes entre l'échelle mésoscopique et microscopique, correspondant à un niveau intermédiaire, qu'ils appellent épisode de niveau N-1. L'épisode est alors une sorte de « sous-jeu », une unité élémentaire du jeu didactique, qui généralement se caractérise par une forme d'organisation sociale particulière et/ou un contenu spécifique qui constitue un enjeu local dans le jeu, et quand l'un ou l'autre change, l'épisode change. Autrement dit, les outils de description « fine » des épisodes N-1 sont ceux utilisés dans les jeux didactiques élaborés dans le cadre de la TACD (doublet, triplet et quadruplet) dans la mesure où ces épisodes sont des sortes de « sous-jeu », mais la description se nourrit aussi d'une analyse des interactions et

gestes au niveau microscopique et des va et vient entre les différents niveaux micro et méso. C'est dans ce sens que les épisodes de niveau N-1 constituent des « intermédiaires » entre une analyse microscopique et une analyse mésoscopique.

Suite à la transcription des données, on procède à une structuration aux niveaux N et N-1. Cette structuration consiste en premier lieu à découper la séance en un ensemble des jeux didactiques ensuite, chaque jeu est structuré en épisodes N-1. Nous intitulons chaque jeu ou épisode par un titre qui commence par un verbe d'action. Nous avons montré que le point de vue de la TACD sur l'action est un point de vue transactionnel, où la transaction, est définie à partir d'un milieu, d'un contrat et un enjeu. Ce type de transaction, nous le voyons, conformément à notre cadre conceptuel de la TACD, comme un jeu de nature didactique. En outre, nous marquons les limites de nos jeux didactiques en saisissant les moments qui marquent un changement dans le milieu, le contrat et de l'enjeu. Concernant les épisodes constituant les jeux de P1 et P2 et en dehors du travail ponctuel en groupes d'élèves, l'organisation sociale ne change pas, l'évolution locale de l'enjeu de jeu permet de structurer en termes d'épisodes de niveau N-1.

#### **IV.2.3 - Structuration thématique : savoir reconstruit**

Nous optons pour un découpage thématique du discours des transactants. Ce découpage est lié à l'évolution du savoir enseigné et répond à la question, de quoi est-il question ? (Tiberghien, 2010). Ce découpage s'avère essentiel puisque nous voulons faire référence à ce qui est discuté, en termes de savoirs enseignés, entre le professeur et les élèves à un moment donné quelle que soit la manière dont il est discuté. Par ailleurs, l'analyse thématique « permet de structurer le savoir enseigné à l'échelle mésoscopique, par son contenu » (Tiberghien et al., 2007, p. 108).

#### **IV.3 - Construction du synopsis**

A partir de la transcription, nous réalisons un synopsis pour mettre en avant l'organisation de la situation et situer les thèmes, les jeux et les épisodes de niveau N-1 dans leur contexte et dans l'histoire didactique de la situation. La constitution du synopsis n'est pas linéaire mais résulte plutôt d'un va et vient entre la transcription, les analyses des jeux didactiques et des épisodes N-1 pour délimiter les frontières de chacun des thèmes, jeux didactique et épisodes.



Nous voulons par la construction de ce synopsis faire apparaître notre structuration de l'action didactique en thèmes, en jeux didactiques, en épisodes de niveau N-1, en organisation sociale de la classe et en temps, afin de procéder à une première analyse de l'action didactique du professeur.

A propos de l'organisation sociale nous notons « CE » lorsque les interactions se déroulent sous le regard de la classe entière, « G » lorsque les interactions se déroulent dans le mini-groupe (groupe de trois ou quatre élèves selon le professeur) au cours de la réalisation de manipulations et mesures et enfin « Indi » lorsque les échanges autour d'un savoir se font avec un seul élève (individuel).

Nous présentons dans ce qui suit, comme exemple, un extrait du synopsis de la première séance relative au professeur P1.

Thèmes	Jeux didactiques	Episodes N-1		Organisation sociale	Temps
		N°	Intitulés		
Thème 1 Dosage AF BF (Rappels – objectif de la séance) 0:00:43 → 0:05:28	(Jeu 1) Se rappeler les nécessités matérielles et réactionnelles pour un dosage entre un acide fort et une base forte	Ep_1.1	Citer les caractères de la réaction entre un acide fort et une base forte	CE	0:00:43 → 0:01:24
		Ep_1.2	Définir un monoacide	CE	0:01:24 → 0:03:08
		Ep_1.3	Enumérer les éléments du dispositif expérimental	CE	0:03:08 → 0:04:59
Thème 2 Courbe de dosage AF BF 0:05:28 → 0:14:09	(Jeu 2) Proposer l'allure de la courbe $pH=f(VB)$ et en discuter collectivement les propriétés	Ep_2.1	Proposer l'allure de la courbe $pH=f(VB)$ et en discuter collectivement ses propriétés	CE	0:04:59 → 0:14:09

## V - Traitement des données

Une fois que la structuration au niveau méso, en thèmes, jeux et organisation sociale, et le découpage à l'échelle des épisodes N-1 sont réalisés, nous procédons au traitement plus en profondeur des données notamment les analyses fines des épisodes N-1 et les jeux didactiques (jeux de niveau N). Nous commençons tout d'abord par présenter les données relatives aux professeurs P1 et P2, que nous allons analyser, et expliciter dans une étape suivante notre méthode de traitement.

### V.1 - Les données traitées

Nous rendons compte dans ce paragraphe des données traitées relatives à P1 et P2. Nous avons choisis d'analyser les jeux de trois séances à l'aune de l'avancée du savoir, en référence à notre cadre théorique et nos questions de recherche. Nous explicitons davantage les données traitées dans les paragraphes V.1.1 - et V.1.2 - .

### **V.1.1 - Les données traitées relatives au professeur P1**

Le professeur P1 planifie ses activités d'enseignement en trois séances :

- une séance de cours « Variation du pH au cours de la réaction entre un monoacide et une monobase »,
- une séance de travaux pratiques « Variation du pH d'une solution d'un monoacide fort par ajout progressif d'une solution d'une monobase forte »,
- une séance de travaux pratiques « Variation du pH d'une solution d'une monobase faible par ajout progressif d'une solution d'un monoacide fort ».

Les synopsis de deux dernières séances de TP révèlent une grande ressemblance à propos de la nature des activités réalisées (cf. Tableau 3, page 160) pour le synopsis de la séance TP1, et Tableau 1 pages 145, 146 et 147 dans l'annexe, pour le synopsis de TP2). Nous choisissons alors d'analyser, en plus de la séance de cours, uniquement la première séance de travaux pratiques TP1. Par ailleurs, nous avons collecté les diapositives de la représentation Power Point, utilisées par le professeur comme support du cours pour la séance de cours et celle de TP, et données aux élèves sous forme de photocopies (cf. pages 46 – 52 et 96 – 99 dans l'annexe).

#### **V.1.1.1 Les données relatives à la séance de cours de P1 intitulée « Variation du pH au cours de la réaction entre un monoacide et une monobase »**

Nous avons structuré la séance de cours du professeur P1 en 6 jeux :

- J1 : Rappeler les définitions de dosage et équivalence
- J2 : Indiquer les caractéristiques d'un indicateur coloré et les associer aux conséquences sur le choix d'un indicateur coloré pour un dosage.
- J3 : Identifier les éléments matériels et réactionnels nécessaires à la réalisation d'un dosage acidobasique.
- J4 : Conclure sur les caractères rapide et exothermique d'un dosage d'acide fort par une base forte à partir d'une expérience réalisée par P1.
- J5 : Conclure sur les caractères rapide, total et exothermique de la réaction entre un acide fort et une base forte à partir des données expérimentales et de la constante d'équilibre.

- J6 : Conclure sur les caractères rapide, total et exothermique de la réaction entre un acide faible et une base forte à partir des données expérimentales et de constante d'équilibre.

Nous n'analyserons pas en détail le J6. Tout d'abord, il présente des caractéristiques équivalentes à celle du J5, relatif à la conclusion sur les caractères rapide, total et exothermique de la réaction entre un acide fort et une base forte, tant sur les enjeux du savoir que de la manière de les traiter. Ensuite, les enjeux de savoir du J6 sont liés à la séance de TP2, variation du pH au cours de la réaction entre un acide faible et une base forte, que nous n'allons pas analyser.

### **V.1.1.2 Analyse de la séance de travaux pratiques TP1 intitulée « dosage d'un acide fort par une base forte » pour le professeur P1**

Nous avons structuré la séance de travaux pratiques TP1 de P1 en 8 jeux didactiques :

- J1 : Se rappeler les nécessités matérielles et réactionnelles pour un dosage entre un acide fort et une base forte.
- J2 : Proposer l'allure de la courbe  $\text{pH}=\text{f}(\text{VB})$  et en discuter collectivement les propriétés.
- J3 : Se rendre compte du mode opératoire à utiliser pour le dosage HCl par NaOH.
- J4 : Réaliser l'expérience de dosage de HCl par NaOH.
- J5 : Tracer la courbe de la variation de pH de la solution en fonction de volume de NaOH ajouté.
- J6 : Suivre l'interprétation de la courbe de dosage.
- J7 : Exploiter les données expérimentales et théoriques associées au point d'équivalence.
- J8 : Etudier l'effet de la dilution sur les courbes de dosage.

Nous nous intéressons dans nos analyses des jeux aux interactions collectives en classe entière. L'analyse de J4 est limitée à la narration didactique vu que les échanges communicationnels se font en mini-groupe de trois élèves, lors de la réalisation de l'expérience. Nous n'avons pas pu, pour des raisons techniques, collecter les données correspondant aux interactions dans les mini-groupes.

## V.1.2 - Les données traitées relatives à P2

La professeure P2 organise en deux séances de travaux pratiques l'enseignement de la variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base. Elle consacre la première séance à étudier le dosage d'un acide fort par une base forte et la deuxième séance pour étudier, conjointement, le dosage d'un acide faible par une base forte et le dosage d'une base faible par un acide fort.

Nous analysons en détail une seule séance de TP, la première intitulée « dosage d'un acide fort par une base forte ». Ce choix est pris parce que les deux séances présentent une structuration à l'échelle méso relativement semblable. Nous renvoyons le lecteur aux pages 207 – 209 dans l'annexe pour la consultation du synopsis de la séance de TP2 et le comparer au synopsis de la séance de TP1, accessible page 160

Nous avons structuré la première séance de travaux pratiques de P2 en 9 jeux didactiques :

- J1 : Se rappeler des définitions de l'acide et de la base selon les théories d'Arrhenius et Bronsted et du pH-mètre et des papiers pH comme méthodes pour déterminer le pH d'une solution.
- J2 : Se rendre compte des entités chimiques présentes dans le milieu réactionnel lors de la réaction entre HCl et NaOH à partir des équations d'ionisation de HCl et NaOH.
- J3 : Prendre connaissance de mode opératoire et des grandeurs en jeu pour le dosage HCl par NaOH.
- J4 : Réaliser l'expérience du dosage de HCl par NaOH.
- J5 : Tracer la courbe de la variation de pH de la solution en fonction de volume de NaOH ajouté.
- J6 : Suivre l'interprétation de la courbe du dosage.
- J7 : Calculer la concentration inconnue de l'acide fort et déduire la nature de la solution à l'équivalence à partir de la détermination des coordonnées du point d'équivalence.
- J8 : Réaliser que l'interprétation précédente AF BF s'applique au cas d'un dosage d'une BF par une AF.
- J9 : Percevoir l'effet de la dilution sur les courbes de dosage.

Nous avons choisi également de ne pas analyser le J4 au cours duquel les élèves réalisent en mini-groupe l'expérience. D'une part, nous nous intéressons aux interactions collectives en

classe entière. D'autre part, nous n'avons pas les données correspondant à ce qui se passe en mini-groupe. En effet, nous n'avons pas pu les obtenir pour des raisons techniques. Par ailleurs, les fiches de TP distribuées par P2 aux élèves au cours de cette séance sont disponibles dans les annexes (cf. pages 172, 173 et 174 dans l'annexe).

## **V.2 - Méthode de traitement des données**

Nous explicitons dans ce paragraphe notre méthode de traitement des données. Nous évoquons au départ les principes généraux qui nous orientent dans l'analyse des épisodes N-1 et les jeux de niveau N. Ensuite, nous présentons notre méthode d'utilisation du logiciel Transana pour réaliser une analyse de l'action. Nous terminons par une explicitation de la méthodologie sur un exemple de jeu.

### **V.2.1 - Principes généraux du traitement des données**

Cette dernière phase de traitement consiste à une analyse fine des épisodes de niveau N-1 nous permettant de décrire et caractériser le jeu (niveau N), en ayant conscience que « la description du jeu n'est pas la somme exacte des descriptions de chaque épisode, et qu'elle peut évoluer a posteriori en fonction des éléments importants dans les jeux suivants. » (Tiberghien & Venturini, p. 64, 2015). Par ailleurs, l'analyse fine (des épisodes et des jeux) est orientée par nos questions de recherche, à la fois les dynamiques méso, topo et chrono génétiques développées conjointement par l'enseignant et les élèves et les continuités/discontinuités apparaissant dans l'établissement d'une référence (raisonnablement commune) co-construite notamment, lors des transitions entre les mondes empiriques et modèles/théories, entre les différentes représentations symboliques et/ou graphiques et entre les langages (ou les savoirs) du quotidien et scientifiques.

Notre méthode d'analyse est à deux volets. Le premier est basé sur une analyse manuelle en profondeur permettant à la fois de détecter les continuités et les discontinuités dans l'avancée du savoir et aussi pour établir les liens entre les différents descripteurs de l'action et les niveaux microscopique et macroscopique lors de la co-construction d'une référence commune. Le deuxième est un volet numérique basé sur le comptage des mots clés relativement au temps à l'aide de Transana. Ce logiciel est plutôt un aide à l'analyse à travers les graphes qui peuvent révéler sur le jeu ou la séance, certaines régularités, certains parallèles

mêmes certaines oppositions. Au cours de cette analyse, des va-et-vient entre les différentes échelles temporelles, notamment les niveaux microscopiques, N-1 et N, opérés principalement à partir de la transcription, sont nécessaires pour rendre compte de la complexité de l'action didactique et assurer le suivi temporel des descripteurs de l'action.

Notons que pour ne pas alourdir le texte des résultats au chapitre suivant, nous présentons uniquement les analyses des jeux didactiques et nous renvoyons le lecteur aux annexes pour la consultation de l'analyse des épisodes de niveau N-1. Ainsi, l'analyse relative aux épisodes niveau N-1 de la séance du cours pour P1 se trouvent à partir de la page 54 dans l'annexe, celle des épisodes N-1 relatifs à la séance de TP1 pour P1 à partir de la page 102 dans l'annexe, et enfin, l'analyse des épisodes relatifs à la séance de TP1 pour P2 à partir de la page 175 dans l'annexe).

## **V.2.2 - Analyse « manuelle » des jeux et des épisodes N-1**

Nous focalisons notre analyse du jeu (et des épisodes N-1) sur trois volets, l'avancée du savoir, les échanges communicationnels et les stratégies professorales. Nous présentons dans la suite les différents descripteurs, relatifs à chaque volet, et la manière dont nous avons opérationnalisé les descripteurs. Notons que tous ces descripteurs sont utilisés de manière qualitative.

### **V.2.2.1 Définitions « opérationnelle » des descripteurs liées au volet « avancée du savoir »**

Les descripteurs sont le triplet de la TACD « chronogenèse, topogenèse et mésogenèse », la densité épistémique, dont l'appréciation est qualitative, et les champs épistémologiques.

- Chronogenèse : c'est l'avancée des éléments du savoir au cours du temps sans se préoccuper de leurs natures ni s'ils sont nouveaux ou déjà conceptualisés. Elle est :
  - rapide : si les éléments de savoirs avancent rapidement sur l'axe logique lié aux savoirs,
  - lente : si les éléments de savoirs sont structurés lentement.
- La topogenèse : c'est un descripteur traduisant qui assume la responsabilité dans l'avancée des savoirs. Elle est :
  - « côté P » : dans le cas où le professeur a la responsabilité de faire avancer les savoirs,

- « côté E » : si l'avancée des savoirs est assurée par l'élève,
- partagée : la topogénèse est mixte lors d'une co-construction entre P et E.
- La mésogénèse : traduit l'évolution du milieu suite à l'introduction des objets matériels ou conceptuels. Elle est :
  - « méso P » : lorsque cette introduction est assurée par P,
  - « méso E » : lorsque l'introduction est assurée par E.
- La densité épistémique : La densité épistémique est :
  - forte : lorsque la quantité des savoirs nouveaux par unité de temps est grande,
  - faible : lorsqu'il s'agit des savoirs déjà conceptualisés, des savoirs faire, de savoirs sur les matériels, ou lorsque la quantité de nouveaux savoirs est faible.
- Champ épistémologique : ce descripteur indique le monde auquel l'enseignant et les élèves font référence dans l'avancée du savoir : Les propos tenus relèvent :
  - Du champ des observables : lorsque ils concernent des phénomènes empiriques et les énoncés du quotidien.
  - Du champ des théories/modèles lorsque ils concernent une théorie ou un modèle en mathématiques ou en chimie.
  - D'une mise en relation entre les deux champs précédents lorsque le professeur ou l'élève établit un lien entre le champ des observables et celui des théories/modèles.

### **V.2.2.2 Opérationnalisation des descripteurs en lien au volet « stratégies professorales »**

Les descripteurs sont le quadruplet de la TACD « définition, dévolution, régulation et institutionnalisation »

- Définition : le professeur définit les règles du jeu et donne une visibilité sur les enjeux du jeu.
- Dévolution : le professeur problématisé l'enjeu et fait en sorte que les élèves s'investissent dans le jeu.
- Régulation : le professeur agit comme un « maître de jeu », intervient de manière à ce que les élèves jouent de manière plus adéquate au jeu.
- Institutionnalisation : le professeur institutionnalise les savoirs en jeu.

### **V.2.2.3 Opérationnalisation des descripteurs en lien au volet « échanges communicationnels »**

Les descripteurs sont le format, la nature du langage et l'orientation des échanges

- Format des échanges : ce descripteur précise si les interactions sont interactives ou monologiques. Le format des échanges est :
  - Interactif : lorsque le professeur échange avec les élèves.
  - Monologique : lorsque le professeur parle seul.
- Nature du langage utilisé dans les échanges : ce descripteur caractérise le type de langage prépondérant, quotidien ou scientifique. Le langage peut être :
  - quotidien : l'énoncé relève du langage courant, dans un registre d'affiliation social. Le langage quotidien étant la plus part de temps en langage naturel, nous n'avons pas pris en compte les registres sémiotiques pour ce qui concerne ce type de langage ;
  - scientifique ordinaire : l'énoncé en langage naturel relève de ceux de la communauté scientifique, il peut être écrit ou oral ;
  - scientifique symbolique : l'énoncé relevant de la communauté scientifique est exprimé à l'aide de symboles mathématiques ou chimiques,
  - Langage scientifique graphique : l'énoncé relevant de la communauté scientifique est exprimé par la représentation des courbes.
- Orientation des échanges : ce descripteur indique si les échanges sont autoritatifs ou dialogiques. Les échanges sont :
  - dialogiques : les échanges se sont développés en prenant en considération différents points de vue,
  - autoritatifs : les échanges se sont développés selon un point de vue unique, le point de vue scientifique.

### **V.2.3 - L'apport du logiciel Transana dans l'analyse**

Nous utilisons le logiciel Transana comme un outil d'aide conjoncturelle. En effet, nous ne l'utilisons pas dans toutes ses possibilités d'analyse mais comme un outil de représentation et de comptabilisation. Nous reportons les résultats d'une partie de nos analyses des épisodes N-1 dans Transana pour représenter graphiquement les modalités des descripteurs que nous avons mises à jour auparavant à partir d'une analyse « manuelle » au niveau du jeu et des



épisodes N-1, pour pouvoir « ramener » ces résultats en fin d'analyse et les exploiter pour en faire plus facilement une synthèse au niveau du jeu et ensuite au niveau des pratiques observées

Par ailleurs, l'analyse « manuelle » révèle que certains descripteurs restent stables tout au long de séances comme par exemple la mésogénèse (majoritairement sous l'emprise du professeur), la topogénèse (majoritairement côté professeur), la dévolution et la régulation (inopérantes dans l'action de P1 et P2) et la définition et l'institutionnalisation (peu perçues dans l'action de P1 et P2). Nous ne reportons donc dans Transana que l'analyse correspondante aux descripteurs en évolution, liés aux deux volets « avancée du savoir » et « échanges communicationnels », à savoir chronogénèse, densité épistémique, champ épistémologique, format des échanges, nature du langage et orientation de l'échange.

Aussi, dans les annexes nous exposons après l'analyse « manuelle » de chaque épisode deux graphes de Transana caractérisant d'une part, le savoir et notamment son avancée et d'autre part, un autre graphe qui caractérise les échanges communicationnels. Nous rajouterons sur ces deux graphes, à l'aide d'un logiciel de traitement d'images les continuités relevées dans l'analyse « manuelle », par le symbole, ©, et les discontinuités (ruptures) quand elles apparaissent, par le symbole<sup>52</sup> ®.

### **V.2.3.1 Principe de fonctionnement de Transana**

C'est un logiciel de traitement numérique des fichiers audio ou vidéo, développé par l'Université de Wisconsin (USA). Le principe de fonctionnement du logiciel Transana est de pouvoir découper une vidéo en « clips », des « moments » de la vidéo que le chercheur choisit auquel on associe des mots clés qui indexent et caractérisent ce moment. (Venturini & Tiberghien, 2012). Les mots clés sont les différentes modalités des descripteurs précédents évoluant au cours du temps. Notons que dans notre étude, les descripteurs dont la modalité est constante ne sont pas représentés.

---

<sup>52</sup> En fait le logiciel de traitement d'image ne donne pas beaucoup de choix comme outils de formes personnalisées.

## V.2.4 - Illustration du traitement des données

Nous illustrons la méthodologie dans ce qui suit, à partir de l'exemple d'un épisode de niveau N-1 et du jeu correspondant. Nous commençons par situer l'épisode. Ensuite, nous exposons la transcription, la narration didactique et notre démarche pour l'analyse de l'épisode de niveau N-1 et nous terminons par exposer un résumé de l'analyse comportant deux graphes, traduisant l'évolution des descripteurs liés à l'avancée du savoir et ceux liés à la communication, et un tableau dans lequel nous avons collectés les stratégies professorales et la topogenèse et mésogenèse au cours de cet épisode.

### V.2.4.1 Présentation du jeu

Pour expliciter notre méthodologie de traitement de données, nous choisissons le jeu 7, relatif à la séance de TP du professeur P2, intitulé « calculer la concentration inconnue de l'acide fort et déduire la nature de la solution à l'équivalence à partir de la détermination des coordonnées du point d'équivalence ».

Nous avons structuré ce jeu, d'une durée de 12 min 06, en quatre épisodes dont les intitulés et les durées sont comme suit :

- Episode 7.1 : Prendre connaissance de la procédure de détermination de la concentration de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence, d'une durée de 2 min 11.
- Episode 7.2 : Déterminer le volume de la base  $V_{BE}$  à partir de l'identification du point d'équivalence sur la courbe  $pH=f(V_B)$  à l'aide de la méthode des tangentes, d'une durée de 5 min 54
- Episode 7.3 : Formaliser le calcul de la concentration inconnue de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence déterminées sur sa courbe, d'une durée de 2 min 40
- Episode 7.4 : Se rendre compte de la neutralité de la solution à l'équivalence, d'une durée de 0 min 47

Thème 6 Détermination des coordonnées du point d'équivalence et conséquences sur le calcul de la concentration inconnue de l'acide et la nature de la solution à l'équivalence 1:00:33 → 1:12:06	(Jeu 7) Calculer la concentration inconnue de l'acide fort et déduire la nature de la solution à l'équivalence à partir de la détermination des coordonnées du point d'équivalence	Ep_7.1	Prendre connaissance de la procédure de détermination de la concentration de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence	CE	1:00:33 → 1:02:44
		Ep_7.2	Déterminer le volume de la base $V_{BE}$ à partir de l'identification du point d'équivalence sur la courbe $pH=f(V_E)$ à l'aide de la méthode des tangentes	Indi + CE	1:02:44 → 1:08:38
		Ep_7.3	Formaliser le calcul de la concentration inconnue de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence déterminées sur sa courbe	Indi + CE	1:08:38 → 1:11:18
		Ep_7.4	Se rendre compte de la neutralité de la solution à l'équivalence	CE	1:11:19 → 1:12:06

Tableau 1: extrait de synopsis de la séance de TP du P2 relatif au jeu 7

Nous nous limitons notre explicitation à l'épisode 7.3. Ce choix n'est pas arbitraire. En effet, au cours de cet épisode figurent des continuités et des ruptures de différentes natures.

### V.2.4.2 Analyse d'un épisode de niveau N-1 : épisode 7.3 de P2

#### V.2.4.2.1 Transcription de l'épisode 7.3 « Formaliser le calcul de la concentration inconnue de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence déterminées sur sa courbe »

Nous proposons maintenant la transcription relative à l'épisode 7.3 relatif à la séance de TP1 pour la professeure P2.

163. P2 : bon la valeur que vous avez vous la marquez et vous l'utilisez pour chercher la concentration  $C_A$  d'accord (1:08:48) donc pratiquement
164. E1 : 28mL
165. E2 : 26,5 ml
166. P2 : 26,5mL (1:08:58) donc je vais l'utiliser pour calculer  $C_A$  donc 0,1 fois 26,5 divisé par 20mL (1:09:08) vous calculez la valeur en mol litre moins un hein d'accord vous utilisez la valeur que vous avez trouvé donc combien (1:09:31)
167. E : 0,1325(1:09:32)
168. P2 : 0,13 mol.l<sup>-1</sup> donc à peu près hein (1:09:44)
169. E : madame le pH (1:09:45)
170. P2 : pH alors si on va prendre la préparation (1:09:50) hein alors c'est marquée zéro un donc en principe on va trouver là (en pointant sur VBE) 20mL.. les solutions ne sont pas bien préparées (1:10:00)
171. E : le pH de la solution égal à 7 ?

172. P2 : ah c'est pas le pH qu'on cherche (1:10:05) on cherche le volume de la base à l'équivalence (1:10:09)

173. E : j'ai trouvé 0,1(1:10:10)

174. P2 : combien

175. E : 0,1 (1:10:12)

176. P2 : quel est le chiffre après le un

177. E : quatre

178. P2 : donc 0,14 (1:10:20) et pas zéro un ok regardez.. on continue

*La professeure lit de la fiche*

179. P2 : relevez les coordonnées du point d'équivalence (1:10 : 27) E ... et là on a du virage au vert n'oubliez pas que vous n'avez pas remarqué le virage au vert vous avez passé directement du jaune au bleu donc E c'est au virage vert de l'indicateur coloré alors  $V_E$  égale vous marqué la valeur que vous avez là le pH est égale à combien (1:10:45)

180. E : 7 (1:10:46)

181. P2 : 7(1:10:46)

182. E1 : on nous a pas donné ...

183. E2 : oui madame six virgule neuf (1:10:55)

184. P2 : oui dans sept millilitres (1:10:55) 7 pardon le pH est égale à 7 pour un volume  $V$  égale je ne sais pas combien ce que vous avez 26 et demi ici alors on vous dit(1:11:03)

*La professeure lit de la deuxième fiche*

185. P2 : sachant qu'au point d'équivalence (1:11:05) on a la relation (elle regarde sa montre)  $C_A V_A$  égale à  $C_B V_{BE}$  calculez la concentration  $C_A$  de la solution d'acide on l'a calculé hein ça c'est pour le calcul d'accord

186. E : oui (1:11:16)

#### **V.2.4.2.2 Narration didactique de l'épisode 7.3**

Nous commençons par une narration didactique (en italique) rendant compte de l'avancée du savoir au cours de l'épisode N-1, ensuite nous proposons l'évolution temporelle des descripteurs, proposée par Transana, avant d'entamer l'analyse didactique fine des épisodes de niveau N-1.

*Après que les élèves aient déterminé le point d'équivalence et la valeur de  $V_{BE}$ , à partir de la méthode des tangentes, la professeure amène, à partir d'une valeur de  $V_{BE}$  déterminée par un*

élève, le calcul de la concentration inconnue de l'acide. Ensuite, à partir des informations introduites dans la fiche de TP, qu'elle prélève elle-même, elle amène les élèves à déterminer la valeur du pH au point d'équivalence.

### V.2.4.2.3 Analyse didactique de l'épisode 7.3

La chronogenèse avance rapidement au cours de cet épisode à la vitesse de la lecture de la fiche (tdp 179 et 185) et la détermination de la concentration inconnue de l'acide. Cette avancée est représentée à l'aide de Transana ligne 1. Figure 4 pages 151. Cependant, la densité épistémique est faible au début, des tours de parole 163 à 166 jusqu'à 1:08:58 lorsque les élèves, restant dans le champ empirique, citent les valeurs de  $V_{BE}$  qu'ils trouvent individuellement à partir de leurs graphes  $pH = f(V_B)$ .

« 163. P2 : bon la valeur que vous avez vous la marquez et vous l'utilisez pour chercher la concentration  $C_A$  d'accord (1:08:48) donc pratiquement

164. E1 : 28mL

165. E2 : 26,5 ml

166. P2 : 26,5mL (1:08:58) »

Ensuite la densité épistémique augmente : l'enjeu est de déterminer la concentration de l'acide chlorhydrique de la solution titrante en appliquant des modèles en chimie et en mathématiques (arrondissement des valeurs) jusqu'à 1:10:20 des tdp 167 à 178). La professeure met alors en relation l'observable « couleur de l'indicateur coloré » avec le champ des théories modèles (1:10:50) pour expliquer le virage de l'indicateur au passage par le point d'équivalence (tdp 179 – tdp 183) (cf. ligne 5 dans la Figure 4 page 151). Dans ces derniers tours de parole, la densité épistémique est faible puisque les informations sont issues de la fiche de TP d'une part, et d'autre part il s'agit d'un rappel de la mémoire didactique. L'évolution au cours du temps de la densité épistémique est représentée lignes 3 et 4 de la Figure 4 page 151).

Les échanges communicationnels dans cet épisode sont interactifs et autoritatifs. Ils se font selon le type IRE (Initiation – Réponses – Evaluation), ce que l'on voit par exemple dans les échanges suivants :

« P2 : 26,5mL (1:08:58) donc je vais l'utiliser pour calculer  $C_A$  donc 0,1 fois 26,5 divisé par 20mL (1:09:08) vous calculez la valeur en mol litre moins un hein d'accord vous utilisez la valeur que vous avez trouvé donc combien (1:09:31)

E : 0,1325 (1:09:32)

P2 : 0,13mol.l<sup>-1</sup> donc à peu près hein (1:09:44) »

Dans ces tours de paroles la professeure initie les interactions « vous utilisez la valeur que vous avez trouvé donc combien », les élèves répondent « E : 0,1325 » et elle évalue « P2 : 0,13mol.l<sup>-1</sup> donc à peu près hein ». Ce type d'interactions se répète dans les tours de paroles 163, 166, 168, 176, 178, 179, 180 et la professeure est toujours à l'origine de chaque échange. La représentation de l'évolution de ces descripteurs se trouve lignes 1 et 3 dans la Figure 5 page 151).

Côté topogénèse, on regarde qui a la responsabilité de faire avancer le savoir. Elle est « côté P », puisqu'elle est toujours responsable de l'initiation des interactions (tdp 163, 166 et 179) c'est elle qui valide (tdp 166, 168, 178 et 184) et oriente les interactions (tdp 163, 166, 170, 172, 179, 184 et 185). On voit que La professeure assume la totale responsabilité dans l'avancée du savoir nous indiquons cette topogénèse dans le tableau récapitulatif (cf. ligne 3 colonne 2 dans Tableau 2 page 151).

Pour ce qui est de la mésogénèse, on examine la contribution des élèves et de la professeure dans l'évolution du milieu. Bien que le travail des élèves soit individuel dans une partie de cet épisode, il est réduit au minimum. Leurs contributions se limitent à citer les valeurs de  $V_{BE}$  et de  $pH_E$ , qu'ils déterminent à partir de leurs graphes (tdp 164, 165, 180 183), et calculer la concentration inconnue de l'acide (tdp 167, 173). La professeure introduit dans le milieu le calcul de la concentration (tdp 166) et rectifie la valeur de la concentration (tdp 168, 176 et 178). C'est la contribution de la professeure qui est significative dans l'évolution du milieu. Dans le tableau récapitulatif, nous avons résumé l'évolution de la mésogénèse au cours de cet épisode (cf. ligne 3 colonne 3 dans Tableau 2 page 151).

Par ailleurs, l'épisode n'est pas défini bien que la professeure donne une visibilité sur les enjeux<sup>53</sup> à la fin de l'épisode lorsqu'elle lit de la fiche de TP « 185. P2 : sachant qu'au point

---

<sup>53</sup> Théoriquement, on définit le jeu, notamment, par son enjeu et les épisodes de niveau N-1 à partir de modification mineure dans l'enjeu et/ou de l'organisation sociale. Ici, en général en dehors du travail ponctuel en groupes, l'organisation sociale ne change pas, donc c'est en général l'évolution locale de l'enjeu qui permet de structurer en épisode. Donc cela légitime l'idée d'examiner l'enjeu d'un épisode.

d'équivalence (1:11:05) on a la relation (elle regarde sa montre)  $C_{AV_A}$  égale à  $C_{BV_{BE}}$  ... **calculez la concentration  $C_A$  de la solution d'acide on l'a calculé hein** ça c'est pour le calcul d'accord ». La professeure ramène alors dans le milieu les informations, relatives à la recherche de la concentration inconnue de l'acide, déjà introduites dans la fiche de TP.

De plus, lorsque la professeure obtient la bonne réponse elle la valide (tdp 168). Mais lorsque la réponse de l'élève n'est pas à sa convenance, elle donne la réponse exacte sans procéder à aucune régulation (tdp 178) :

« 166. P2 : .... vous utilisez la valeur que vous avez trouvé donc combien (1:09:31)

167. E : 0,1325 (1:09:32)

168. P2 : 0,13 mol.l<sup>-1</sup> donc à peu près hein (1:09:44) »

Ou bien :

« 174. P2 : combien

175. E : 0,1 (1:10:12)

176. P2 : quel est le chiffre après le un

177. E : quatre

178. P2 : donc 0,14 (1:10:20) et pas zéro un ok regardez.. on continue »

Par ailleurs, on ne voit ni une problématisation des savoirs ni une institutionnalisation clôturant l'épisode. La dévolution, la régulation et l'institutionnalisation sont alors absentes (cf. ligne 3 colonne 5, 6 et 7 dans Tableau 2 page 151).

Par rapport aux continuités et des discontinuités, nous avons cherché les moments où la professeure établit (ou n'établit pas) des liens entre le champ des observables et le champ des théories/modèles et aussi entre les différents niveaux macroscopiques, microscopiques et symboliques. Par ailleurs, Nous remarquons que la professeure n'établit aucun lien entre l'arrondissement des résultats obtenus par le calcul, de la concentration inconnue de l'acide, et le nombre de chiffres significatifs (cf. tdp 168 et 178 au-dessus). Les élèves ont à leur charge de choisir le nombre de chiffres significatifs pour écrire correctement la valeur de la concentration. Nous pointons alors deux discontinuités (deux ruptures), que nous qualifions de numérique, entre la valeur fournie par les élèves et la valeur retenue par la professeure qui prend en compte la question des chiffres significatifs comme c'est indiqué sur le l'échelle temporelle (cf. Figure 4) au temps 1:09:44 pour la première rupture (tdp 168) et en 1:10:20 pour la deuxième rupture (tdp 178).

En plus, dans le tour de parole 179 « P2 : relevez les coordonnées du point d'équivalence (1:10 : 27) E ... et là on a du **virage au vert** n'oubliez pas que vous n'avez pas remarqué le virage au vert, **vous avez passé directement du jaune au bleu..** donc **E c'est au virage vert** de l'indicateur coloré alors  $V_E$  égale vous marqué la valeur que vous avez là, le pH est égale à combien ? (1:10:45) » la professeure assure une continuité entre le champ empirique et le champ des théories et modèles. En effet, elle indique le « virage au vert » « vous avez passé directement du jaune au bleu » du BBT qu'elle associe à E (point d'équivalence). C'est ce qui indique sur l'échelle temporelle du graphe (cf. Figure 4) en une continuité (en vert).

Il reste à examiner les langages utilisés pour faire avancer les savoirs, langage quotidien, scientifique ordinaire, scientifique graphique, scientifique symbolique... Nous reportons ensuite nos analyses dans Transana qui nous donne une évolution temporelle de ces mots clés (cf. lignes 5, 6 et 7 dans Figure 5).

Par ailleurs, l'enregistrement vidéo montre que la professeure assure gestuellement une continuité entre la description délivrée en langage naturel, expliquant la différence perçue entre la valeur de la concentration trouvée par le calcul et celle affichée sur la solution de HCl préparée, et l'allure de la courbe pour localiser  $V_{BE}$  à 20mL sur la courbe (tdp 170). C'est ce que le graphique 2 indique à la minute 1:09 où nous marquons une continuité gestuelle.

#### V.2.4.2.4 Résumé de l'analyse de l'épisode 7.3

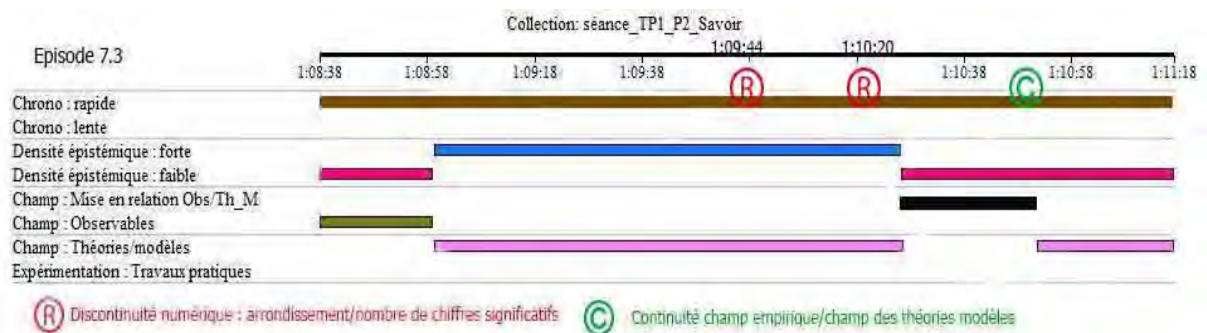


Figure 4: évolution temporelle des descripteurs liés à l'avancée du savoir dans l'épisode 7.3 de la séance de TP1 pour P2

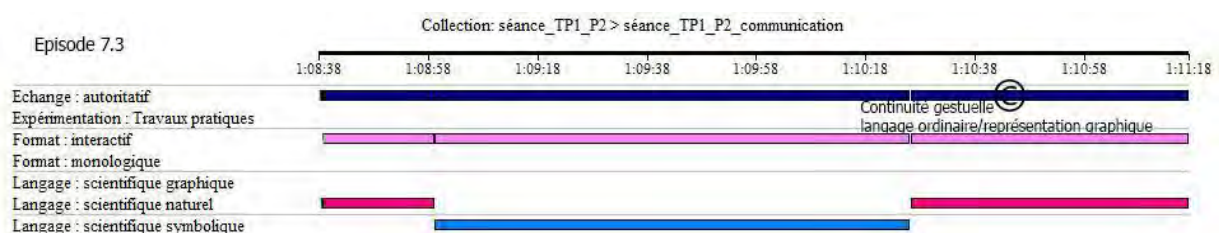


Figure 5: évolution temporelle des descripteurs liés à la communication dans l'épisode 7.3 de la séance de TP1 pour P2



Episode 7.3	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	institutionnalisation
Côté P	Méso P	Absente	Absente	Absente	Absente	

Tableau 2: tableau récapitulatif de l'état des descripteurs relatifs à l'épisode 7.3 pour P2

### V.2.4.3 Analyse du jeu de niveau N (jeu 7)

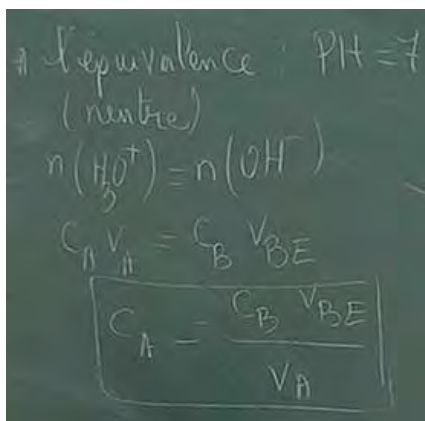
Nous nous prenons en compte les analyses des différents épisodes sans toutefois faire la somme des analyses des épisodes N-1 pour obtenir celle du jeu de niveau N. Pour ne pas alourdir cette illustration de la méthodologie, nous focalisons notre analyse sur l'évolution tout le long du jeu 7.TP1.P2 de la densité épistémique.

Nous commençons par rappeler ce que nous avons dit sur la densité épistémique dans les épisodes 7.1, 7.2, 7.3 et 7.4 en vue de caractériser ce descripteur pour le jeu 7.

Dans l'épisode 7.1, la densité épistémique est faible au départ de (1:00:34) jusqu'au (1:01:42) (cf. tdp 124 – 134 page 164 dans l'annexe). En effet, dans ces tours de paroles, la chronogénèse avance rapidement au début à la vitesse de la lecture de la fiche et ensuite en utilisant la mémoire didactique. La professeure s'appuie sur la réponse de l'élève pour procéder à une formulation, selon un monologue épistémiquement dense, de l'expression de la concentration inconnue de l'acide en fonction de  $V_A$ ,  $C_B$  et  $V_{BE}$  comme l'indique le passage suivant (cf. tdp 135 – 136\_1 pages 164 et 165 dans l'annexe) :

« E : CA concentration de l'acide eeehhh ah nombre de mole d'acide égale au nombre de mole de la base (1:01:55)

P2 : (la professeure écrit sur le tableau en parlant) nombre de mole des ions  $H_3O^+$  qui est égale au nombre de moles des ions  $OH^-$  (1:02:04) et  $H_3O^+$  sont importés par l'acide par  $OH^-$  sont importés par la base et donc ça ça vous donne le  $C_A V_A$  est égale  $C_B V_{BE}$  donc si je cherche la concentration de l'acide donc  $C_A$  égal à  $C_B V_{BE}$  sur  $V_A$  (1:02:25)



Équation 1 : expression de  $C_A$ , concentration inconnue de l'acide

alors vous rappelez de début de la séance puisque je vais avoir trois connues donc je veux déterminer l'inconnue donc la concentration de la base on a dit c'est zéro un mol litre moins un le volume  $V_A$  on a pris 20mL donc il nous reste à déterminer le  $V_{BE}$  voilà (1:02:44).. »

Nous reportons cette analyse manuelle, avec les références temporelles correspondantes au début et à la fin de la force de la densité épistémique, à Transana. Celui-ci nous donne la durée qu'occupe chaque type (densité faible ou forte) et à l'aide d'Excel nous obtenons le taux de répartition de chaque mot clé dans l'épisode (cf. Figure 6).

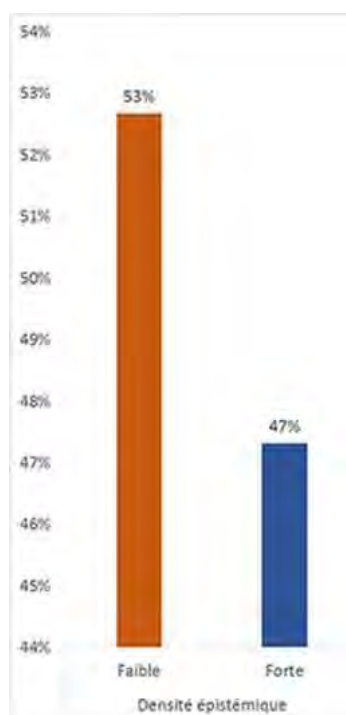


Figure 6: taux de répartition des mots clés relatifs à la densité épistémique dans l'épisode 7.1 de P2

Dans l'épisode 7.2, la professeure ramène dans le milieu, à partir de sa lecture, des éléments concernant l'application de la méthode des tangentes et l'identification du point d'équivalence. L'élève expose ses propres valeurs des coordonnées du point d'équivalence et la densité épistémique au cours de cet épisode est faible. Toutefois la densité épistémique est forte juste au début lorsqu'il s'agit de connaître la méthode de la détermination de  $V_{BE}$  de tdp 136\_2 (1:02:44) jusqu'à tdp 138 (1:03:15).

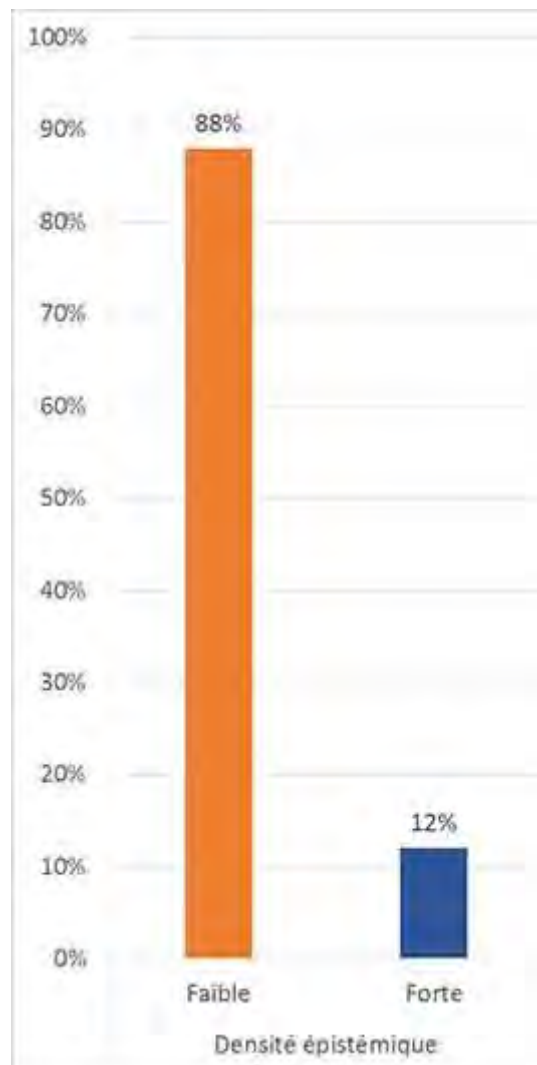


Figure 7: taux de répartition des mots clés relatifs à la densité épistémique dans l'épisode 7.2 de P2

Dans l'épisode 7.3, la densité épistémique est faible au début jusqu'à 1:08:58 lorsque les élèves citent leurs valeurs de  $V_{BE}$  qu'ils trouvent individuellement. Ensuite elle augmente jusqu'au (1:10:20) ; l'enjeu étant de déterminer la concentration de l'acide chlorhydrique de la solution titrante et de donner le résultat avec le nombre de chiffres significatifs

correspondants. Enfin, elle devient faible ; les informations sont issues de la fiche de TP ou de la mémoire didactique.

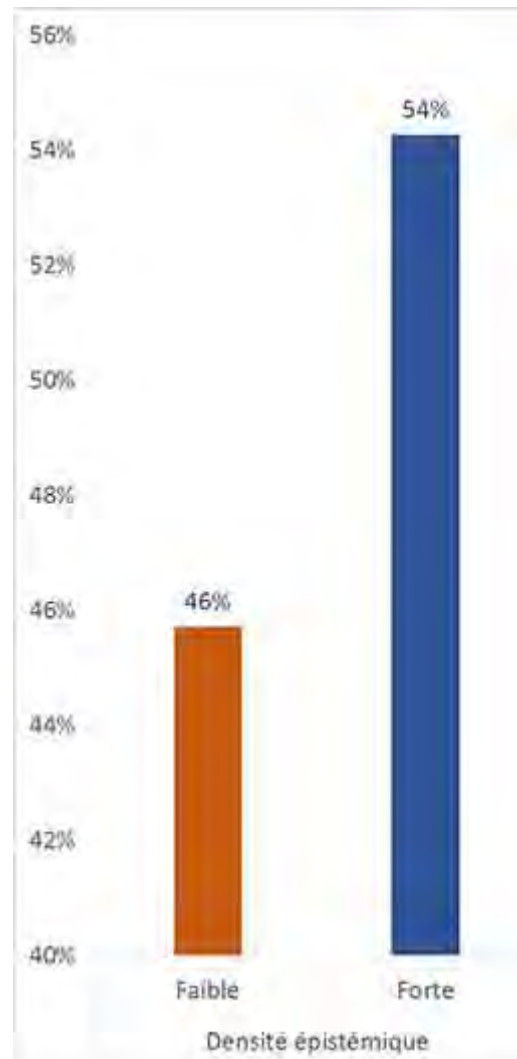


Figure 8: taux de répartition des mots clés relatifs à la densité épistémique dans l'épisode 7.3 de P2

Dans l'épisode 7.4, la densité épistémique est forte, il s'agit d'écrire l'équation de la réaction du dosage et d'identifier la nature de la solution à l'équivalence (cf. Figure 9).

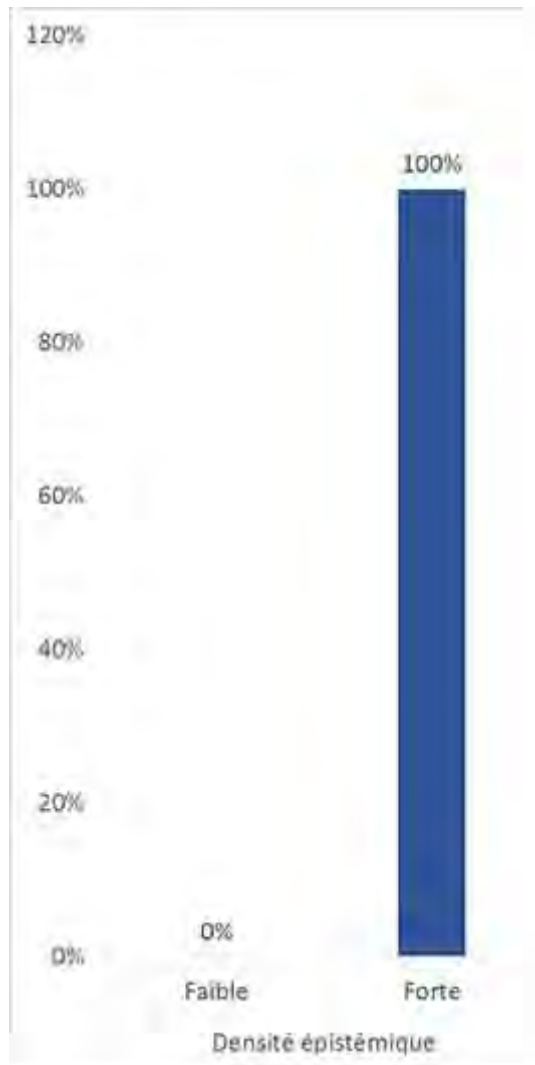


Figure 9: taux de répartition des mots clés relatifs à la densité épistémique dans l'épisode 7.4 de P2

A partir des analyses précédentes et des figures d'Excel correspondantes nous pouvons caractériser la densité épistémique tout le long du jeu 7.TP1.P2. Le taux de répartition pour la densité épistémique faible est de 65% de la durée totale (cf. Figure 10). Nous pouvons avancer que la densité épistémique est faible tout le long du jeu 7.TP1.P2.

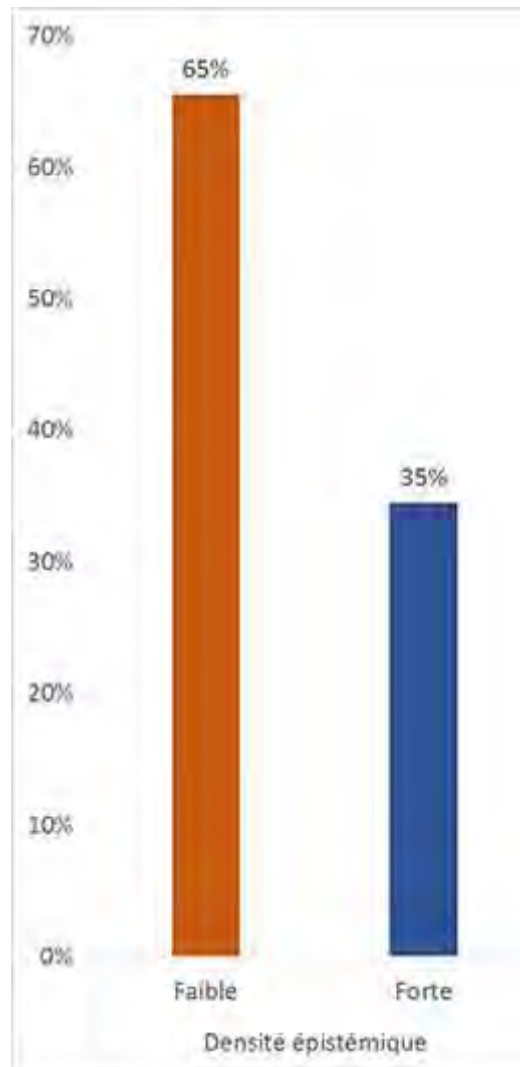
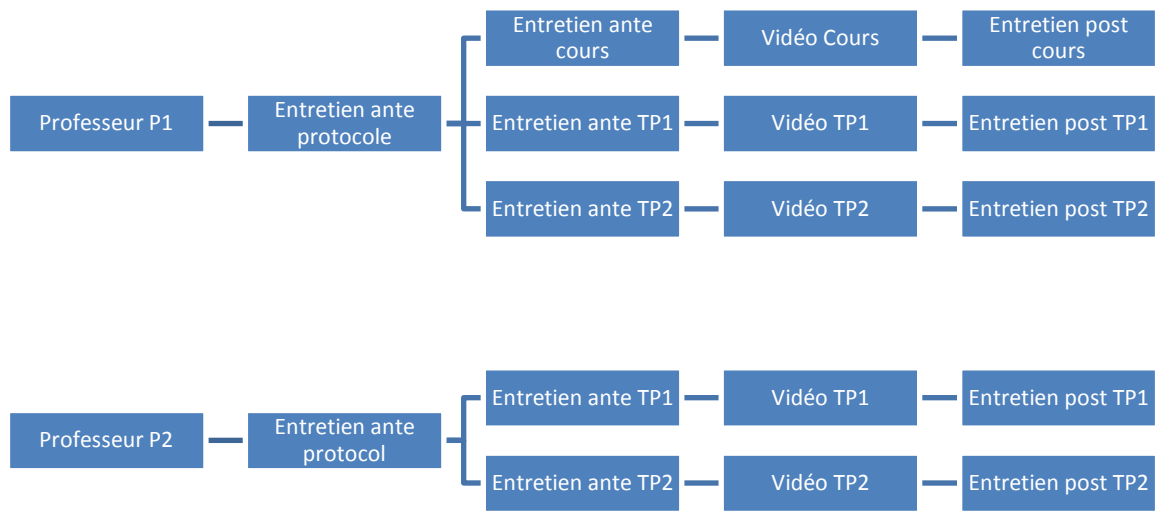


Figure 10: taux de répartition des mots clés relatifs à la densité épistémique dans le jeu 7.TP1.P2 de P2

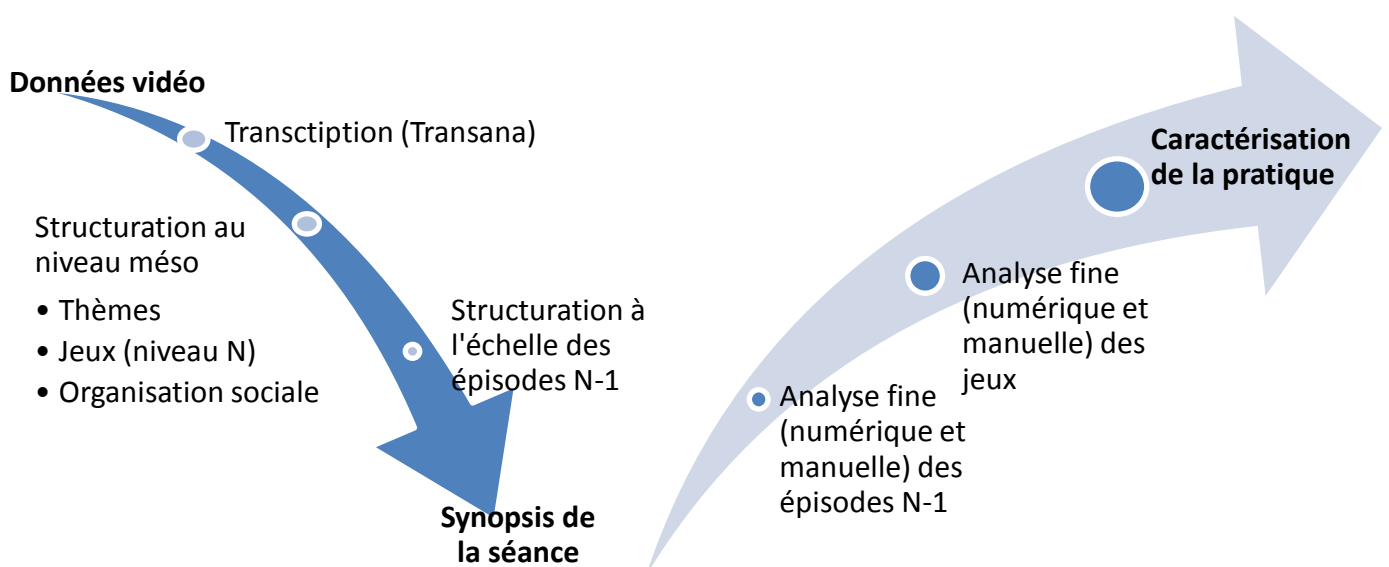
## VI - Résumé de la méthodologie

Nous synthétisons, par les organigrammes ci-dessous, l'ensemble de la méthodologie adoptée dans cette étude.

### VI.1 - Données analysées



### VI.2 - Traitement des données



## Chapitre 5 - Résultats et discussion

Nous rendons compte dans ce chapitre des résultats de notre traitement des données empiriques. Il s'agit d'une analyse systématique, de deux séances pour le professeur P1 et une séance pour le professeur P2, nous permettant de proposer les caractéristiques des pratiques observées de deux enseignants et de relever les éléments génériques et spécifiques de leurs actions. Nous essayons ensuite de comprendre ces pratiques observées et ceci en inférant les déterminants de l'action de chacun de deux enseignants. Nous concluons par une discussion où nous procédons à une approche réflexive sur notre travail.

### I - Résultats

Nous avons choisi d'analyser les jeux de trois séances à l'aune de l'avancée du savoir, en référence à notre cadre théorique et nos questions de recherche. Nous commençons au cours de ces analyses, par une narration didactique (en italique) rendant compte de l'avancée du savoir au cours du jeu, ensuite nous procédons à une analyse didactique du jeu. Pour chaque professeur, nous présentons le synopsis de chaque séance, l'analyse de la majorité de jeux didactiques, et nous décrivons les caractéristiques des pratiques de chacun de deux professeurs. Une comparaison entre les deux enseignants, d'abord générale puis à travers deux jeux, permettant de décrire ce qui se révèle générique et spécifique dans leurs pratiques clôture cette partie.

Notons que nous avons commencé par l'analyse fine des épisodes de niveau N-1 ; nous renvoyons le lecteur à l'annexe pour une consultation de l'analyse de ces épisodes relatifs à la séance du cours pour P1 (cf. pages 54 – 71 dans l'annexe), à la séance de TP1 pour P1 (cf. pages 102 – 120 dans l'annexe) et à la séance de TP1 pour P2 (cf. pages 175 – 183 dans l'annexe). L'analyse des épisodes de niveau N-1 nous permet de décrire et caractériser le jeu (niveau N) en étant conscient que « la description du jeu n'est pas la somme exacte des descriptions de chaque épisode, et qu'elle peut évoluer a posteriori en fonction des éléments importants dans les jeux suivants » (Tiberghien & Venturini, p. 64, 2015). Enfin, les diapositives de la présentation Power Point, utilisées par le professeur P1 comme support du cours et distribuées aux élèves sous forme de photocopies à la fin de la séance, et les fiches de TP,



distribuées par P2 aux élèves au cours de la séance, sont disponibles dans l'annexe (cf. pages 96 – 99 pour les diapositives et pages 96 – 99 pour les fiches).

## **I.1 - Analyse de l'action conjointe pour le professeur P1**

Le professeur P1 planifie ses activités d'enseignement en une séance de cours et deux séances de travaux pratiques (TP). Nous avons choisi d'analyser la séance de cours et la première séance de TP. En effet, les synopsis de deux séances de TP révèlent une grande ressemblance à propos de la nature des activités réalisées (cf. Tableau 9 p. 191 et dans l'annexe, tableau 1 page 145 pour une comparaison).

### **I.1.1 - Analyse de la séance de cours intitulée « Variation du pH au cours de la réaction entre un monoacide et une monobase » pour le professeur P1**

Nous avons structuré la séance de cours du professeur P1 en 6 jeux. Nous n'analysons pas en détail le jeu 6 « Conclure sur les caractères rapide, total et exothermique de la réaction entre un acide faible et une base forte à partir des données expérimentales et de constante d'équilibre ». En effet, d'une part, il présente des caractéristiques équivalentes à celle du jeu 5, relatif à la conclusion sur les caractères rapide, total et exothermique de la réaction entre un acide fort et une base forte, tant sur les enjeux du savoir que de la manière de les traiter. D'autre part, les enjeux du savoir du jeu 6 concernent la séance de TP2 « variation du pH au cours de la réaction entre un acide faible et une base forte » que nous n'allons pas analyser (cf. page 145 dans l'annexe pour une consultation du synopsis de la séance de TP2 de P1).

#### **I.1.1.1 Synopsis de la séance de cours pour le professeur P1**

Nous commençons par présenter le synopsis de la séance structurée en thèmes, jeux didactiques, épisodes d'échelle N-1 et l'organisation sociale. Comme indiqué dans la méthodologie, nous avons choisi une première structuration au niveau méso (niveau N) en thèmes, en jeux didactiques et en organisation sociale et une deuxième structuration au niveau N-1 appelée « sous-jeux » ou « épisode N-1 ». Nous remarquons à cette occasion une stabilité dans l'organisation sociale la plupart du temps en « classe entière ». Par ailleurs, la structuration en thèmes montre une prépondérance du thème « Caractère total de la réaction Acide fort et base forte » qui occupe lui seul une durée d'à peu près 25 minutes.

Thèmes	Jeux didactiques	Episodes (N-1)		Organisation sociale	Temps
		N°	Intitulés		
Thème 1 Dosage acidobasique et équivalence 0:00:10 → 0:12:50	(Jeu 1) Rappeler les définitions de dosage et équivalence	Ep_1.1	Identifier le caractère acide de la vitamine C à partir de la lecture de la notice par P1	CE	0:00:10 → 0:02:35
		Ep_1.2	Connaitre l'intérêt d'un dosage acidobasique pour déterminer la quantité d'acide dans un comprimé et identifier sa force	CE	0:02:35 → 0:04:40
		Ep_1.3	Définir l'équivalence à partir d'un document projeté	CE	0:04:40 → 0:12:48
Thème 2 Les indicateurs colorés 0:12:50 → 0:29:06	(Jeu 2) Indiquer les caractéristiques d'un indicateur coloré et les associer aux conséquences sur le choix d'un indicateur coloré pour un dosage	Ep_2.1	Se rendre compte que l'IC est un couple acide base dont la couleur de la forme acide est différente de celle de la forme basique	CE	0:12:48 → 0:15:13
		Ep_2.2	Définir le couple acide base conjuguée de l'indicateur coloré à partir de l'équation formelle associée au couple $HInd/Ind^-$	CE	0:15:13 → 0:19:01
		Ep_2.3	Définir la notion de la « zone de virage » de l'IC	CE	0:19:01 → 0:23:13
		Ep_2.4	Connaitre la règle pour choisir l'indicateur coloré convenable pour un dosage acido-basique	CE	0:23:13 → 0:27:15
		Fin Ep_2.3	Définir la notion de la « zone de virage » de l'IC	CE	0:27:15 → 0:29:06
Thème 3 Dosage acidobasique 0:29:06 → 0:34:55	(Jeu 3) Identifier les éléments matériels et réactionnels nécessaires à la réalisation d'un dosage acidobasique	Ep_3.1	Identifier les éléments du dispositif expérimental nécessaire pour le dosage à partir d'une image projetée	CE	0:29:06 → 0:30:46
		Ep_3.2	Prendre connaissance des caractères rapide et total de la réaction du dosage	CE	0:30:46 → 0:34:32
Thème 4 Caractères rapide et exothermique de la réaction entre un	(Jeu 4) Conclure sur les caractères rapide et exothermique d'un dosage d'acide fort par une	Ep_4.1	Identifier les solutions pour un dosage acide fort par une base forte	CE	0:34:33 → 0:36:49
		Ep_4.2	Conclure que la réaction du dosage est rapide à partir du virage instantané du BBT	CE	0:36:49 → 0:40:15

Acide fort et une base forte 0:34:55 → 0:45:00	base forte à partir d'une expérience réalisée par P1	Ep_4.3	Conclure que la réaction du dosage est exothermique à partir de l'augmentation de la température	CE	0:40:15 → 0:45:01
Thème 5 Caractère total de la réaction Acide fort et base forte 0:45:00 → 1:09:06	(Jeu 5) Conclure sur les caractères rapide, total et exothermique de la réaction entre un acide fort et une base forte à partir des données expérimentales et de la constante d'équilibre.	Ep_5.1	Induire le caractère rapide de dosage acide fort base forte par colorimétrie	CE	0:45:01 → 0:49:49
		Ep_5.2	Connaitre la procédure d'étalonnage d'un pH-mètre à partir de la démonstration de P1	CE	0:49:49 → 0:57:34
		Ep_5.3	Exploiter la valeur donnée par pH-métrie pour montrer le caractère total de la réaction ?	CE	0:57:34 → 1:06:29
		Ep_5.4	Retrouver le caractère total de la réaction à partir de la valeur de Ke (produit ionique) ?	CE	1:06:29 → 1:09:10
Thème 6 Dosage d'un acide faible par une base forte 1:09:06 → 1:32 :24	(Jeu 6) Conclure sur les caractères rapide, total et exothermique de la réaction entre un acide faible et une base forte à partir des données expérimentales et de constante d'équilibre.	Ep_6.1	Induire le caractère rapide de dosage acide faible base forte par colorimétrie	CE	1:09:10 → 1:13:28
		Ep_6.2	Conclure que la réaction du dosage est exothermique à partir de l'augmentation de la température		1:13:28 → 1:15:00
		Ep_6.3	Exploiter dans le tableau descriptif la valeur donnée par pH-métrie pour montrer le caractère total de la réaction acide faible base forte ?	CE	1:15:00 → 1:28:44
		Ep_6.4	Retrouver le caractère total de la réaction entre CH <sub>3</sub> COOH et NaOH à partir de la valeur de la constante d'équilibre	CE	1:28:44 → 1:32:24

Tableau 3: synopsis de la séance de cours pour P1

### **I.1.1.2 Analyse de jeux didactiques de la séance du cours pour le professeur P1**

Nous proposons dans la suite une analyse didactique des jeux J1, J2, J3, J4 et J5 relatifs à la séance de cours du professeur P1. Notons que l'analyse didactique complète des sous – jeux ou épisodes N-1, relatifs à chaque jeu, se trouve en annexe (cf. pages 54 – 71 dans l'annexe). Nous étayons nos assertions dans la rédaction par de courts extraits caractéristiques et très souvent nous renvoyons le lecteur à d'autres tours de parole dans les transcriptions rapportées en annexe qui constituent des éléments supplémentaires supportant nos propos.

#### **I.1.1.2.1 Analyse du Jeu 1 : « Rappeler les définitions de dosage et équivalence »**

##### ***I.1.1.2.1.1 Narration didactique***

*Par un jeu de questions fermées/réponses/évaluation en acceptant les réponses justes et en corrigeant les réponses fausses, le professeur indique aux élèves que la vitamine C500 contient 500mg d'acide ascorbique ce qu'un dosage acide base peut confirmer. Par le même procédé, il ajoute que le suivi pH-métrique de ce dosage permettra de déterminer le caractère fort ou faible de cet acide. Ensuite, en combinant le même format d'interaction avec des monologues d'explicitation, il attribue au dosage d'une espèce chimique la fonction de recherche de sa concentration et par suite de sa quantité de matière. L'équivalence apparaît alors comme étant l'instant où les réactifs de la réaction de dosage qui ont été introduits en proportions stœchiométriques ont entièrement réagi. Le professeur exploite la définition de l'équivalence dans le cas du dosage de l'iode par les ions thiosulfates.*

##### ***I.1.1.2.1.2 Analyse didactique***

La chronogenèse est lente au départ, lors de la présentation de la boîte de la vitamine C (cf. Extrait 2). Ensuite, elle avance rapidement dans ce jeu, sous la responsabilité de l'enseignant, sur un axe lié à la structure logique des savoirs, mais aussi en profondeur lors des monologues du professeur (cf. tdp 61, 64 et 66 Extrait 1 et aussi tdp 42, 51, 56 pages 24 et 25 dans l'annexe).

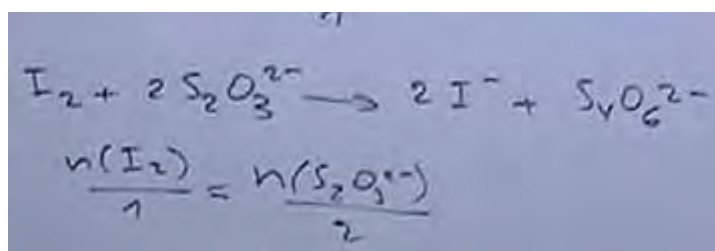
61. P1 : acide plus base donne un sel plus l'eau. vous avez ici donc une mole qui réagit avec une mole ce qui donne donc que le nombre de mole d'acide sur un est égale au nombre de mole de base sur un ce qui revient en fin de compte au nombre de mole d'acide est égale au nombre de mole de base (0:11:16). Par contre si on revient un peu au début de l'année on a étudié le dosage iodométrique vous avez une solution diiode avec une solution de

thiosulfate dans ce cas il se forme le  $I^-$  plus  $S_4O_6^{2-}$  vous rappelez à l'équivalence qu'est-ce qu'on a est ce qu'on a le nombre de mole de  $I_2$  est égale au nombre de mole de  $S_2O_3^{2-}$

62. E : non

63. E2 : non (0:11:41)

64. P1 : voilà le nombre de mole de  $I_2$  sur un est égale au nombre de mole de mole de  $S_2O_3^{2-}$  sur deux ce qui revient en fin de compte le faite de dire qu'à chaque fois qu'en a équivalence c'est à dire on l'égalité des nombres de mole des réactifs n'est pas correcte (0:11:58) dans ce cas oui (en pointant la première équation) égalité de nombre de moles des réactifs c'est à dire de l'acide et de la base mais dans le cas général



Équation 2 : équation de  $I_2$  avec les ions thiosulfates

65. E : selon les coefficients stœchiométriques

66. P1 : oui selon le coefficient stœchiométriques (0:12:06) donc la définition c'est les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques bien (0:12:25) la possibilité de suivre cette réaction acide base le fait de doser de déterminer la concentration d'une solution acide par exemple par une solution basique titrée c'est à dire de concentration connue ça (0:12:48) nécessite

Extrait 1: la chronogénèse avance rapidement et en profondeur, avancée basée sur les monologues de l'enseignant (tdp 61, 64 et 66) dans lesquels le professeur assure la continuité entre l'écriture symbolique de la réaction et son interprétation microscopique (tdp 64).

Toutefois, la densité épistémique est faible au départ (jusqu'à 0:03:22), lorsque l'enseignant tente une problématisation en évoquant la vitamine C (cf. Extrait 2, Extrait 3 et aussi dans l'annexe, tdp 12 – 21\_1 et tdp 24 – 29 pages 23 et 24) ; ensuite elle devient plus dense (cf. Extrait 1). Les lignes six et sept Figure 11 page 168 représentent l'évolution de la densité épistémique au cours de ce jeu. De manière plus générale, nous reportons dans les graphes des figures 1 et 2 les analyses qui sont présentées ci-après.

Sur le plan topogénétique, certains élèves apportent des signifiants dans le milieu (cf. tdp 43 et 50 Extrait 4 et tdp 65 Extrait 1). Toutefois, la topogénèse est généralement côté P1. Les

interactions communicationnelles se font selon le type IRE (Initiation – Réponses – Evaluation) : le professeur est toujours responsable de l'initiation des interactions, les élèves répondent et il évalue et déclenche ensuite une nouvelle initiation (cf. Extrait 2 et Extrait 3).

3. P1 : vitamine C500 (0:00:39) la vitamine C500 vous les utilisez couramment par les élèves pour avoir de l'activité si vous voulez et du dynamisme est ce que vous connaissez la signification de ce 500 C500 (0:00:58) oui
4. E : 500 milligrammes
5. P1 : 500mg c'est-à-dire ça donne de quoi (0:01:08)
- ....
9. P1 : la signification de 500.. votre camarade propose que c'est une masse (0:01:27) hein 500 comment ?
10. E : 500mg
11. P1 : 500mg par comprimé de vitamine C et qu'est-ce que la vitamine C c'est quoi la vitamine C (0:01:40)

**Extrait 2: Le professeur initie l'échange (tdp 3 et 9) par une question, l'élève répond (tdp4 et 10), le professeur évalue (début tdp5 et tdp11) et initie un nouvel échange (fin des tdp 5 et 11) en maintenant une densité épistémique faible**

- 21\_2. P1 : la question qui se pose maintenant comment peut-on vérifier qu'un comprimé contient 500mg l'acide ascorbique contenu. Que contient un comprimé est égale à 500mg (0:02:54) pour s'assurer qu'un comprimé de la vitamine C contient 500mg que peut-on faire? (0:03:04) que doit-on faire ?
22. E : faire un dosage (0:03:08)
23. P1 : un dosage. Quel dosage ? (0:03:09)

**Extrait 3: le professeur initie l'échange par une question en tdp21\_2, l'élève répond en tdp23 et le professeur évalue début tdp23 et déclenche une nouvelle initiation. la chronogénèse étant toujours lente et la densité épistémique est faible.**

Les savoirs, relatifs aux rappels et à la définition du dosage et de l'équivalence, sont développés d'abord en langage quotidien (cf. tdp 3 et tdp 11 Extrait 2) et majoritairement ensuite en langage scientifique, naturel et symbolique (cf. Extrait 1). La communication, tout le temps « autoritative », se développe selon une alternance entre phase interactive dans laquelle l'élève n'a pas beaucoup de place, et une phase non interactive, dans laquelle le professeur procède à des monologues d'explicitation et d'approfondissement (cf. Extrait 4 et aussi dans l'annexe tdp 56, 60 et 61 pages 25 et 26). L'évolution du format d'interaction est consultable dans les lignes 2 et 3 dans Figure 12 page 168.

Le professeur dans ses questions décrit les aspects conceptuels relevant du champ des théories et modèles (cf. Extrait 4 et aussi dans l'annexe tdp 56, 57, 58 et 59 pages 21 et 22) qu'il met aussi en relation avec les aspects empiriques (cf. Extrait 4).

42. P1 : est-ce que vous êtes d'accord ? (0:05 :46) est ce que c'est la définition on ajoute ça c'est l'opération du dosage on ajoute progressivement la base à l'acide à l'acide ça c'est l'opération qu'on doit réaliser pour effectuer un dosage mais (0:05:57) le but de dosage c'est quoi à quoi consiste le dosage qu'est-ce qu'on veut par le mot doser (0:06:09)
43. E : déterminer les quantités de matières de
44. P1 : déterminer la quantité de matière (0:06:14) si on dose l'acide c'est à fin de déterminer la quantité de matière d'acide ou bien la
45. E1 : la masse
46. E2 : la composition
47. P1 : la composition est ce que c'est possible de déterminer la composition (0:06:22)
48. E1 : la concentration
49. P1 : hein
50. E1 : la concentration
51. P1 : la concentration donc ça revient à déterminer la concentration d'une solution la concentration inconnue d'une solution (0:06:31) par une solution basique ce qui revient en fin de compte à déterminer la quantité de matière.. la quantité de matière de l'acide (0:06:41) on peut appeler le dosage comme étant quoi d'autres au lieu de parler de doser on peut dire.. un autre mot utilisé dans ce cas oui ... le fait de ne pas avoir la concentration et à déterminer grâce à cette opération (0:07:07) comme si vous avez un texte et vous n'avez pas le titre donc ça revient à quoi en fin de compte (0:07:12)

**Extrait 4 : le professeur établit le lien entre l'observable (opération du dosage) et le champ des théories/modèles (concentration, masse) et interprète quantitativement le dosage.**

En plus, le professeur assure une continuité entre l'écriture symbolique de la réaction et son interprétation microscopique, indépendamment de l'élève qui n'est pas sollicité à cette occasion (cf. tdp 64 Extrait 1). Ce dernier a la charge de décoder la relation à l'équivalence entre les entités  $I_2$  et  $S_2O_3^{2-}$ .

Par ailleurs, la fin de l'épisode 1.2 dans lequel le professeur aborde la question de la force de l'acide (cf. tdp 35 Extrait 5) et de ses relations au dosage, apparaît comme une discontinuité

au regard de ce qui est traité dans l'ensemble de la séance, qui concerne la détermination de la concentration d'un soluté à partir d'un dosage (cf. Extrait 5).

29. P1 : voilà une base (0:03:22) mais la question qui se pose maintenant est ce qu'il s'agit d'un acide faible ou fort l'acide ascorbique est ce que suite à un dosage acidobasique on peut déterminer la force de l'acide hein c'est possible ? (0:03:47)
30. E : non on peut pas (0:03:52)
31. P1 : ah nous devons évoquer son pH, le pH de la solution (0:03:58) pour pouvoir...exactement la connaissance de pH est suffisante ?
32. E : il faut voir la concentration
33. P1 : voilà pH et concentration (0:04:10) c'est ça dire on doit suivre en quelques sortes (0:04:13) la variation
34. E : la variation du système
35. P1 : voilà la variation du pH (0:04:18) avec la concentration et tout ça pour pouvoir dire s'il s'agit d'un acide faible ou fort d'accord maintenant la question donc qu'on va étudier dans ce chapitre donc chapitre 3 (0:04:40)

**Extrait 5: le professeur amène l'idée de l'intérêt d'un dosage pour identifier la force de l'acide en discontinuité avec ce qui est traité dans l'ensemble de la séance**

Le jeu n'est pas défini et la visibilité sur les enjeux du jeu est limitée pour les élèves, qui découvrent ces derniers au fur et à mesure des épisodes successifs et des formalisations intermédiaires faites par le professeur à intervalles réguliers à l'aide d'une présentation PowerPoint affichée (cf. tdp 35, 51, 66 Extrait 5, Extrait 4 et Extrait 1 et dans l'annexe tdp 20, 56 pages 19 et 21 ). Ces formalisations valent une institutionnalisation si on considère que les élèves ne prennent pas des notes et que le professeur distribue des photocopiés à la fin de la séance. Le professeur utilise ces formalisations intermédiaires présentes dans le photocopié (et le PowerPoint) comme un point de départ pour des explications et des approfondissements (cf. Extrait 4 et Extrait 1 tdp 51 et 61). Enfin, les régulations du professeur sont absentes dans ce jeu.

Pour terminer, si on considère l'ensemble de la séance dans laquelle aucun dosage de l'acide ascorbique n'a lieu, on peut dire que ce jeu a un caractère introductif uniquement formel, d'autant que la question posée sur la quantité de cet acide présente dans le comprimé de vitamine C n'a pas de sens dans la vie quotidienne.



### I.1.1.2.1.3 En résumé

Nous reportons nos analyses « manuelles » dans Transana et nous obtenons les deux graphes et le tableau récapitulatif suivants :

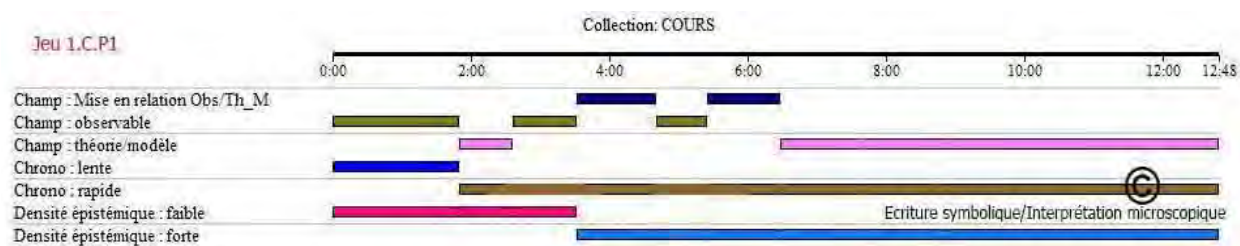


Figure 11: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 1 de la séance de cours pour P1

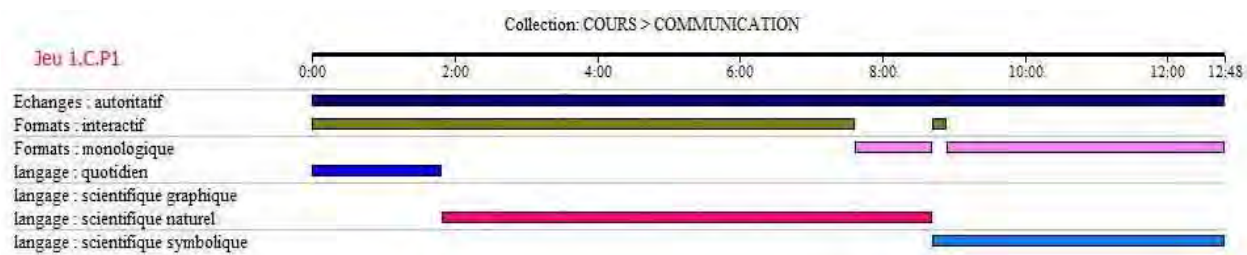


Figure 12: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 1 de la séance de cours pour P1

Dans ces deux graphes nous voyons la conjonction entre une formalisation du champ théorique et une chronogenèse rapide, une densité élevée, un monologue, et du langage symbolique. Nous voyons aussi que le début du jeu concerne des observables, mis en relation pour finir sur des aspects théoriques. Le format des échanges est interactif tant qu'on n'est pas principalement sur des aspects conceptuels, où il devient monologique. Tous ces aspects réunis font que ce moment peut apparaître difficile à suivre pour les élèves.

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
1.C.P1	P	P	Absente	Absente	Absente	Présente

Tableau 4: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 1.C.P1<sup>54</sup> : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

<sup>54</sup> Jeu 1 de la séance de « Cours » de P1

### **I.1.1.2.2 Analyse du jeu 2 : « Indiquer les caractéristiques d'un indicateur coloré et les associer au choix d'un indicateur coloré pour un dosage »**

#### **I.1.1.2.2.1 Narration didactique**

*Le professeur, par une série de questions/réponses amène l'idée que l'indicateur coloré est un couple acide base faible  $HInd/Ind^-$  dont la forme acide a une couleur différente de la forme basique. Ensuite, l'écriture par un élève de l'équation formelle de l'indicateur coloré conduit le professeur à faire une comparaison entre l'équation d'ionisation de l'acide  $HInd$  et celle formelle du couple  $HInd/Ind^-$  à la fin de laquelle il se base sur le BBT pour définir l'indicateur coloré comme étant un couple acide base généralement faible dont les couleurs de la forme acide et basique sont différentes. Toujours, par une série de questions/réponse, le professeur établit alors l'idée que la zone de virage de l'indicateur coloré est un intervalle de pH séparant les pH de la forme acide de celui de la forme basique. De la même manière, il introduit aussi la notion de « teinte sensible » obtenue lorsque la concentration de la forme acide et de la forme basique du couple acide base de l'indicateur sont sensiblement identiques. Par une nouvelle série de questions/réponses d'abord, puis en s'appuyant sur la réponse de l'élève, le professeur introduit l'équivalence et avance lui-même l'idée, pour l'identifier, de choisir un indicateur dont la zone de virage renferme le pH de la solution à l'équivalence.*

#### **I.1.1.2.2.2 Analyse didactique**

La chronogenèse avance rapidement sous la responsabilité de l'enseignant. Les interactions sont toujours au format IRE (cf. Extrait 6 et Extrait 7 et aussi dans l'annexe tdp102, 107,109, 111, 115, 117, 119, 28 pages 29 et 30 26).

78. P1 : la libération d'un  $H^+$  donc (0:14:48) ça va donner quoi oui svp l'acide  $HInd$  une fois qu'il libère  $H^+$  qu'est-ce qu'il donne

79. E :  $Ind^-$

80. P1 :  $Ind^-$  très bien ça va donner  $Ind^-$  donc ça c'est le couple  $HInd$  d'accord alors (0:15:10) nous allons écrire l'équation formelle associée à ce couple (0:15:13)

Extrait 6: le professeur est à l'origine de l'initiation (tdp 78), l'élève répond (tdp 79) et le professeur évalue et déclenche une nouvelle initiation (tdp 80).

96. P1 : le BBT le bleu de bromothymol quel est le couleur de sa forme acide

97. E : jaune

98. P1 : jaune très bien et la couleur de sa forme basique

99. E : bleue

100\_1. P1 : bleue donc si on a deux couleurs différentes alors c'est un indicateur coloré (0:18:47) donc l'indicateur coloré est nécessairement un couple acide/base généralement faible qu'est-ce qu'il nous donne il nous donne donc une couleur pour la forme acide et une couleur différente pour la forme basique (0:19:03)

**Extrait 7: le professeur initie l'échange (tdp 96), l'élève répond (tdp 97 et 99) et le professeur évalue et déclenche une nouvelle initiation (tdp 98 et 100\_1).**

La topogénèse est sous la responsabilité du professeur. Les élèves contribuent au milieu en apportant des bonnes réponses (cf. tdp 69, 73, 75 Extrait 8 et dans l'annexe tdp 77, 79, 93, 95 et 106, pages 27, 28 et 29) ; cependant les réponses des élèves font suite à des questions très fermées posées par l'enseignant qui assure le contrôle de la mésogénèse (cf. Extrait 8 et Extrait 9).

68\_2. P1 : et (0:12:50) surtout quelles choses qui va nous signaler l'équivalence

69. E : un indicateur coloré

70. P1 : voilà (0:12:54) donc il nous faut un indicateur coloré nous allons parler un peu de l'indicateur coloré alors c'est ce qu'on appelle un suivi colorimétrique (0:13:09) c'est à dire en utilisant le changement de couleur un changement de couleur ça vous indique l'équivalence c.-à-d. au départ vous avez l'acide

71. E : il a une certaine couleur et après l'équivalence

72. P1 : après l'équivalence

73. E : on a une autre couleur

74. P1 : après l'équivalence on a une autre couleur (0:13:28) donc l'indicateur coloré obligatoirement doit posséder différentes couleurs

75. E : et ne doit pas intervenir dans la réaction

**Extrait 8: les élèves introduisent dans le milieu des signifiants (tdp 69, 73 et 75) suite à des questions très fermées de l'enseignant.**

Les savoirs, relatifs à l'association des caractéristiques d'un indicateur coloré et leurs conséquences sur le choix d'un indicateur coloré pour un dosage, sont exprimés en langage scientifique selon trois formes : langage naturel écrit et oral, langage symbolique et représentations graphiques. Ces savoirs, à forte densité épistémique, sont présentés selon une alternance entre phases autoritatives interactives (cf. Extrait 6, Extrait 7, Extrait 8) et des monologues d'explicitation et d'approfondissement (cf. tdp 76 Extrait 10, Extrait 11 et Extrait 12). Par ailleurs, l'enseignant établit une continuité sémantique (langage quotidien / langage

scientifique) dans les savoirs pour expliquer le virage de l'indicateur coloré (cf. tdp 102 Extrait 9).

100\_2. P1 : bien maintenant (0:19:05) on parle du zone de virage d'un indicateur coloré  
101. E : milieu entre les deux [couleurs de l'indicateur]  
102. P1 : la zone de virage.. ça c'est autre chose.. (0:19:16) la couleur c'est pas une zone la couleur c'est une teinte par contre on parle de zone de virage.. zone de virage.. le fait de parler de virage c'est à dire changement de direction par exemple s'il s'agit d'un virage dans une piste quelconque (0:19:40) alors le virage de l'indicateur coloré dans ce cas c'est le changement c'est pas de la direction mais de la couleur donc ce qu'on appelle zone de virage c'est une zone de pH pour laquelle hein

**Extrait 9: Le professeur (tdp102) s'appuie sur la réponse de l'élève (tdp 101) en évoquant le virage de l'indicateur et assure une continuité sémantique.**

Souvent, le professeur met en relation le champ des observables et le champ des théories/modèles. On le voit par exemple lors de la définition de l'indicateur coloré (cf. tdp 70, 74 et 76 Extrait 10 et Extrait 11).

70. P1 : voilà (0:12:54) donc il nous faut un indicateur coloré nous allons parler un peu de l'indicateur coloré alors c'est ce qu'on appelle un suivi colorimétrique (0:13:09) c'est à dire en utilisant le changement de couleur un changement de couleur ça vous indique l'équivalence c.-à-d. au départ vous avez l'acide  
71. E : a une certaine couleur et après l'équivalence  
72. P1 : après l'équivalence  
73. E : on a une autre couleur  
74. P1 : après l'équivalence on a une autre couleur (0:13:28) donc l'indicateur coloré obligatoirement doit posséder différentes couleurs  
75. E : et ne doit pas intervenir dans la réaction  
76. P1 : très bien ne doit pas intervenir dans la réaction (0:13:41) ça c'est primo si vous voulez il ne perturbe pas la réaction de dosage secundo c'est qu'il faut qu'il possède deux couleurs différentes donc si on parle d'indicateur coloré en fin de compte (*il charge la définition sur la présentation PowerPoint*).. l'indicateur coloré n'est autre qu'un couple acide/base c'est un couple acide/base faible d'accord dont la couleur de la forme acide est différente de celle de la forme basique c.-à-d. si (0:14:13) on note l'indicateur par HInd pour

dire indicateur et H pour dire qu'il possède un ion  $H^+$  qu'il est capable de le libérer d'accord (0:14:26) ça ça va conjuguer avec quoi la base conjuguée de HInd... Si vous avez un acide HInd sa base conjuguée est obtenue en fin de compte suite de

**Extrait 10:** le professeur introduit l'indicateur coloré à partir d'une description dans le champ des observables (tdp70, tdp74) et achève par une description au niveau conceptuel (tdp76)

Cette relation est aussi établie lorsqu'il évoque la condition que devront satisfaire les concentrations de la forme acide [HInd] et la forme basique [Ind<sup>-</sup>] pour observer soit la teinte acide, la teinte basique ou la teinte sensible (cf. tdp 76 dans Extrait 10).

111. P1 : une couleur intermédiaire la superposition si vous voulez de deux couleurs la superposition qu'on va l'appeler par la suite la teinte sensible de l'indicateur coloré (0:21:09) c'est à dire la définition de la zone de virage c'est quoi ? ce qu'on appelle (il charge la définition) zone de virage d'un indicateur coloré. C'est la plage de pH dans laquelle aucune de deux formes de l'indicateur n'est majoritaire c'est à dire dans cette partie autant d'acide généralement 10 fois plus la concentration de HInd est 10 fois plus grande que la concentration de Ind ce qui donne une couleur de la forme acide bien visible.. maintenant si la concentration de la forme basique est beaucoup plus grande 10 fois plus grande ou plus dans ce cas c'est la couleur de la forme basique qui va être bien visible.. Par contre si vous avez de concentration de la forme acide de la forme basique (0:22:06) sont proches l'une de l'autre dans ce cas c'est normal on observe une couleur qui revient à la superposition de couleur qu'on l'appelle on va appeler cette couleur la teinte sensible de l'indicateur coloré. Donc la teinte sensible d'un indicateur coloré est la teinte qu'il prend lorsqu'il est introduit dans une solution de pH appartenant à sa zone de virage (0:22:32).. c'est à chaque fois que vous avez un pH appartient à la zone de virage de l'indicateur coloré dans ce cas on obtient la couleur l'indicateur coloré prend la couleur de

**Extrait 11:** le professeur établit le lien entre les couleurs de l'indicateur coloré (champ des observables) avec les concentrations de la forme acide et la forme basique (champ conceptuel)

Toutefois, dans le tour de parole 111 Extrait 11, il n'en reste pas moins que les élèves ont à leur charge le fait de se représenter mentalement les relations  $[HInd] > 10 [Ind^-]$  liée à l'observation la teinte acide, et  $[Ind^-] > 10 [HInd]$  liée à l'observation de la teinte basique dans la mesure où la représentation symbolique de ces inégalités est absente.

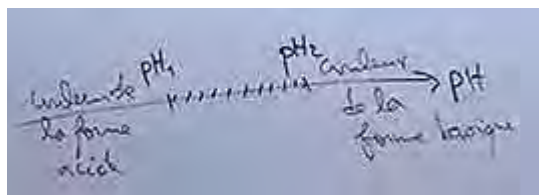
Par ailleurs, une continuité entre le champ des observables et le champ des théories/modèles est établie pour conclure sur la condition nécessaire pour choisir un indicateur coloré convenable à un dosage (cf. Extrait 12).

127\_1. P1 : je répète (0:25:21) vous avez un acide que vous voulez doser par une base nous voulons détecter le point d'équivalence alors il nous faut un indicateur coloré qui doit être choisi de façon ce que la zone de virage de cet indicateur encadre le pH à l'équivalence c.à.d. Le pH à l'équivalence doit appartenir à la zone de virage de l'indicateur (0:25:56) c.à.d. Si on veut doser un acide fort par une base forte on va voir par la suite dans le prochain TP le choix de l'indicateur coloré va être repéré grâce au pH de l'équivalence c.à.d. si vous aurez le pH à l'équivalence vous pouvez dans ce cas choisir l'indicateur coloré donc (0:26:36). (il charge la définition) un indicateur coloré est dit convenable à un dosage si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence il faut connaître le pH à l'équivalence pour choisir l'indicateur coloré dont la zone de virage encadre le pH à l'équivalence (0:27:15)

Extrait 12 : le professeur établit le lien entre l'observable (couleur de l'indicateur coloré) et le champ conceptuel (équivalence)

De la même manière, Le professeur assure une continuité entre les le champ des observables, le champ des théories/modèles et la représentation graphique associée pour conclure sur l'emplacement de la zone de virage (cf. Extrait 13).

103. P1 : ça c'est le pH<sub>1</sub> et pH<sub>2</sub> alors la zone de virage est une zone de pH pour laquelle on a on n'a pas en fin de compte si vous prenez cette partie du pH ehh pour pH inférieur à pH<sub>1</sub> c'est la forme acide qui va être majoritaire pour pH supérieur à pH<sub>2</sub> c'est la forme basique qui va être majoritaire donc ici (pH < pH<sub>1</sub>) on observe la couleur de la forme acide (0:20:28)



104. E : l'autre c'est la forme basique

105. P1 : et dans l'autre cas c'est la couleur de la forme basique (0:20:34)

Extrait 13: le professeur assure une continuité entre le champ des observable, le champ des théories/modèles et représentation graphique pour identifier la zone de virage

Les régulations sont absentes dans ce jeu soit parce que les élèves répondent correctement soit parce que le professeur introduit lui-même les savoirs en cas de réponse fausse. La communication est toujours autoritative et présente une alternance entre une phase interactive et une phase non interactive dans laquelle le professeur s'exprime alors sous forme de monologues d'explicitation (cf. tdp 76, 102 et 103 voir Extrait 10, Extrait 9 et Extrait 13 et aussi dans l'annexe tdp 92 pages 28).

La définition du jeu est assez vague. En effet, le tour de parole correspondant (tdp 68 : « **et surtout quelles choses qui va nous signaler l'équivalence ?** »- 0:12:50 ) ne laisse pas prévoir une étude des propriétés des indicateurs colorés. Les élèves découvrent au fur et à mesure du jeu l'enjeu réel qui apparaît formellement au tdp 125 « **on doit utiliser un indicateur coloré qui prend la couleur de sa teinte sensible à l'équivalence** et puisque l'indicateur coloré prend la teinte la couleur donc sa teinte sensible alors choisir l'indicateur dont la zone de virage renferme encadre le pH de la solution obtenue à l'équivalence (0:25:15) c'est clair ou non ». La visibilité des élèves sur le savoir réellement en jeu n'est assurée qu'à la quasi-fin du jeu, celui-ci se terminant min 29:06. Le professeur formalise les savoirs en utilisant une présentation Powerpoint. Ces formalisations servent souvent de support à une explicitation complémentaire qu'il développe en monologue (cf. tdp111, 127\_1 voir Extrait 11 et Extrait 12). Elles tiennent lieu d'institutionnalisation partielle ou d'institutionnalisation finale (cf. tdp 149\_1, pages 32 dans l'annexe).

### 1.1.1.2.2.3 En résumé

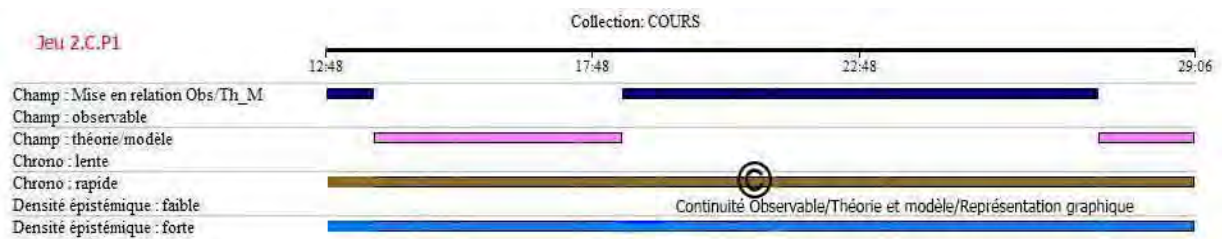


Figure 13: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 2 de la séance de cours pour P1

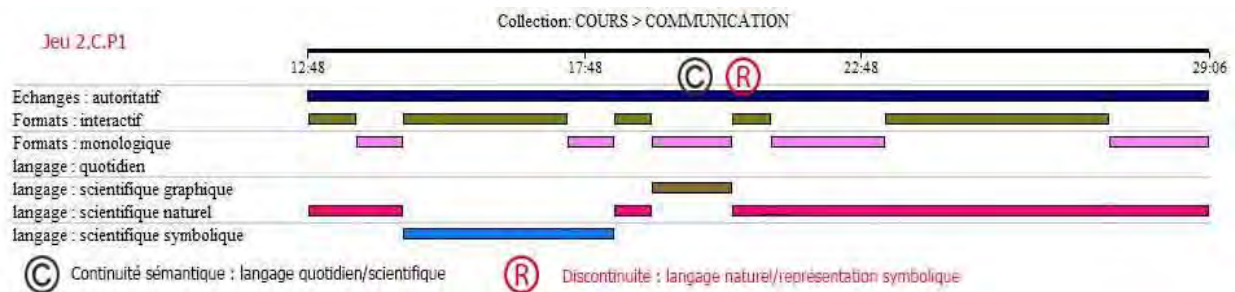


Figure 14: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 2 de la séance de cours pour P1

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
2.C.P1	P	P	Absente	Absente	Absente	Présente

Tableau 5: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 2.C.P1 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### **I.1.1.2.3 Analyse du jeu 3 : « Identifier les éléments matériels et réactionnels nécessaires à la réalisation d'un dosage acidobasique »**

#### ***I.1.1.2.3.1 Narration didactique***

*Par une série de questions/réponses, le professeur, d'abord, amène les élèves à identifier les éléments matériels nécessaires pour un dosage colorimétrique présentés à l'écran. Ensuite, il annonce que la solution à doser, de concentration inconnue, est mise dans un bécher alors que la solution dosante est placée dans une burette graduée. Par la suite et par une deuxième série de questions/réponses puis à partir d'une explicitation, le professeur avance l'idée que la réaction du dosage doit satisfaire à trois exigences, l'unicité, la rapidité et la totalité.*

#### ***I.1.1.2.3.2 Analyse didactique***

La chronogénèse avance rapidement sous la responsabilité du professeur sur un axe lié à la structure logique des savoirs. La densité épistémique est faible lorsqu'il s'agit d'identifier les éléments matériels du dispositif expérimental du dosage (cf. tdp 130, 132, 134 et 136 dans l'annexe page 31) et elle devient dense lorsqu'il s'agit de prendre connaissance des caractères rapide et total de la réaction du dosage (cf. tdp 149\_1 Extrait 15). Sur le plan topogénétique, les élèves, sollicités par le professeur par des questions fermées, apportent au milieu des éléments généralement peu importants (cf., tdp 144 Extrait 14 et aussi dans l'annexe tdp 131, 133, 134, 136, 146 pages 30, 31 et 32). Le professeur introduit régulièrement des éléments qui font avancer les savoirs (cf. tdp 141\_2 Extrait 14 et aussi dans l'annexe tdp 137 et 139 page 31). Les formes d'interactions suivent généralement le format IRE (Initiation – Réponses – Evaluation) ; le professeur est constamment à l'origine de chaque initiation, les élèves répondent, le professeur évalue et lance ensuite une nouvelle initiation (cf. Extrait 14 et aussi dans l'annexe tdp 130, 131, 132, 137, 138 et 139 pages 30 et 31).

141\_2. P1 : maintenant on peut penser à un autre type de dosage (0:30:53) mais avant comme conclusion ici quels sont les caractères de la réaction du dosage ? Pour pouvoir doser une solution par une autre solution dans le cas général quels ont les caractères de la réaction du dosage (0:31:12) d'après vous ... est-ce qu'on peut utiliser des réactions lentes pour le dosage.. Est-il possible ?

142. E : non

143. P1 : non pourquoi



144. E : on n'arrive pas à atteindre l'équivalence

145. P1 : voilà le fait de verser une quantité et attendre 40 minutes pour voir si la quantité versée a réagi ou non dans ce cas c'est impossible d'utiliser cette réaction pour le dosage donc (0:31:47) si la réaction est lente elle ne peut pas nous permettre de doser une solution (0:31:53) quoi d'autre

Extrait 14 : le professeur initie l'échange en définissant l'enjeu du savoir en tdp 141\_2, l'élève répond en tdp 142, le professeur demande une explication en tdp 143, l'élève répond en tdp 144 et le professeur évalue explicitement la réponse de l'élève et déclenche une nouvelle initiation. Il donne également une visibilité sur l'enjeu de l'épisode 3.2 en tdp 141\_2

Le jeu n'est pas défini et la visibilité sur les enjeux du jeu est limitée pour les élèves, qui les découvrent au fur et à mesure des épisodes successifs (cf. tdp141\_2 Extrait 14) et lors d'une formalisation (cf. tdp 141\_1 dans l'annexe page 32) faite par le professeur à la fin du premier épisode du jeu. La formalisation qu'on observe à la fin du jeu (cf. tdp 149\_1 Extrait 15) vaut une institutionnalisation si on considère que le professeur distribue à la fin de la séance des photocopiés de cours correspondants.

149\_1. P1 : c'est impossible (0:32:30) parce que nous voulons déterminer en dosant la quantité d'acide ou de base de la solution à titrer dans le bécher donc dans ce cas si vous ajouter un réactif qui réagit partiellement il va nous permettre de déterminer la quantité exacte d'acide dans le prélèvement donc la réaction doit être rapide et totale (0:32:59) et quoi d'autres.. si au bout de la réaction la solution dosante réagit avec deux composés au même temps qui peut donner donc plusieurs produits au même temps (0:33:14) est ce que c'est possible de suivre l'évolution de la réaction et de déterminer la quantité de matière par exemple de la solution à titrer (0:33:21). C'est-à-dire on peut titrer la base on verse l'acide si au même temps qu'on verse l'acide l'acide réagit avec une autre substance (0:33:30) autre que cette base dans ce cas ça va nous empêcher ne traduit pas exactement la réaction de dosage qu'on veut étudier.. c'est-à-dire qui va se produire entre l'acide et la base (0:33:48). **Donc finalement (il charge la définition dans une présentation Power Point) la réaction de dosage doit satisfaire à trois exigences. Elle doit être .. premièrement unique c'est à dire non parasitée par une autre réaction ayant les mêmes réactifs d'accord. Deuxièmement elle doit être totale c'est-à-dire on aura la disparition d'au moins de l'un des réactifs mis en présence le réactif limitant doit disparaître à l'équivalence et enfin il faut que cette réaction soit rapide (0:34:32).**

Extrait 15: le professeur procède à une institutionnalisation à la fin du jeu

Les régulations susceptibles d'orienter les élèves sont absentes soit parce que les élèves citent correctement le matériel du dispositif expérimental soit, en cas de l'incapacité des élèves de répondre, parce que le professeur ferme ses questions de façon que les élèves répondent par effet de contrat (cf. tdp 141\_2 et 142 Extrait 14).

Les savoirs, relatifs à l'identification des éléments du dispositif expérimental et aux caractères rapide et total de la réaction du dosage, sont exprimés en langage scientifique naturel et sous forme de représentation schématique des éléments du dispositif expérimental, majoritairement dans le champ des observables lors de la citation du matériel du dosage. Ces savoirs sont proposés selon une alternance entre phase interactive authoritative et une phase non interactive authoritative. Dans la phase interactive, l'élève mobilise sa mémoire didactique pour citer les éléments du dispositif expérimental (cf. tdp 131, 133, 134 et 136 page 31 dans l'annexe) ensuite, il n'occupe pas beaucoup de place dans l'identification des éléments réactionnels pour le dosage (cf. tdp 142, 144 Extrait 14 et tdp 146 Extrait 16).

145. P1 : voilà le fait de verser une quantité et attendre 40 minutes pour voir si la quantité versée a réagi ou non dans ce cas c'est impossible d'utiliser cette réaction pour le dosage donc (0:31:47) si la réaction est lente elle ne peut pas nous permettre de doser une solution (0:31:53) quoi d'autre

146. E : la température

147. P1 : que peut-on dire de la température (0:32:05) généralement lorsqu'on dose on n'a pas besoin de changer la température oui est ce que c'est possible d'utiliser une réaction limitée pour le dosage (0:32:23) c.-à-d. vous versez une quantité uniquement une partie qui réagit et l'autre partie qui reste

**Extrait 16: l'élève occupe une place mineure dans l'identification des éléments réactionnels (tdp 146).**

En revanche, la phase non interactive est caractérisée par le fait que le professeur explicite les exigences d'une réaction de dosage durant deux monologues, épistémiquement forts, sans support d'appui (cf. tdp 147 Extrait 16 et 149\_1 Extrait 15). Au cours de ce jeu, le professeur assure gestuellement une continuité entre la description délivrée en langage naturel et le schéma du dispositif au tableau.

### I.1.1.2.3.3 En résumé

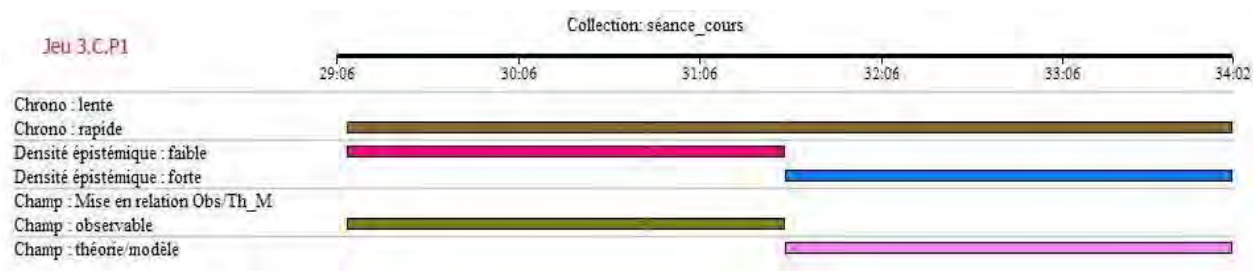


Figure 15: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 3 de la séance de cours pour P1

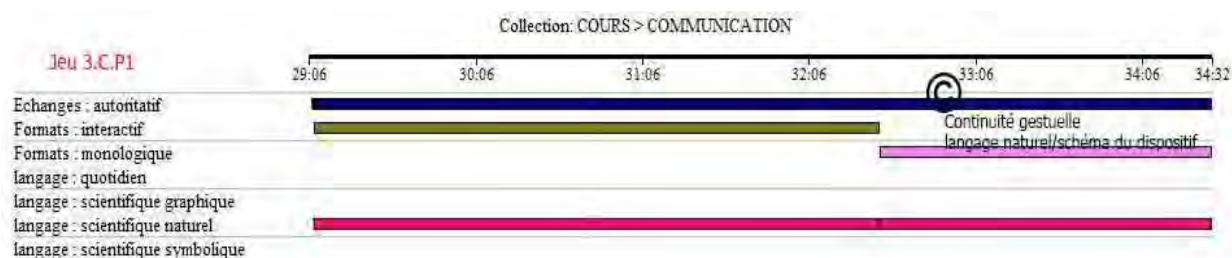


Figure 16: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 3 de la séance de cours pour P1

Jeu 3.C.P1	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogenèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
	Partagée	P	Absente	Absente	Absente	Présente

Tableau 6: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 3.C.P1 : mésogenèse, topogénèse et stratégies professorales

### I.1.1.2.4 Analyse du jeu 4 : « Conclure sur les caractères rapide et exothermique d'un dosage d'acide fort par une base forte à partir d'une expérience réalisée par P2 »

#### I.1.1.2.4.1 Narration didactique

Par une question/réponse, le professeur identifie HCl comme un acide fort. Les élèves proposent alors le couple  $NH_4^+/NH_3$  comme base forte. Par une série de questions fermées-réponses en lien avec la théorie de Bronsted, il élimine cette possibilité grâce à la caractérisation du pKa du couple et amène les élèves par effet de contrat à proposer NaOH comme base forte utilisée au laboratoire. Ensuite, le professeur réalise une expérience de monstration dans laquelle il fait réagir HCl avec NaOH en présence de BBT. Il décrit et interprète l'expérience concluant sur le caractère instantané de cette réaction mais aussi total, à tort au vu de l'expérience. Il généralise le caractère rapide à la totalité des réactions acide

*fort et base forte. Le professeur fait une deuxième expérience de la réaction HCl et NaOH dans laquelle il montre l'augmentation de la température. Des questions réponses l'amènent à faire conclure que cette réaction est exothermique, conclusion qu'il généralise lui-même à l'ensemble des réactions acide fort base forte.*

#### ***1.1.1.2.4.2 Analyse didactique***

La chronogénèse avance rapidement et reste tout le temps orientée par le professeur et de densité épistémique forte. La topogénèse est généralement côté professeur, bien qu'elle soit au début partagée, lorsqu'il s'agit d'identifier la base forte servant au dosage AF BF : les élèves apportent dans le milieu des signifiants liés aux forces des couples  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  et  $\text{NH}_3/\text{NH}_2^-$  qu'ils avaient eux-mêmes proposés (cf. tdp 156, 158, 160 et 162 Extrait 18). Par la suite, la contribution des élèves dans le milieu est mineure (cf. tdp 172, 174 Extrait 17).

171\_2. P1 : nous allons passer à la deuxième expérience (0:40:19) nous allons essayer de voir ce qui se passe pour la température (0:40:21) lorsqu'on mélange une solution acide et une solution basique on va prendre la soude 1M on place un thermomètre qui indique la température et on va lire la température

172. E : 16,1

173. P1 : disons 16,1 mettons le dans la solution HCl et mesurons sa température à quoi est égale

174. E : 16,3

175. P1 : 16,1 c'est bon nous allons mélanger les deux à la fois et on va regarder allez-y

**Extrait 17: les élèves occupent une place très réduite dans l'évolution du milieu**

Par ailleurs, le professeur est toujours à l'initiative des interactions. Par des échanges communicationnels, selon un format IRE (cf. Extrait 18 et Extrait 19), le professeur espérait une conclusion rapide en faisant appel à la mémoire didactique des élèves pour identifier HCl et NaOH (cf. tdp 149\_2 et 151 Extrait 18) comme réactifs de la réaction de dosage. La proposition de couples liés à  $\text{NH}_3$  le contraint quelques instants à utiliser la théorie de Bronsted (31 s de raisonnement conjoint que le professeur empêche d'aboutir puisqu'il y coupe très rapidement par une question orientée par effet contrat vers la soude (cf. tdp 163 Extrait 18).

149\_2. P1 : d'accord maintenant (0:34:47) est ce que ces caractères sont présents dans la réaction acide base ou non (0:34:50) c.à.d. on va essayer de voir si la réaction entre un

acide et une base est qu'elle est totale ou non rapide ou non d'accord.. Pour cela on va commencer par une réaction entre un monoacide fort et une monobase forte (il charge une nouvelle présentation intitulée -Réaction entre un monoacide fort et une monobase forte) comme exemple d'acide fort qu'est-ce qu'on peut prendre (0:35:11)

150. E : HCl

151. P1 : le HCl c'est à dire une solution de chlorure d'hydrogène c.à.d. l'acide chlorhydrique (0:35:20) et la base forte

152. E : xxxxx

153. P1 : comment

154. E :  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$

*Le professeur écrit sur le tableau  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$*

155. P1 : ou est la base dans ce cas

156. E :  $\text{NH}_3$

157. P1 : donc on utilise le  $\text{NH}_3$  est ce que c'est une base forte (0:35:39) vous êtes d'accord est ce que vous connaissez le pKa de ce couple à quoi est égale le pka de ce couple (0:35:47)  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  c'est 9,2 à 25° Celsius (0:35:54) d'accord est ce qu'il s'agit d'une base forte

158. E : faible

159. P1 : faible la base forte doit être plus forte que  $\text{OH}^-$

160. E :  $\text{NH}_3/\text{NH}_2^-$

161. P1 : et quelle est la base dans ce cas

162. E :  $\text{NH}_2^-$

163. P1 : on utilise  $\text{NH}_2^-$  comme base ? La base connue si vous voulez (0:36:23) comme base forte utilisée au laboratoire (0:36:25) ah

164. E : NaOH

165\_1.P1 : NaOH c.-à-d. (0:36:31) la soude l'hydroxyde de sodium pour cela on va commencer d'étudier la réaction d'une solution d'acide chlorhydrique HCl et solution d'hydroxyde de sodium NaOH (0:36:48)

Extrait 18 : le professeur est à l'origine de chaque initiation (tdp 149\_2, 151, 155, 157). Les élèves répondent (tdp 150, 154, 156, 158, 160, 162, 164) et le professeur évalue les réponses et déclenche à nouveau une initiation. Le professeur fait appel à la mémoire didactique des élèves pour identifier les réactifs de la réaction de dosage ((tdp 149\_2 et 164). La proposition de couple  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ (tdp 154) le contraint et déclenche un raisonnement conjoint qu'il y coupe très rapidement par une question fermée (tdp 163) permettant aux élèves de s'orienter, par effet contrat, vers la soude.

169. P1 : la coloration bleue apparait instantanément d'accord (0:39:18.6) c.-à-d. on a mélangé l'acide et la base de façon à choisir la base le réactif en excès en mélangeant on remarque que l'acide est totalement réagit il nous reste que la base ce qui donne que vous aurez une solution bleue d'accord (0:39:46) ce qui prouve quoi

170. E : la rapidité

171\_1. P1 : voilà le virage instantané de BBT du jaune au bleu prouve que la réaction est rapide et ça c'est général pour toute les réactions acide fort base forte c'est bon bien (0:40:15)

**Extrait 19 : le professeur initie l'échange en tdp 169, l'élève répond en tdp 170 et le professeur évalue, généralise (tdp 171\_1) et déclenche une nouvelle initiation (cf. tdp 171\_2 page 34 dans Extrait 20)**

Le jeu n'est pas défini et la visibilité sur les enjeux du jeu n'est pas assurée pour les élèves qui les découvrent soit à minima lors du tdp 171\_2 Extrait 20 au cours duquel le professeur donne une visibilité de ce qui va se passer dans les cinq minutes à suivre, soit lors de la clôture du jeu lors à l'occasion de l'institutionnalisation (cf. tdp 171\_1 Extrait 19) au cours de laquelle les élèves se rendent compte de l'intention du professeur.

171\_2. P1 : nous allons passer à la deuxième expérience (0:40:19) nous allons essayer de voir ce qui se passe pour la température (0:40:21) lorsqu'on mélange une solution acide et une solution basique on va prendre la soude 1M on place un thermomètre qui indique la température et on va lire la température

**Extrait 20 : le professeur identifie l'enjeu de la courte période à suivre**

Les régulations susceptibles d'orienter les élèves sont absentes et le professeur procède à des généralisations (cf. tdp 171\_1 Extrait 19 et tdp 183\_1 Extrait 21) qui valent institutionnalisation dans la mesure où elles sont faites à partir d'une présentation Power Point affichée au tableau et distribuée à la fin de la séance sous forme de photocopiés de cours.

179. P1 : exo endothermique ?

180. E : exothermique

181. P1 : exothermique puisqu'elle dégage de la chaleur endothermique lorsqu'elle absorbe la chaleur si la réaction ni absorbe ni dégage

182. E : athermique

183\_1. P1 : très bien il s'agit de réaction au cours de laquelle il y a élévation de la température du mélange réactionnel donc c'est une réaction exothermique (0:44:39) et

c'est général pour les réactions acide fort et base fortes (0:44:56) passons maintenant à une troisième expérience (0:45:00).

**Extrait 21 : le professeur généralise le caractère exothermique pour les réactions AF BF**

Les savoirs, relatifs aux caractères rapide et exothermique d'un dosage acide fort par une base forte, sont exprimés en langage scientifique oral. Ils sont présentés selon une alternance entre phase interactive authoritative majoritairement dans le champ de théories/modèles, au cours de laquelle les élèves produisent des raisonnements et font fonctionner le modèle de Bronsted avec une certaine fluidité (cf. tdp 156, 160, 162 Extrait 18) et une phase pratiquement monologique au cours de laquelle le professeur conclut lui-même, les élèves apparaissant comme de simples spectateurs ou de simples lecteurs de la valeur de la température affichée sur le tableau. Dans cette dernière phase, le professeur met en relation les observables et le monde des théories/modèles. Dans un premier temps ; il fait appel à l'observable « couleur de BBT » pour conceptualiser la rapidité et, à tort, la totalité de la réaction (cf. tdp 169 Extrait 19), la couleur du BBT montrant simplement un excès de base. Dans un deuxième temps, il conclut sur le caractère exothermique de la réaction acide fort base forte (cf. tdp 181 et 183\_1 Extrait 21) en faisant appel à l'observable « valeur de la température ». La mise en relation entre l'observable et les théories modèles est ici assurée par le professeur.

Par ailleurs, le professeur ne revient pas, au cours de la séance, sur l'idée, que le changement de couleur de l'indicateur coloré du jaune au bleu indique le caractère total de la réaction acide fort base forte (cf. tdp 169 Extrait 19). Il nous semble que ce développement était une discontinuité anecdotique, un abus de langage de sa part, un lapsus dans le déroulement de l'action. Ce lapsus pouvait tout de même induire chez les élèves une assimilation (implicite) entre réaction totale et instantanéité de la réaction (cf. tdp 170 Extrait 19).

**1.1.1.2.4.3 En résumé**

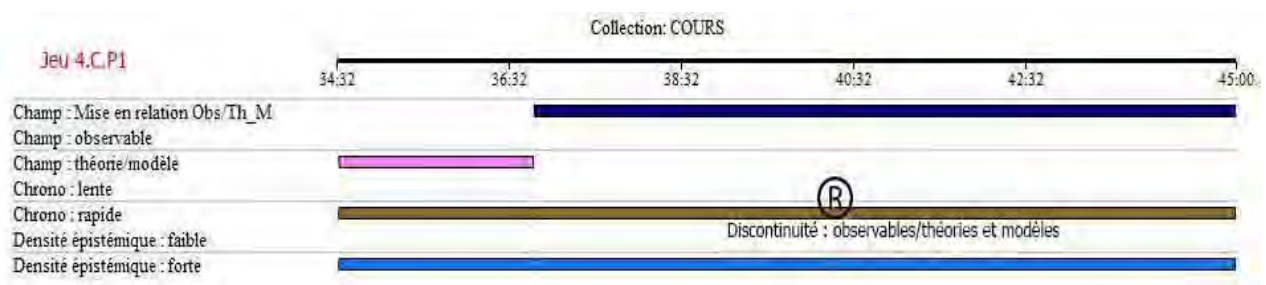


Figure 17: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 4 de la séance de cours pour P1

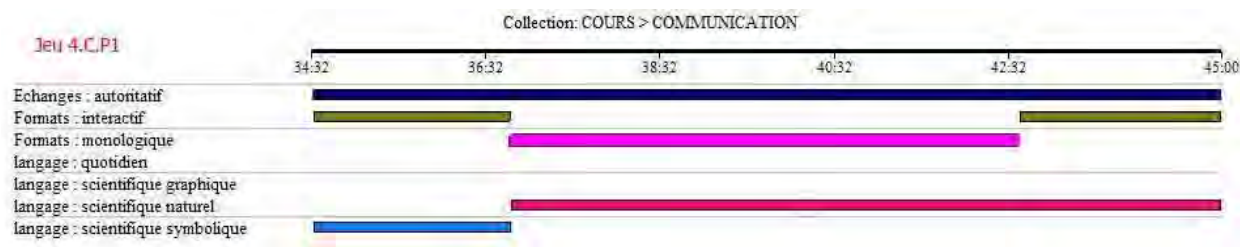


Figure 18: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 4 de la séance de cours pour P1

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
4.C.P1	P	P	Absente	Absente	Absente	Présente

Tableau 7: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 4.C.P1 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### I.1.1.2.5 Analyse du jeu 5 : « Conclure sur les caractères rapide, total et exothermique de la réaction entre un acide fort et une base forte à partir des données expérimentales et de la constante d'équilibre »

#### I.1.1.2.5.1 Narration didactique

Le professeur montre implicitement et sans réellement formaliser le raisonnement, que la réaction AF BF est totale en faisant réagir de la soude en excès sur l'acide chlorhydrique et en utilisant le BBT. Ensuite, il montre pas à pas la procédure d'étalonnage du pH-mètre aux élèves. Il mesure le pH de la solution d'acide fort et de base forte en excès qu'il déjà préparée. A la demande d'un élève, il justifie cette procédure en signalant que le pH est une fonction affine de la tension dont on ne connaît ni la pente ni les coordonnées à l'origine, raison pour laquelle on a besoin d'un étalonnage. Ensuite, par une série de questions/réponses, il amène les élèves à identifier les ions  $H_3O^+$  et  $OH^-$  comme réactifs dans la réaction AF BF. Il construit le tableau descriptif avec l'aide de certains élèves en utilisant les données empiriques de la réaction AF BF précédente dont le pH a été précédemment mesuré. D'abord à partir des calculs vérifiant l'égalité entre l'avancement final et l'avancement maximal de la réaction, puis à partir de l'expression usuelle de la constante d'équilibre et de sa valeur, trouvée supérieure à  $10^4$ , il montre le caractère total de cette dernière. Enfin, le professeur termine par une phase de conclusion générale sur tous les caractères de la réaction acide fort base forte.

#### I.1.1.2.5.2 Analyse didactique

La chronogénèse avance rapidement, orientée par le professeur mais la direction dans laquelle le savoir avance n'est pas explicite pour les élèves qui découvrent au fur et à mesure



là où le professeur les amène. La densité épistémique est importante dans ce jeu (cf. Extrait 24, Extrait 25, Extrait 26 et Extrait 27). Les bons élèves apportent ponctuellement des signifiants au milieu à la fois de nature empirique et conceptuelle (cf. tdp 207 et 209 Extrait 26, tdp 241 Extrait 27 et dans l'annexe, tdp 192, 216, 223, 235, et 239 pages 35, 38, 39 et 40). La topogénèse est plus équilibrée que dans les jeux précédents et la progression s'opère d'abord sur l'axe logique structurant les savoirs, puis en termes d'approfondissement lorsqu'il s'agit de prouver le caractère total de la réaction à partir de la détermination de la constante d'équilibre (cf. tdp 240, 244 Extrait 27). Les échanges communicationnels suivent généralement le format IRE (cf. Extrait 25, Extrait 26 et Extrait 27) ; le professeur est à toujours l'origine des initiations à l'exception d'une fois où l'élève demande les raisons pour lesquelles il est nécessaire d'étalonner le pH-mètre (cf. tdp 196 Extrait 25). Le jeu n'est pas défini et les élèves découvrent les enjeux au fur et à mesure des épisodes successifs. Les régulations susceptibles d'orienter les élèves dans le jeu sont absentes.

Les savoirs, relatifs à la conclusion sur les caractères rapide, total et exothermique de la réaction entre un acide fort et une base forte à partir des données expérimentales et de la constante d'équilibre, sont exprimés en langage scientifique naturel, sous forme de représentation graphique et à l'aide d'écritures symboliques. Ils sont majoritairement dans le champ des théories modèles (cf. Extrait 26 et Extrait 27) lorsqu'il s'agit de prouver le caractère total à partir de la constante d'équilibre, et dans le champ empirique (cf. Extrait 22 et dans l'annexe, tdp 169 page 34), lorsqu'il est question d'induire les caractères rapide et exothermique de la réaction.

172. E : 16,1

173. P1 : disons 16,1 mettons le dans la solution HCl et mesurons sa température à quoi est égale

174. E : 16,3

175. P1 : 16,1 c'est bon nous allons mélanger les deux à la fois et on va regarder allez-y

176. E2 : la température augmente

177. P1 : la température grimpe elle augmente elle dépasse les 20 degrés donc la température du mélange 20,7 alors qu'elle conclusion peut-on tirer oui la conclusion

**Extrait 22: les savoirs relatifs au caractère exothermique de la réaction de dosage sont exprimés en langage scientifique naturel dans le champ empirique**

Par ailleurs, ces savoirs sont proposés selon une alternance entre des phases interactives autoritatives, où l'élève n'a pas beaucoup de place, et des phases autoritatives non interactives au cours desquelles le professeur procède à des monologues de monstration (cf. tdp 186\_1 Extrait 24 et dans l'annexe tdp 189 pages 35), d'explicitation (cf. tdp 199 Extrait 25 et aussi tdp 213 pages 35 dans l'annexe), d'approfondissement (cf. tdp 199 pages 35 et 36 dans l'annexe) et de formalisation (cf. tdp 247\_1 Extrait 27 et aussi tdp 232\_1 pages 39 dans l'annexe). Cette dernière formalisation vaut institutionnalisation finale et porte sur la totalité des caractères rapide, exothermique et total de toutes les réactions acide fort base forte (cf. tdp247\_1 Extrait 27). Le caractère d'unicité, signalé dans l'épisode 3.2 comme associé à la réaction de dosage n'est pas repris (toutefois, le caractère total de la réaction englobe son unicité), alors que le caractère exothermique, non signalé au début a été rajouté en cours de séance.

Le professeur assure une continuité dans le champ empirique lorsqu'il établit un lien entre le volume de prélèvement 20 mL et le nombre de fois qu'on doit utiliser la pipette de 10 mL (cf. tdp 184 dans Extrait 23).

184. P1 : dans un bécher on verse cette quantité **on utilise une pipette graduée de 10ml donc on l'utilise deux fois maintenant** (0:46:54) on va faire une étude qualitative en fin de compte on va pas réaliser un dosage (0:47:12) alors dans un autre bécher prélever 20mL de la solution

**Extrait 23: l'enseignant établit une continuité « anecdotique », pour les élèves de terminales, entre le volume 20 mL à prélever de NaOH et le nombre de fois qu'on doit utiliser une pipette de 10 mL**

Des discontinuités, montrant l'existence de l'implicite dans l'action de l'enseignant, émergent au cours de ce jeu notamment entre l'interprétation microscopique du mélange acide-base et le champ des observables d'une part, et d'autre part entre l'écriture d'une relation symbolique et la signification symbolique de ses termes (cf. Extrait 24 pour les deux discontinuités) pour expliquer le caractère basique de la solution à partir de la couleur du BBT.

186\_1. P1 : voilà NaOH 0,02 M (P1 prélève 20mL de soude) il faut rincer à chaque fois la pipette (0:48:38). Bien on a les deux solutions si on place quelques gouttes de BBT dans l'acide et dans la base voilà **vous voyez bien que les colorations jaune et bleue de deux solutions maintenant nous allons** (0:49:010) **mélanger les deux solutions** et utiliser un pH mètre afin de mesurer le pH du mélange allons mélanger les deux **vous voyez bien la solution est basique** vu que  $C_1V_1$  est inférieur à  $C_2V_2$  (0:49:33) **donc le réactif limitant est l'acide** (0:49:49)

Extrait 24 : des discontinuités apparaissent dans le discours de P1

En effet, dans ce tour de parole 186\_1, on voit bien qu'au niveau de l'interprétation microscopique, il manque un observable (couleur bleue de BBT) pour pouvoir dire que la solution est basique (à la fin de tdp 186), et qu'au niveau de l'écriture de la relation symbolique «  $C_1V_1$  inférieur à  $C_2V_2$  », le professeur n'explique ni les significations de  $C_1$ ,  $V_1$ ,  $C_2$ ,  $V_2$  ni la représentation symbolique de la relation.

Par ailleurs, le professeur fait une petite digression lorsqu'il évoque l'utilisation d'un pH-mètre (tdp 186\_1), alors qu'il n'a pas terminé son explication sur le dosage colorimétrique. Il assure une continuité entre le langage scientifique oral et la représentation graphique pour justifier théoriquement la nécessité de l'étalonnage du pH-mètre (cf. Extrait 25).

196. E : pourquoi on doit étalonner le pH mètre

197. P1 : ah voilà (0:54:42) c'est une bonne question votre camarade demande pourquoi doit on étalonner un pH-mètre (0:54:47) pourquoi ne pas utiliser directement le pH-mètre

198. E : laver avec l'eau distillée je le comprends parce que peut être pour enlever les restes des ions mais

199. P1 : voilà très bien (0:55:01) est ce que vous pouvez répondre pourquoi doit on étalonner le pH-mètre et pourquoi avec deux solutions tampons (0:55:18).. Bon j'explique (0:55:20) tout simplement parce que le pH-mètre comporte un dispositif comme le voltmètre et les deux électrodes combinées vont nous donner à cet appareil une certaine différence de potentielle une tension et cette tension cava se traduire par un pH alors on va transformer la tension aux bornes des deux électrodes en un pH d'accord donc en fonction de U.. **on donne le pH alors il s'agit d'une fonction affine en fin de compte entre le pH et la tension** ce qui fait que



Extrait 25: le professeur établit un lien entre le langage oral et la représentation graphique  $\text{pH}=\text{f}(\text{U})$  pour justifier théoriquement la nécessité de l'étalonnage du pH-mètre

Il assure également une continuité entre le langage scientifique oral et les représentations symboliques, majoritairement dans le champ des théories/modèles (cf. Extrait 26 et Extrait 27 et aussi dans l'annexe tdp 214, 217, 219, 220 pages 33 et 34).

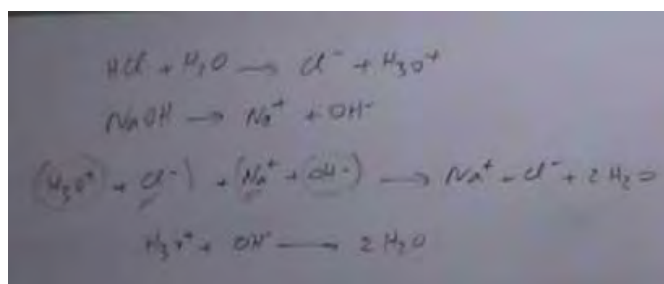
206. P1 : alors lorsqu'on mélange les deux solutions la solution de HCl et la solution de NaOH on va placer les deux  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{Cl}^-$  avec les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{OH}^-$  d'accord et ce qui va se passer et que la réaction va se produire entre quel ion et quel ion quels sont les ions qui vont entrer dans la réaction (0:58:39)

207. E :  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$

208. P1 :  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  (0:58:43) les ions  $\text{Cl}^-$  et les ions  $\text{Na}^+$  sont

209. E : inertes

210. P1 : sont des ions inertes c.-à-d. qui ne vont pas réagir alors on peut simplifier l'équation en disant que c'est une réaction entre  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  qui donne  $2\text{H}_2\text{O}$  très bien alors (0:59:18)



Extrait 26 : le professeur établit un lien entre le langage oral et les représentations symboliques pour écrire l'équation de la réaction du dosage.

240. P1 : car il s'agit d'un solvant (1 :07 :31) donc notez dans l'expression de K ça sera donc un sur  $\text{H}_3\text{O}^+$  fois  $\text{OH}^-$  je répète  $\text{H}_2\text{O}$  est un solvant alors c'est égale à quoi la concentration de  $\text{H}_3\text{O}^+$  fois  $\text{OH}^-$

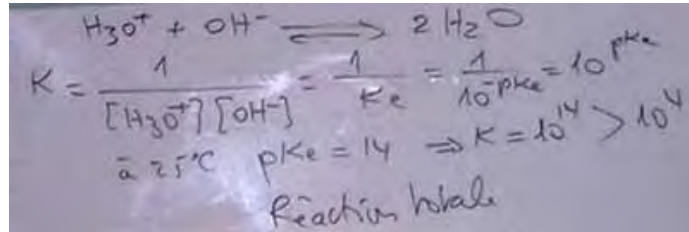
241. E : c'est  $K_e$

242. P1 : c'est  $K_e$  (1 :07 :54) donc un sur

243. E : 10 puissance -14

244. P1 : à 25°C mais dans le cas général c'est pke donc c'est 10 à la puissance pke donc à 25 par exemple pke c'est 14 donc K est égal 10 à la puissance 14 c'est supérieur à 10 à la puissance 4 donc la réaction est totale

Le professeur écrit sur le tableau



245. P1 : voilà une autre méthode pour montrer que

246. E : la réaction est totale

247\_1. P1 : la réaction acide base est totale (1:08:30) ça va ou bien le taux d'avancement ou la constante d'équilibre (1:08:42) on passe maintenant à une conclusion la réaction d'un acide fort et base forte est alors rapide exothermique et totale (1:09:06)

Extrait 27 : le professeur établit un lien entre le langage oral et les représentations symboliques pour vérifier le caractère total de la réaction à partir de la valeur de la constante d'équilibre K (tdp 240 et 244).

### 1.1.1.2.5.3 En résumé

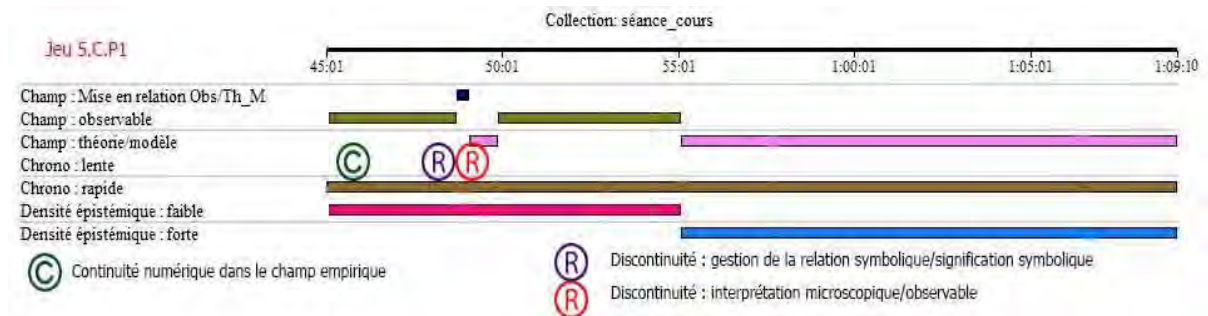


Figure 19: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 5 de la séance de cours pour P1

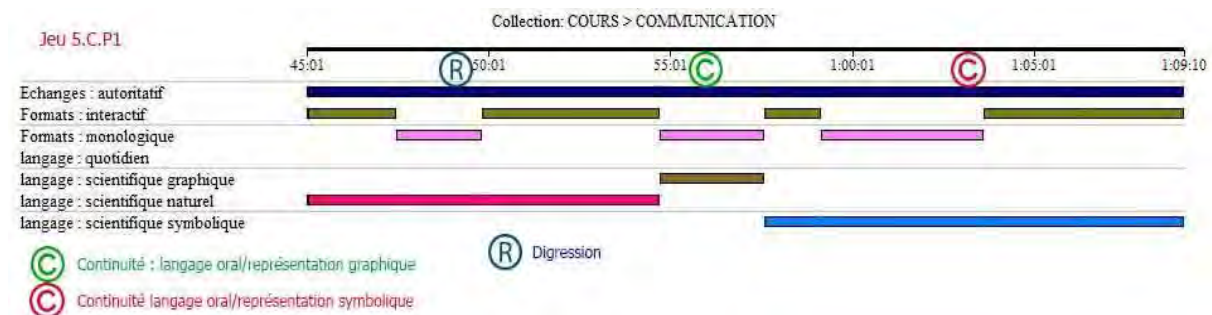


Figure 20: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 5 de la séance de cours pour P1

Jeu 5.C.P1	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
	Partagée	P	Absente	Absente	Absente	Présente

Tableau 8: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 5.C.P1 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### **I.1.2 - Analyse de la séance de travaux pratiques TP1 de P1, intitulée « Variation du pH d'une solution d'un monoacide fort par ajout progressif d'une solution de monobase forte »**

Nous proposons tout d'abord le synopsis complet de cette séance ensuite, une analyse fine des jeux didactiques enrichies chaque fois par un graphe de l'évolution temporelle de chacun des descripteurs et mots clés, délivré par Transana. Par ailleurs, nous renvoyons le lecteur aux annexes pour une consultation de la transcription (cf. pages 73 – 95 dans l'annexe) et de l'analyse didactique complète des sous – jeux ou épisodes N-1 (cf. pages 102 – 120 dans l'annexe).

#### **I.1.2.1 Synopsis de la séance de TP1 du professeur P1**

Le synopsis suivant traduit notre structuration à l'échelle méso, en thèmes, en jeux didactiques et en organisation sociale de la classe et à une échelle N-1, intermédiaire entre le mésoscopique et le microscopique. Nous remarquons que l'organisation sociale est généralement en « classe entière », elle change en « groupe de 4 » lors de la réalisation de TP et n'est « individuelle » lorsque l'élève détermine sur sa courbe les coordonnées du point d'équivalence. Par ailleurs, la structuration en thèmes montre une prépondérance du thème « Réalisation du dosage de HCl par NaOH » qui occupe lui seul une durée à peu près 45 minutes.

Thèmes	Jeux didactiques	Episodes		Organisation sociale	Temps
		N°	Intitulés		
Thème 1 Dosage AF BF (Rappels – objectif de la séance) 0:00:00 → 0:04:59	(Jeu 1) Se rappeler les nécessités matérielles et réactionnelles pour un dosage entre un acide fort et une base forte	Ep_1.1	Citer les caractères de la réaction entre un acide fort et une base forte	CE	0:00:00 → 0:01:24
		Ep_1.2	Définir un monoacide	CE	0:01:24 → 0:03:08
		Ep_1.3	Enumérer les éléments du dispositif expérimental	CE	0:03:08 → 0:04:59
Thème 2 Courbe de dosage AF BF 0:04:59 → 0:14:09	(Jeu 2) Proposer l'allure de la courbe pH=f(VB) et en discuter collectivement les propriétés	Ep_2.1	Proposer l'allure de la courbe pH=f(VB) et en discuter collectivement ses propriétés	CE	0:04:59 → 0:14:09
Thème 3 Mode opératoire du dosage AF BF 0:14:09 → 0:25:26	(Jeu 3) Se rendre compte du mode opératoire à utiliser pour le dosage HCl par NaOH	Ep_3.1	Nommer les éléments du dispositif expérimental à partir d'une image projetée	CE	0:14:09 → 0:15:54
		Ep_3.2	Justifier le choix du volume de prélèvement 30mL d'acide au lieu de 10mL	CE	0:15:54 → 0:20:07
		Ep_3.3	Se rendre compte de la nécessité d'utiliser un pH-mètre au lieu des papiers pH	CE	0:20:07 → 0:21:16
		Ep_3.4	Réaliser qu'il existe une variation du pH initial dans le cas d'un ajout d'eau au prélèvement acide	CE	0:21:16 → 0:23:36
		Ep_3.5	Prendre connaissance du mode opératoire	CE	0:23:36 → 0:25:26
Thème 4 Réalisation du dosage de HCl par NaOH 0:25:34 → 1:11:53	(Jeu 4) Réaliser l'expérience de dosage de HCl par NaOH	Ep_4.1	Réaliser l'expérience de dosage de HCl par NaOH	G de 4	0:25:26 → 0:57:34
	(Jeu 5)	Ep_5.2	Tracer la courbe de variation pH=f(VB) à partir des données expérimentales	Indi + CE	0:57:34 → 1:11:53

	Tracer la courbe de la variation de pH de la solution en fonction de volume de NaOH ajouté				
Thème 5 Interprétation de la courbe de variation pH=f(VB) 1:11:54 → 1:16:16	(Jeu 6) Suivre l'interprétation de la courbe de dosage	Ep_6.1	Comparer entre la courbe obtenue et celle de départ	CE	1:11:54 → 1:14:27
		Ep_6.2	Comprendre l'interprétation de la courbe de dosage	CE	1:14:30 → 1:16:16
Thème 6 Le point d'équivalence 1:16:16 → 1:29:27	(Jeu 7) Exploiter les données expérimentales et théoriques associées au point d'équivalence	Ep_7.1	Suivre l'exposé de P1 relatif à la détermination des coordonnées du point d'équivalence à l'aide de la méthode des tangentes à partir d'une simulation projetée	CE	1:16:16 → 1:20:23
		Ep_7.2	Déterminer les coordonnées du point d'équivalence sur sa courbe	Indi	1:20:23 → 1:23:28
		Ep_7.3	Calculer théoriquement les coordonnées du point d'équivalence	CE	1:23:28 → 1:28:35
		Ep_7.4	Se rendre compte de la nature de la solution à l'équivalence	CE	1:28:35 → 1:29:27
Thème 7 Effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage 1:29:27 → 1:42:28	(Jeu 8) Etudier l'effet de la dilution sur les courbes de dosage	Ep_8.1	Simuler l'effet de la dilution sur les courbes de dosage	G de 4	1:29:27 → 1:36:05
		Ep_8.2	Interpréter l'effet de la dilution à partir des courbes tracées par le logiciel (dont la variation du pH initial)	CE	1:36:05 → 1:42:28

Tableau 9: synopsis de la séance de TP1 pour P1



### **I.1.2.2 Analyse de jeux didactiques de la séance de TP1 pour le professeur P1**

Nous rendons compte de l'analyse didactique des jeux J1, J2, J3, J5, J6, J7 et J8 relatifs à la première séance de travaux pratiques pour le professeur P1. Nous avons choisi de ne pas analyser le jeu 4 « Réaliser l'expérience du dosage de HCl par NaOH » au cours duquel les élèves réalisent en mini-groupe l'expérience parce que nous nous intéressons aux interactions collectives en classe entière. Notons que pour ne pas alourdir le texte des résultats, nous présentons uniquement les analyses des jeux didactiques et nous renvoyons le lecteur aux annexes pour la consultation de l'analyse des épisodes de niveau N-1 relatifs à cette séance sur laquelle l'analyse des jeux est construite (cf. pages 102 – 120 dans l'annexe).

#### **I.1.2.2.1 Analyse du jeu 1 : « Se rappeler les nécessités matérielles et réactionnelles pour un dosage entre un acide fort et une base forte »**

##### ***I.1.2.2.1.1 Narration didactique***

*A la demande du professeur, faisant appel à la mémoire didactique, les élèves citent les trois caractères de la réaction entre un acide fort et une base forte. Ensuite, le professeur annonce l'objectif de la séance dans laquelle apparaissent, dans les propos qui sont tenus, quelques ambiguïtés quant au sens de dosage de titrage et de suivi pH-métrique. Par la suite, professeur et élèves définissent, à partir d'un jeu de questions/réponses, un monoacide comme étant une molécule ou ion capable de libérer un ion hydronium  $H_3O^+$ . Le professeur annonce alors le suivi de la variation du pH d'un mono acide fort acide chlorhydrique HCl par une base forte NaOH. Enfin, il rappelle les éléments du dispositif expérimental sous forme d'un monologue, avec les mêmes confusions entre dosage, titrage et suivi pH-métrique, monologue dans lequel les élèves remplissent les trous qu'il laisse, correspondants aux termes pH-mètre, pipette et burette graduée.*

##### ***I.1.2.2.1.2 Analyse didactique***

La chronogénèse avance rapidement sous l'orientation du professeur qui réintroduit dans le milieu les éléments du dispositif expérimental qui ont été déjà abordé dans la séance précédente. La topogénèse est partagée, en effet la contribution des élèves dans le milieu est significative, ils rappellent correctement les caractères rapide, exothermique et total de la réaction de dosage (cf. tdp 8, 10, 14, 15, 17, 19 et 23 Extrait 28), définissent un monoacide (cf. tdp 8, 17 et 21 Extrait 28) et donnent un exemple d'une base forte (cf. tdp 23 Extrait 28).

- 4\_2. P1 : c'est quoi le monoacide fort ? Quand est ce qu'on parle d'un monoacide oui (0:01:29)
5. E1 : lorsque lorsqu'il capte heuhh
6. E2 : un élément chimique capte H<sup>+</sup>
7. P1 : l'acide capte (0:01:36) H<sup>+</sup>
8. E : libère H<sup>+</sup>
9. P1 : libère.. un acide c'est (0:01:39) une entité chimique c'est pas élément chimique c'est une entité chimique (0:01:44) lorsqu'on parle d'une entité chimique on veut dire quoi
10. E : soit neutre ou chargé
11. P2 : soit neutre ou chargé c'est-à-dire soit (0:01:57.7)
12. E : un atome
13. P1 : oui un atome (0:02:02) c'est possible d'avoir un atome qui joue le rôle d'un acide
14. E1 : non un ion (0:02:07)
15. E2 : molécule
16. P1 : molécule ou ion (0:02:10) donc l'entité chimique capable de céder un ion H<sup>+</sup> de libérer un ion H<sup>+</sup> .. ça c'est l'acide mais quand est ce qu'on parle d'un monoacide ? (0:02:22)
17. E : il peut libérer un seul ion d'hydrogène
18. P1 : voilà (0:02:25) lorsque chaque molécule ou chaque ion est capable de libérer un seul ion H<sup>+</sup> d'accord (0:02:35) comme exemple la solution
19. E : HCl
20. P1 : l'acide chlorhydrique HCl (0:02:39) le HCl avec l'eau il libère un ion H<sup>+</sup> pour former l'ion.. Qu'appelle-t-on l'ion H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> (0:02:45) l'ion H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>
21. E : hydronium
22. P1 : hydronium (0:02:48) très bien l'ion hydronium bien donc on va suivre la variation du pH de la solution (0:02:53) d'un monoacide fort qu'on va choisir le HCl par ajout progressif d'une solution d'une monobase forte.. On va utiliser comme monobase forte
23. E : la soude
- 24\_1. P1 : la soude très bien (0:03:08)

Extrait 28 : format IRE des échanges communicationnels. Le professeur initie les échanges lors des tdp 9,11, 13, 16 les élèves répondent lors des tdp 10, 12, 14, 15 et 17) et le professeur évalue lors des tdp 11 13, 16 et 18).

Les formats d'interaction gardent généralement la forme IRE et le professeur est toujours à l'origine des initiations (cf. tdp 9, 10 et 11 dans l'Extrait 28). Les régulations sont généralement

absentes lorsque l'enjeu de l'épisode se limite à des appels à la mémoire didactique, soit neutres quand que le professeur donne un peu d'espace aux élèves pour exprimer leurs idées ou (cf. tdp 7 et 13 Extrait 28). L'enjeu du jeu qui est de rappeler les nécessités matérielles et réactionnelles pour un dosage, n'est pas clairement défini et la dévolution n'est pas opérée. Les élèves répondent au fur et à mesure des épisodes successifs par effet de contrat à partir d'une orientation fermée des questions (cf. tdp 24\_2, 26 et 28 Extrait 29).

24\_2. P1 : alors donc on va aujourd'hui suivre si vous voulez on va étudier cette réaction acide base par suivi pH-métrique. On parle de suivi pH-métrique c'est un titrage s'effectuant avec un pH-mètre on va pas utiliser un indicateur coloré chercher l'équivalence tout simplement par le virage de l'indicateur coloré non on va effectuer donc l'étude expérimentale en utilisant un pH-mètre (0:03:42). On étudie les variations du pH du milieu réactionnel pour cela il nous faut un oui

25. E : un pH-mètre

26. P1 : oui un pH-mètre d'accord muni d'une sonde des électrodes en verre combinées qu'on va les plonger dans la solution pour cela nous allons donc (0:04:02) choisir un volume bien précis mesuré à l'aide de quoi (0:04:08)

27. E : une pipette

28. P1 : une pipette graduée ou jaugée bien (0:04:14) par la suite à cette solution qu'on va titrer qu'on va placer dans un bécher nous ajouter progressivement avant tout on va élever les valeurs de pH de notre solution acide et par la suite en ajoutant progressivement la solution de soude nous allons à chaque fois la valeur du pH d'accord la soude doit être versée progressivement à l'aide de quoi

29. E : une burette

30. P1 : à l'aide d'une burette (0:04:58)

31. E : graduée

32\_1. P1 : à l'aide d'une burette graduée très bien (0:04:59)

**Extrait 29: les élèves répondent par effet de contrat suite à des questions très fermées**

L'institutionnalisation à la fin du jeu est absente bien qu'on trouve des formalisations à la fin de quelques épisodes (cf. tdp 22 Extrait 28). Les savoirs, relatifs aux nécessités matérielles et réactionnelles pour un dosage entre un acide fort et une base forte, sont exprimés en langage scientifique oral, d'abord dans le monde des théories/modèles, lorsqu'il s'agit de citer les caractères de la réaction du dosage acide fort base forte et de définir un monoacide fort, et

ensuite dans le champ des observables lorsqu'il s'agit de rappeler les éléments du dispositif expérimental. Ces savoirs sont présentés selon des phases interactives (cf. Extrait 28), d'abord purement autoritatives puis prenant un aspect relativement dialogique où les élèves ont de la place pour raisonner et commenter, et selon une phase non interactive autoritative sous forme d'un monologue à trois « trous » dans lesquels les élèves ont à caser le pH-mètre, la pipette et la burette graduée, avec d'ailleurs une confusion entre dosage, titrage et variation du pH (cf. Extrait 29).

C'est un jeu introductif de ce qui va se passer au cours de cette séance. La densité épistémique est généralement faible ; le professeur sollicite la mémoire didactique pour faire avancer les savoirs. Nous pouvons constater au cours de ce jeu que des notions qu'on peut considérer comme « notions de base en chimie » telles que atome, molécule, ion et entités chimiques ne sont pas complètement assimilées dans la classes (cf. tdp 12, 14 et 15 dans l'Extrait 28).

### 1.1.2.2.1.3 En résumé

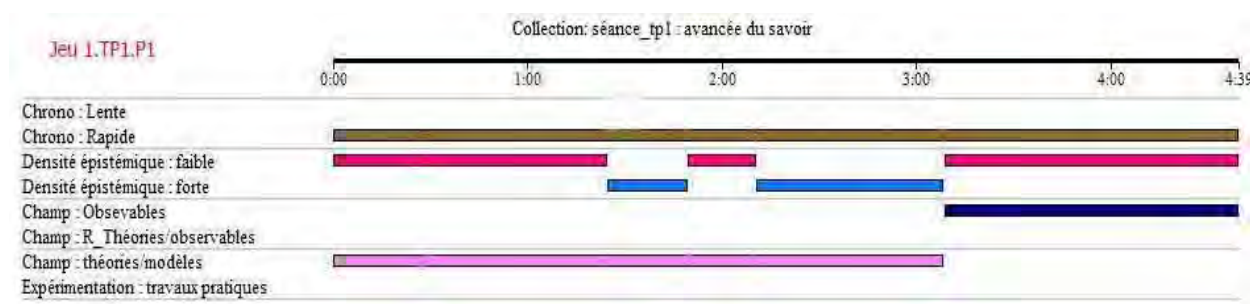


Figure 21: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 1 de la séance de TP pour P1

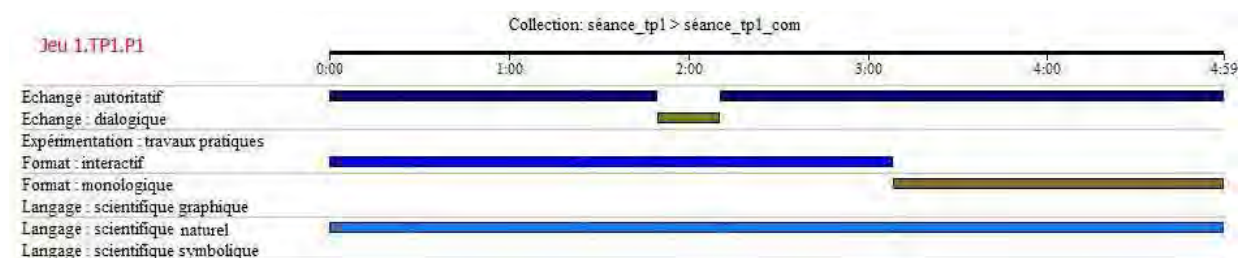


Figure 22: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 1 de la séance de TP pour P1

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
1.TP1.P1	P	P	Absente	Absente	Absente	Absente

Tableau 10: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 1.TP1.P1 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### **I.1.2.2.2 Analyse du jeu 2 : « Proposer l'allure de la courbe $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{B})$ et discuter collectivement les propriétés »**

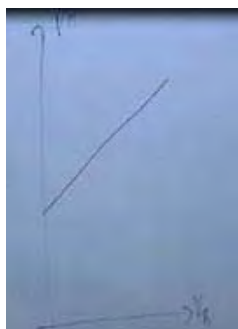
#### ***I.1.2.2.2.1 Narration didactique***

*Après avoir rappelé l'objectif de la séance, faire le dosage d'un acide fort HCl par une base forte NaOH, le professeur demande aux élèves de proposer l'allure de la courbe de variation du pH lors de ce dosage. Un élève propose une droite affine décroissante. Après sa description rapide par le professeur, un élève conteste la proposition, le pH devant augmenter selon lui quand on verse la soude. Il propose donc une droite affine croissante. Deux autres propositions suivent, une courbe traduisant une variation linéaire du pH et une courbe croissante avec un court palier horizontal de pH en son milieu. A la demande du professeur, la première proposition est supprimée par la classe en raison de la décroissance du pH. Un élève propose d'abandonner aussi la variation linéaire sous le prétexte que le pH se stabilise à l'équivalence, proposition soutenue par d'autres. Le professeur pour sa part intervient sur l'existence d'un point de pH égale à 0 dans cette représentation, ce qui amène les élèves à abandonner cette proposition. Les représentations restantes ne sont pas discutées, le professeur renvoie alors à l'expérimentation pour statuer.*

#### ***I.1.2.2.2.2 Analyse didactique***

Les élèves apportent des éléments manquant de pertinence dans le milieu, sans toutefois justifier la plupart d'entre eux, concernant l'allure de la courbe de pH. Le professeur quant à lui décrit sommairement chaque proposition (cf. tdp 46 Extrait 30 et dans l'annexe tdp 37, 49 et 55 pages 75, 76 et 77) et amène les élèves dans la discussion à expliciter leur point de vue par des questions.

*L'élève E1 retourne à sa place et l'élève E2 au tableau et il trace l'allure suivante (0:07:54)*



**Figure 23 : allure 2 de  $\text{pH}=\text{f}(\text{VB})$**

46. P1 : voilà il pense que le pH va croître puisque vous avez au départ une solution acide et on verse la base le pH augmente.. est ce qu'il y a d'autres propositions (0:08:15) hein oui

**Extrait 30:** P1 décrit sommairement la proposition de E1 en tdp 46. Il établit un lien entre la description en langage scientifique naturel et représentation graphique.

La communication dans ce jeu est donc interactive et dialogique. Les régulations sont rares, on est dans un format d'interaction IRPRP<sup>55</sup> dans lequel la poursuite de l'échange par le professeur est souvent neutre ou vise à faire expliciter les propos de l'élève sans chercher à l'orienter dans une direction particulière (cf. Extrait 31 et Extrait 32).

57. P2 : trois propositions pour les quelles (0:10:32) le pH croît et une proposition pour laquelle le pH décroît d'accord (0:10:37) est ce qu'on peut supprimer une proposition dès le départ (0:10:42)

58. Collectif : le pH décroît

59. P2 : le pH décroît (0:10:47) c'est à supprimer ?

60. E : oui

61. P2 : pourquoi (0:10:48)

**Extrait 31:** le professeur initie l'échange (tdp 57), l'élève répond (tdp 58), le professeur poursuit par une question neutre (tdp59), l'élève répond (tdp 60) et le professeur poursuit par une question demandant des explicitations (tdp 61)

87. P2 : bien (0:12:37) est ce qu'on peut supprimer l'une de deux proposition deuxième et la troisième c'est à dire linéaire ou affine (0:12:44)

88. E : le pH ne peut pas commencer à zéro (0:12:47)

89. P2 : ne peut pas commencer à zéro pourquoi (0:12:49)

90. E : c'est une solution acide (0:12:50)

91. P2 : une solution acide son pH (0:12:51) ?

92. E : est différent de zéro (0:12:53)

93. P2 : le pH est différent de zéro (0:12:53) donc au départ la solution étant acide son pH ne peut pas être nul (0:12:57) donc la deuxième proposition est à éliminer puisque le pH de départ n'est pas nul (0:13:06)

**Extrait 32:** le professeur initie l'échange (tdp 87), l'élève répond (tdp 88), le professeur poursuit (demande d'argumentation) (tdp 89), l'élève répond (tdp 90) et le professeur poursuit (demande de complément d'argumentation) (tdp 91). Il assure également une continuité dans l'avancée des savoirs entre le langage scientifique naturel et graphique

---

<sup>55</sup> Initiation – Réponse – Poursuite – Réponse – Poursuite

La chronogénèse avance très lentement et la densité épistémique est faible. Aucune institutionnalisation n'est réalisée au cours du jeu et la dévolution est absente. Le professeur procède à deux régulations (cf. tdp 93 voir Extrait 32 et aussi tdp 71 page 77 dans l'annexe) notamment pour montrer que le pH de l'acide ne commence pas par zéro et ne diminue pas au cours de la réaction.

Les savoirs, ici relatifs au monde des modèles, sont exprimés en langage scientifique, naturel et graphique. Les deux modalités langage naturel et langage graphique sont étroitement associées tout au long du jeu et les discontinuités entre les deux représentations sont faibles (cf. tdp 46 Extrait 30, tdp 57 et 59 Extrait 31 et tdp 87, 89 et 93 Extrait 32).

Le professeur collecte quatre propositions pour l'allure de la courbe et en élimine deux conjointement avec les élèves (cf. Extrait 32), en utilisant les savoirs existants. Toutefois, si du point de vue des élèves, le jeu est clairement défini dès le début par le professeur (tdp 33 « d'après vous comment on va avoir l'allure de cette courbe si on veut représenter a priori avant de réaliser l'expérience ? » min 05:28), on peut s'interroger sur l'enjeu réel pour le professeur. S'agit-il de faire exprimer les conceptions des élèves ? Mais dans ce cas pourquoi ne pas leur demander d'argumenter les courbes proposées et pourquoi ne pas y revenir par la suite ? S'agit-il de faire des prévisions à partir des savoirs dont ils disposent déjà sur la réaction Acide Fort Base Forte ? Dans ce cas, pourquoi ne pas faire discuter les courbes restantes qui auraient pu être aussi éliminées au profit d'une courbe hypothétique résultant du modèle qu'il s'agirait alors de tester lors de l'expérience ? S'agit-il de motiver les élèves en les faisant « parier » sur une représentation et donc dans ce cas seule l'allure de la courbe compterait vraiment ? Mais alors pourquoi élimine-t-il deux d'entre elles et ne revient-il pas sur ce sujet à la fin de l'expérience qui suit ? Finalement, le professeur semble être dans un entre-deux sur l'enjeu de ce jeu et donc sur la nature des savoirs abordés en classe à ce moment-là, entre-deux qui renvoie à des interrogations sur le statut des savoirs scientifiques donné à voir dans la classe à cette occasion.

### I.1.2.2.3 En résumé

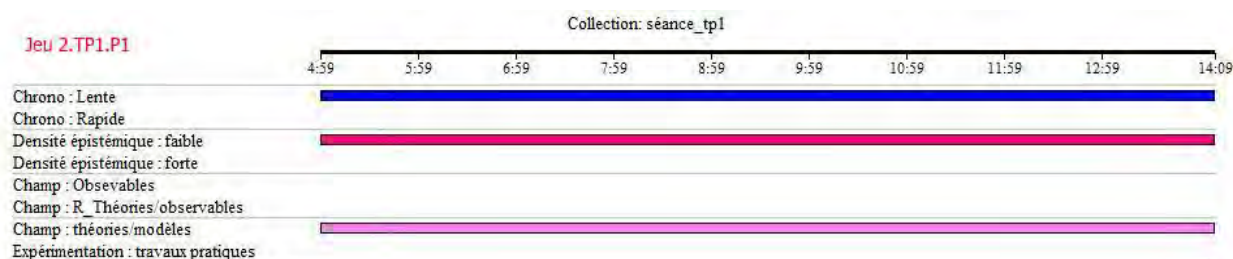


Figure 24: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée des savoirs dans le jeu 2 de la séance de TP pour P1

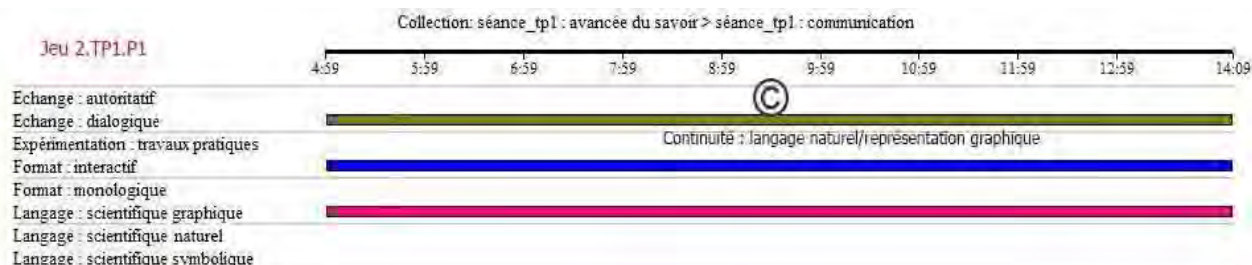


Figure 25: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 2 de la séance de TP pour P1

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
2.TP1.P1	E	E	Présente	Absente	Rare (2fois)	Absente

Tableau 11: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 2.TP1.P1 : chronogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### I.1.2.2.3 Analyse du jeu 3 : « Se rendre compte du mode opératoire à utiliser pour le dosage »

#### I.1.2.2.3.1 Narration didactique

Le professeur fait appel à la mémoire didactique des élèves pour nommer les éléments du dispositif expérimental du dosage. Ensuite, par un jeu de questions/réponses il lance un débat sur le volume de la solution acide à doser au bout duquel il justifie le choix de 30 mL comme volume du prélèvement acide au lieu de 10 mL, par la nécessité d'immerger la sonde du pH-mètre dans la solution. Par la suite, et par un jeu de questions/réponses/questions de relance/réponses, le professeur amène l'idée de la nécessité d'utiliser un pH-mètre au lieu de papiers pH pour mesurer le pH. Il indique que cette nécessité provient du fait de la précision de 1/100 offerte par le pH-mètre et fait conclure que la dilution du prélèvement acide est nécessaire pour immerger la partie sensible de la sonde du pH-mètre. A la suite de la remarque



*d'un élève concernant la variation de la concentration de l'acide dilué, le professeur fait appel à la mémoire didactique des élèves pour donner l'expression du pH d'un acide, sans qu'il précise sa force. Le professeur et les élèves établissent l'expression de la concentration de l'acide dilué et il reporte la conclusion sur la variation du pH de l'acide dilué à après la réalisation de l'expérience. Enfin, le professeur détaille, sous forme d'un monologue, la procédure et le mode opératoire relatifs à la réalisation de la réaction du dosage de l'acide chlorhydrique par la soude.*

#### ***1.1.2.3.2 Analyse didactique***

La chronogénèse avance sous la responsabilité du professeur. La densité épistémique est majoritairement faible lorsqu'il s'agit de rappeler les éléments du dispositif expérimental et de justifier le choix du prélèvement acide. Elle est dense sur un axe lié à la structure logique des savoirs lorsqu'il s'agit de la variation du pH initial et du prélèvement acide dans le cas de l'ajout de l'eau. La topogénèse est relativement partagée, le professeur laissant de l'espace aux élèves, dédié à nommer les éléments du dispositif expérimental, à exprimer leurs différents points de vue même sans raisonnement et à assurer l'évolution de la mésogénèse en introduisant des signifiants dont certains participent à l'avancée du savoir (cf. tdp 133, 134 et 136 Extrait 34 ; tdp 148 et 152 Extrait 35 ; tdp 154 Extrait 36 ; tdp 160 Extrait 38 ; tdp 121, 123, 125, 127, 138, 140, 142, 164, 166 et 169 pages 80, 81, 82 et 83 dans l'annexe).

Le jeu n'est pas défini au départ et les enjeux du jeu sont découverts au fur et à mesure des épisodes successifs (cf. tdp 145 Extrait 35 et aussi tdp 97\_2 pages 79 dans l'annexe,) et d'une formalisation intermédiaire (cf. tdp 153\_1 dans l'Extrait 35) faite par le professeur à la fin du troisième épisode. La dévolution est inopérante et les régulations susceptibles d'orienter les élèves sont pratiquement absentes à l'exception d'une, à aspect implicite (cf. tdp 151 Extrait 35), lorsque l'élève évoque la puissance de dix en lien avec la valeur du pH (cf. tdp 150 dans l'Extrait 35). Il n'y a pas d'institutionnalisation à la fin de ce jeu bien qu'il existe quelques formalisations intermédiaires (cf. tdp 153\_1 Extrait 35), ou conclusives. Ainsi, le professeur conclut à la fois en reprenant la proposition de l'élève quand elle est pertinente (cf. tdp 137 Extrait 34 et aussi tdp 141 et 143 pages 81 et 82 dans l'annexe) ou en statuant lui-même sur le savoir (cf. tdp 124 et 128 pages 80 et 81 dans l'annexe), ou encore en définissant l'enjeu de l'épisode (cf. tdp 172\_1 pages 83 dans l'annexe).

118. P1 : bien d'après vous est ce que c'est possible d'utiliser donc des prélèvements on dose uniquement 10mL au lieu de doser 30mL est ce que c'est possible de travailler avec 10mL (0:16:41) on prélève 10mL de la solution qu'on dose par la suite à l'aide de la solution basique (0:16:50)
119. E : non
120. P1 : pourquoi non
121. E : parce que c'est difficile de déterminer la superposition (0:16:56)
122. P1 : quelle superposition
123. E : de couleur
124. P1 : superposition de couleur ? (0:17:01) lorsqu'on a utilisé un indicateur coloré on a oublié de signaler qu'on va placer hein quelques gouttes de BBT pour détecter l'équivalence par le changement de couleur (le professeur ajoute quelques gouttes dans le bécher sur le dessin précédent) donc vous voyez (0:17:21) que c'est un peu difficile si on travaille avec 10mL d'observer le changement de couleur ?

**Extrait 33:** le professeur initie les échanges en tdp 118 (tdp 120), les élèves répondent en tdp 119 (tdp 121) et le professeur relance en tdp 120 (122)

Les interactions communicationnelles sont de type IRR<sup>56</sup> lorsqu'elles sont dialogiques (cf. tdp 118, 119, 120, 122 et 123 dans Extrait 33 et aussi dans Extrait 34 et Extrait 35) suivies généralement par une validation ou une conclusion après quelques échanges. Le professeur conclut à la fois en reprenant la proposition de l'élève quand elle est pertinente au regard de ses visées (cf. tdp 120 et 122 Extrait 33). Les échanges communicationnels reprennent à la fin du jeu la forme habituelle IRE (cf. tdp 153\_2, 154 et 155 dans Extrait 36). Le professeur est à l'origine de toutes les initiations à l'exception d'une seule où l'élève introduit l'utilisation de papiers pH (cf. tdp 144 dans Extrait 35).

132. P1 : quel est le problème (0:18:28)
133. E1 : la sonde ne peut pas atteindre toute la solution
134. E2 : on ne peut pas mesurer le pH (0:18:31)
135. P1 : pourquoi on ne peut pas mesurer le pH de la solution si le volume prélevé est assez petit (0:18:37)

---

<sup>56</sup> Initiation – Réponse – Relance

136. E : on n'aura pas assez de solution pour que la sonde soit en contact avec toute la solution

137. P1 : voilà pour que la sonde soit totalement plongée la partie sensible de la sonde doit être plongée dans la solution (0:18:53) pour cela placez votre électrodes en verre la partie sensible ne va pas être totalement émergées dans la solution (0:19:05)



Figure 26: illustration montrant l'émergence de la partie sensible de la sonde dans la solution

Alors on a deux solutions ou bien on utilise un volume assez important c.-à-d. plus que 20ml 30, 40mL ou bien est ce qu'on a d'autres solutions (0:19:15)... Est-ce qu'il y a d'autres solutions ?

Extrait 34 : P1 ouvre un débat sur le volume de la solution à doser. Les échanges, de type IRR, se font en langage scientifique ordinaire dans le champ empirique. Les élèves font évoluer le milieu (tdp 133, 134 et 136)

144. E : utiliser un papier pH (0:20:09)

145. P1 : ah (0:20:13) est ce que c'est possible d'utiliser les papiers pH pour relever le pH

146. E : oui c'est possible

147. P1 : oui c'est possible (0:20:16) donc on peut éliminer notre pH-mètre (0:20:18) hein

148. E : non c'est pas précis

149. P1 : voilà c'est pas précis (0:20:22) le pH-mètre va nous indiquer une valeur avec quelle précision..

150. E : dix puissances -3

151. P1 : c'est à dire on peut avoir un pH 2,328 (0:20:38) à l'aide d'un papier pH

152. E : non

153\_1. P1 : avec le pH-mètre on peut atteindre même 0,5 unité de pH (0:20:50) ce qui n'est possible avec les papiers pH alors on est obligé d'utiliser un pH-mètre qui donne une précision de l'ordre de 1/100 de pH (0:21:13) c'est à dire deux chiffres après la virgule (0:21:16)

Extrait 35: les échanges, de type IRR, se font en langage scientifique symbolique (tdp 149, 150, 151, 153\_1) dans le champ des théories/modèles. Les élèves font évoluer le milieu (tdp 148 et 152)

153\_2. P1 : alors on peut trouver une autre solution plus facile c'est d'ajouter de l'eau distillée une fois qu'on a prélevé les dix millilitres de la solution d'acide qu'on va doser par l'ajout de l'eau distillée (0:21:27) et on ajoute par exemple 30ml on aura en tout 50ml et dans ce cas l'électrode peut être facilement plongée dans la solution et la partie sensible sera émergée totalement dans la solution (0:21:36)

154. E : monsieur ça va changer la concentration (0:21:46)

155. P1 : ça va changer la concentration (0:21:51) oui ou non

Extrait 36 : les échanges reprennent la forme habituelle IRE (tdp 153\_2, tdp 154 et tdp 155) et les élèves participent à l'évolution du milieu (tdp 154).

Les savoirs, relatifs au mode opératoire à utiliser pour le dosage, sont exprimés majoritairement en langage scientifique naturel dans le champ empirique, en lien avec le schéma du dispositif expérimental et les objets réels du montage (cf. Extrait 34), et en langage symbolique dans le monde des théories/modèles, lorsqu'il s'agit d'amener l'idée de la précision donnée par le pH-mètre et de la variation du pH initial lorsque le prélèvement acide de départ est dilué (cf. tdp 150, 151 et 153 Extrait 35).

Le professeur assure, tout le long de ce jeu, une continuité, par gestes, entre le schéma du dispositif expérimental et les objets réels du montage notamment lorsque le professeur introduit la question de l'émergence de la sonde dans le bécher. Par ailleurs, le professeur assure une continuité numérique (cf. tdp 153\_1 Extrait 35) dans le champ des théories/modèles, lorsqu'il établit un lien entre la valeur de la précision du pH-mètre et le nombre de chiffres significatifs dans la valeur de pH.

De plus, le professeur assure une continuité numérique dans le champ empirique lorsqu'il établit un lien entre le volume de prélèvement 30 mL et le nombre de fois qu'on doit utiliser la pipette de 10mL (cf. tdp 177\_1 dans Extrait 37).

176. P1 : régler c'est à dire ... étalonner (0:24:35)... pour étalonner le pH-mètre

177\_1. P1 : le pH-mètre on a besoin d'une burette graduée de 25ml d'un bécher de 100mL de forme haute de façon à pouvoir donc plonger votre électrode facilement et une pipette graduée de 10ml pour prélever normalement nous devons avoir une pipette de 20ml mais on n'a pas **vous allez utiliser une pipette de 10 si nous voulons 30 mL on prélève trois fois** et par la suite un pH-mètre et l'agitateur magnétique (0:25:25)

Extrait 37: le professeur assure une continuité entre le volume de la solution acide à prélever (30 ml) et le nombre de fois qu'on utilise une pipette de 10ml

Une continuité entre le langage scientifique oral et le langage symbolique est établie également dans le champ des théories/modèles notamment, lors de l'écriture de l'expression de la concentration de l'acide dilué (cf. tdp 167 pages 83 dans l'annexe). Toutefois, le professeur apporte des éléments dans le milieu dont certains, concernant la précision de la force de l'acide dans l'expression du pH utilisé, sont approximatifs (cf. tdp 159 et 161 Extrait 38). En effet, une discontinuité entre l'interprétation macroscopique et la représentation symbolique est alors relevée lorsque le professeur amène l'idée que l'expression du pH de la solution acide est  $\text{pH} = -\log C$ . C'est une discontinuité qui est susceptible de créer dans l'avancée du savoir une assimilation chez les élèves entre l'expression du pH d'un acide fort et celle de l'acide faible. On relève également une discontinuité dans la logique de déroulement des échanges ; on s'attend après le tour de parole 176 (cf. tdp 176 Extrait 37) à une explication de la procédure d'étalonnage du pH-mètre alors que le professeur poursuit en tdp177 (cf. tdp 177\_1 dans l'Extrait 37) la procédure de la réalisation de la réaction de dosage.

159. P1 : non le pH de la solution acide

160. E : pH égal  $-\log C$  (0:22:01)

161. P1 : le pH c'est  $-\log C$  (0:22:03) donc lorsqu'on écrit (il écrit sur le tableau  $\text{pH} = -\log C$ ) (0:22:06)  $\text{pH} = -\log C$  et l'ajout de l'eau va changer la concentration C' va être égale à quoi (0:22:13)

**Extrait 38:** le professeur ne précise pas en tdp 159 qu'il s'agit d'un acide fort et enchaîne en tdp 161 avec l'expression proposée par l'élève (tdp 160).

C'est un jeu majoritairement interactif pouvant atteindre un degré de dialogisme, notamment lorsqu'il est question de justifier le prélèvement acide. Par ailleurs, le professeur ouvre un débat sur le volume de la solution à doser en lien avec une question matérielle (cf. Extrait 34 et Extrait 35), et assure justement une continuité entre l'expression sur ce volume, délivrée en langage naturel, et la représentation schématique du bécher (cf. tdp 137 Extrait 34). On peut s'interroger sur la raison qui le pousse à introduire cette question dans la mesure où il va garder 30 ml tout au long du protocole expérimental. Cette question, si elle a un sens dans la manipulation, pourrait être simplement réglée par l'introduction au cours de la procédure d'une signalisation rapide de l'utilité d'un prélèvement « adéquat » pour tremper la sonde. De notre point de vue, le professeur soulève un problème peu utile dans l'avancée des savoirs qui pourrait créer une discontinuité dans cette progression.

### I.1.2.2.3.3 En résumé

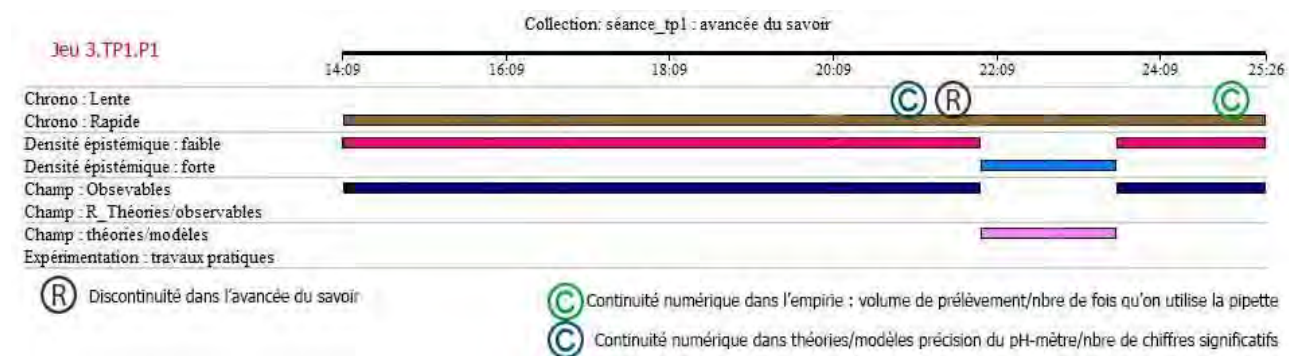


Figure 27: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 3 de la séance de TP pour P1

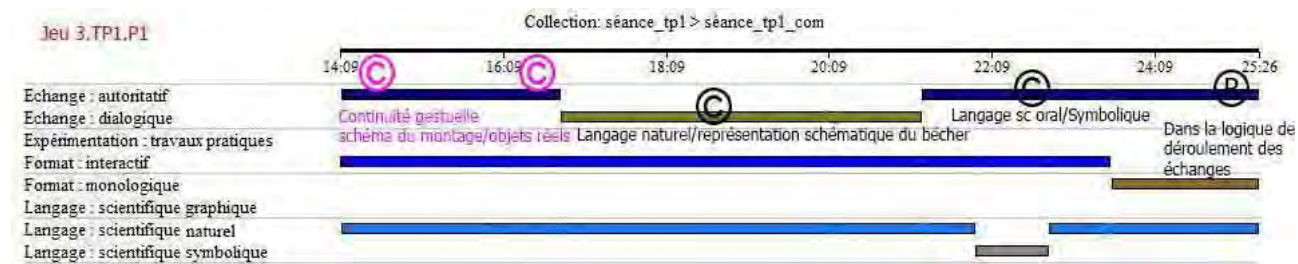


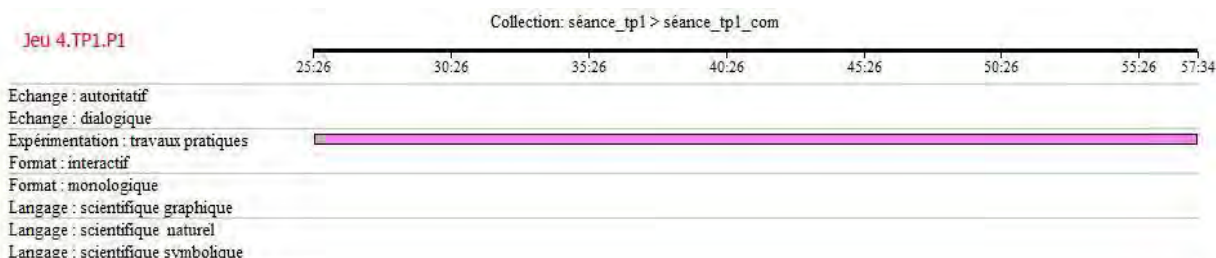
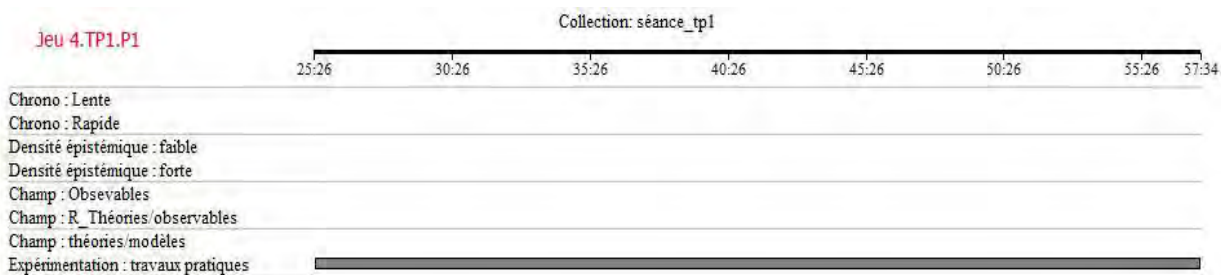
Figure 28: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 3 de la séance de TP pour P1

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
3.TP1.P1	Partagée	E	Absente	Absente	Absente	Absente

Tableau 12: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 3.TP1.P1 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### I.1.2.2.4 Jeu 4 : « Réaliser l'expérience du dosage de HCl par NaOH »

Les élèves se divisent en quatre groupes de quatre élèves chacun et chaque mini-groupe rejoint une paillasse sur laquelle on trouve le matériel indiqué dans la procédure expérimentale exposée par le professeur. Les élèves, à la demande de leur professeur, à étalonnent leurs pH-mètres avec deux solutions tampons de pH = 4 et pH = 7. Ensuite, ils commencent à réaliser le suivi pH-métrique de la réaction entre l'acide chlorhydrique HCl et la soude NaOH. De ce fait, ils prélèvent dans un bécher 30 mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration inconnue, ajoutent quelques gouttes de BBT et plongent un barreau aimanté dedans. Ils mettent leurs béchers sur les agitateurs magnétiques. Ensuite, ils remplissent la burette d'une solution d'hydroxyde de sodium 0,02 M. A chaque addition d'un volume bien déterminé de NaOH, les élèves notent la valeur de pH donnée par le pH-mètre.



### I.1.2.2.5 Analyse du jeu 5 : « Tracer la courbe de la variation de pH de la solution en fonction du volume de NaOH ajouté »

#### I.1.2.2.5.1 Narration didactique

Suite à la réalisation du suivi pH-métrique de la réaction entre un acide fort HCl et une base forte NaOH dans chacun des quatre mini-groupes, le professeur demande aux élèves de tracer la courbe de pH en fonction du volume de la base ajouté  $pH=f(V_B)$ . Les élèves procèdent, chacun pour soi, au tracé de la courbe à partir des valeurs déterminées ensemble dans son mini-groupe. Après avoir terminé le tracé, le professeur affiche sur le tableau une courbe issue probablement d'une simulation numérique de l'allure du dosage.

#### I.1.2.2.5.2 Analyse didactique

L'avancée de la chronogenèse est lente et n'est matérialisée qu'à la fin du jeu, lorsque le professeur affiche sur le tableau une courbe  $pH=f(V_B)$  et institutionnalise de ce fait l'allure de la courbe de dosage d'un acide fort par une base forte (cf. tdp 191 Extrait 39).

191. P1 : bien suivez tout le monde (1:11:37) est-ce que vous avez trouvé une courbe qui ressemble à ça.

Le professeur charge sur l'écran blanc une courbe théorique  $pH=f(V_B)$  (1:11:43)

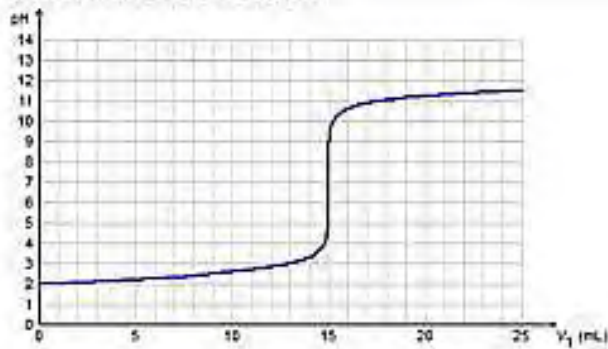


Figure 29: courbe de titrage acide fort base forte

192. E : c'est une courbe théorique (1:11:45)

193\_1. P1 : cava est ce que vous avez trouvé une courbe de cette allure ?

Extrait 39: le professeur institutionnalise la courbe de dosage  $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_B)$

Les savoirs, exprimés en langage scientifique oral et représentations graphiques, sont de densité épistémique faible. Le jeu est défini dès le départ (cf. tdp 188 page 85 dans l'annexe). Les échanges communicationnels sont rares, au moment où les élèves tracent la courbe. Ils ne s'affichent qu'au moment de l'institutionnalisation de la courbe de dosage où l'enseignant communique de manière autoritative et monologique le résultat (cf. Extrait 39).

Bien que le travail des élèves soit individuel au début de ce jeu, il est réduit au minimum. L'élève reprend les deux axes du pH et de  $\text{V}_B$ , représenté par le professeur sur le tableau à l'échelle qu'il faut suivre, pour tracer la courbe  $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_B)$  à partir des valeurs déterminées ensemble dans son mini-groupe. Cependant, il y a une discontinuité pressentie au moins par un élève (cf. tdp 192 Extrait 39) entre la courbe expérimentale tracée par chacun d'eux et la courbe proposée par le professeur. Selon toute vraisemblance, cette dernière courbe est une courbe théorique. Toutefois, le fait qu'elle serve de support à l'institutionnalisation de la forme d'une courbe obtenue expérimentalement sans situer les statuts différents des deux courbes interroge sur une possible confusion entre champ des modèles et théories et champ empirique et sur ses conséquences sur les élèves quant à la nature des savoirs scientifiques.



### I.1.2.2.5.3 En résumé



Figure 30: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 5 de la séance de TP pour P1

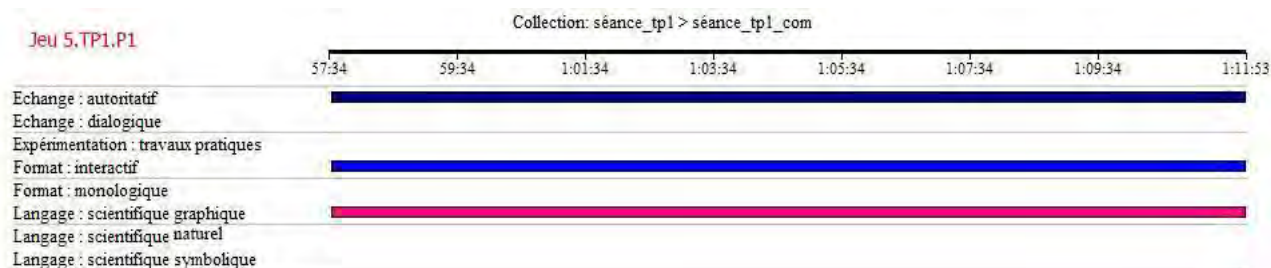


Figure 31: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 5 de la séance de TP pour P1

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
5.TP1.P1	P	P	Présente	Absente	Absente	Présente par une courbe théorique

Tableau 13: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 5.TP1.P1 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### I.1.2.2.6 Analyse du jeu 6 : « Suivre l'interprétation de la courbe de dosage »

#### I.1.2.2.6.1 Narration didactique

Le professeur décrit la courbe théorique  $pH=f(V_B)$  qu'il affiche lui-même sur l'écran en la comparant à une des courbes proposée initialement par les élèves au jeu 2. Ensuite, il demande aux élèves une confirmation de la valeur de pH initial et de pH final à partir de la lecture des valeurs du pH sur les courbes expérimentales qu'ils ont tracées. Enfin, il procède, selon un monologue, à l'interprétation complète et commente lui-même la courbe  $pH=f(V_B)$ .

#### I.1.2.2.6.2 Analyse didactique

La chronogénèse avance et s'accélère à la fin du jeu sous l'entière responsabilité du professeur. La contribution des élèves dans le milieu est mineure, ils se contentent de donner les valeurs de pH sans réflexion ni raisonnement (cf. Extrait 40).

202. P1 : c'est de l'ordre de 2 hein et par la suite à la fin le pH tend vers une valeur proche de 12 hein

203. E : 10

204. P1 : 10 et les autres (1:13:41)

205. E : 11,5

206. E : 11,2

207. P1 : donc c'est supérieur à 11 inférieur à 12 (1:13:56) d'accord ce saut de pH c'est pour un volume de l'ordre de combien (1:14:06) vous avez trouvé quel volume qui correspond à ce saut

208. E : 15

209. E : 15

**Extrait 40: la contribution des élèves dans le milieu se limite à oraliser les valeurs de pH**

La densité épistémique est faible (cf. ci-dessus) et elle augmente à la fin du jeu lors de l'interprétation de la courbe de dosage (cf. tdp 212\_1 Extrait 42). Les échanges communicationnels, même s'ils sont de nombre limité, prennent généralement le format IRE (cf. tdp 193\_2, 194 et 195 dans Extrait 41). Le jeu n'est pas défini au départ, il est rendu visible dans le dernier monologue, où le professeur formalise les savoirs. Il n'y a ni régulation ni institutionnalisation ni dévolution dans ce jeu.

193\_2. P1 : elle commence au départ (1:11:56) donc le pH varie légèrement au départ puis un saut de pH une variation brusque de pH puis il varie de nouveau

194. E : faiblement

195. P1 : oui faiblement cava (1:12:10)

**Extrait 41: des interactions de forma IRE**

Les savoirs, relatifs à l'interprétation de la courbe de dosage, sont exprimés en langage scientifique oral à partir de la représentation graphique, selon une alternance entre une phase interactive autoritative (cf. Extrait 40 et Extrait 41), où les élèves ont une place mineure et une phase non interactive autoritative au cours de laquelle les élèves sont réduits à des simples auditeurs (cf. Extrait 42 et Extrait 43). Les savoirs introduits concernent soit le monde des théories/modèles soit la relation entre le champ des observables et le monde des théories/modèles en termes d'interprétation (cf. Extrait 42).

Par ailleurs, le professeur compare une courbe théorique qui sert de référence à des courbes expérimentales obtenues par les élèves, mais sans jamais préciser cette différence de statut. Là aussi, les raisons de ce choix restent difficiles à comprendre. S'agit-il de travailler implicitement sur la validité d'un modèle ? S'agit-il de travailler sur la vérification du travail des élèves en se fondant sur les résultats du modèle de la courbe attendue ? Cette continuité implicite voire cette assimilation entre la représentation théorique et la représentation expérimentale interroge donc d'autant qu'elle est obtenue en force pour certaines valeurs de pH (cf. tdp 202 et 207 Extrait 40).

Le professeur assure une continuité gestuelle entre la description délivrée en langage naturel et la représentation graphique  $\text{pH} = f(V_B)$  pour distinguer les parties constituantes de la courbe. On relève également une prépondérance de l'indicateur coloré sur le pH mètre ; le professeur établit alors un lien entre le champ des observables et celui des théories et modèles notamment pour identifier la nature acide ou basique de la solution (cf. Extrait 42). Le professeur introduit la question de concavité de la courbe au milieu de l'interprétation de la variation du pH (cf. tdp 212\_1 Extrait 42). Cela rajoute dans le déroulement de l'explication, qui est déjà dense épistémiquement, un élément supplémentaire qui coupe la logique de l'exposé. Un lapsus est aussi décelé dans l'interprétation lorsqu'il s'agit de signaler que l'acide est le réactif limitant alors qu'il s'agit de la base (cf. fin du tdp 212\_2 Extrait 42)

212\_1. P1 : bien (1:14:26) alors les principales caractéristiques de cette courbe (1:14:33) vous remarquez bien qu'il y a trois parties (1:14:35). On distingue trois parties (1:14:35) une première partie le pH augmente légèrement **le milieu est acide puisque votre solution est jaune** (1:14:46) d'accord car l'acide est le réactif limitant car le réactif limitant est le  $\text{OH}^-$  donc l'acide est en excès (1:14:52) au départ on a versé une quantité de  $\text{OH}^-$  inférieur à celle des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  présentes dans la solution acide par la suite.. Une deuxième partie où il y a une variation brusque de pH la solution initialement acide devient basique on dit qu'il y a un saut de pH un saut de pH la courbe devient pratiquement verticale avec changement de sens de la concavité c.-à-d. Vous aurez au départ la concavité vers le haut puis une concavité vers le bas donc il y a un changement de concavité au niveau de cette deuxième partie donc il y a un changement de concavité et enfin en troisième partie le pH augmente peu et **la solution est basique vous voyez bien que la solution est bleue** dans ce cas le réactif limitant est l'ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  (1:15:54). C'est à dire au départ le réactif limitant est l'ion  $\text{OH}^-$  à la fin le réactif

limitant c'est l'ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  il y a un certain moment on a une égalité entre les ions  $\text{OH}^-$  versées et les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  initialement présent dans le prélèvement c'est ce qu'on appelle l'équivalence (1:16:16)

Extrait 42 : le professeur met en relation le champ des modèles avec les observables en identifiant l'acide et la base selon la couleur de BBT ; alors qu'il pouvait comparer les concentrations des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$ . La contribution des élèves dans l'avancée des savoirs, épistémiquement dense, est absente

Le professeur installe dans la classe, sans relation avec les représentations naïves des élèves qui ont conduit à des graphes faux, de nouveaux points de vue sur les savoirs (cf. tdp 197 page 86 dans l'annexe). Rappelons qu'il restait deux courbes à commenter parmi celles proposées par les élèves lors de leurs prévisions, une fonction affine croissante dont on n'a pas reparlé, et une deuxième courbe dont le professeur signale rapidement qu'elle ne correspond pas à la réalité (cf. Extrait 43)

197. P1 : suivez svp suivez svp (1:12:25) suivez donc **remarquez bien c'est presque inverse de ce que vous avez pensé au départ** (il pointe la quatrième propositions).. le pH ne croît pas au départ se stabilise puis il croit de nouveau (1:12:51).. c'est inverse pratiquement il est presque constant au départ presque hein il croît faiblement puis il y a un saut brusque de pH puis il croit de nouveau faiblement **d'accord c'est un peu l'inverse de ça** (en pointant sur la courbe théorique) (1:13:09).. alors vous voyez bien que votre courbe démarre à partir d'un pH égale à 2 est ce que vous avez trouvé 2 (1:13:18)

Extrait 43: le professeur revient à la quatrième proposition (énoncée par les élèves dans le jeu 2) pour la contredire sans faire participer les élèves

Toutefois, le professeur ne revient pas ici sur le modèle naïf de l'élève qui l'amène à représenter les courbes du jeu 2 pour le mettre en relation avec le modèle scientifique et les discuter de manière comparative. La raison pour laquelle le professeur a fait exprimer les représentations des élèves reste donc difficile à comprendre au vu de l'exploitation minimale qui est faite de ces dernières.

### I.1.2.2.6.3 En résumé

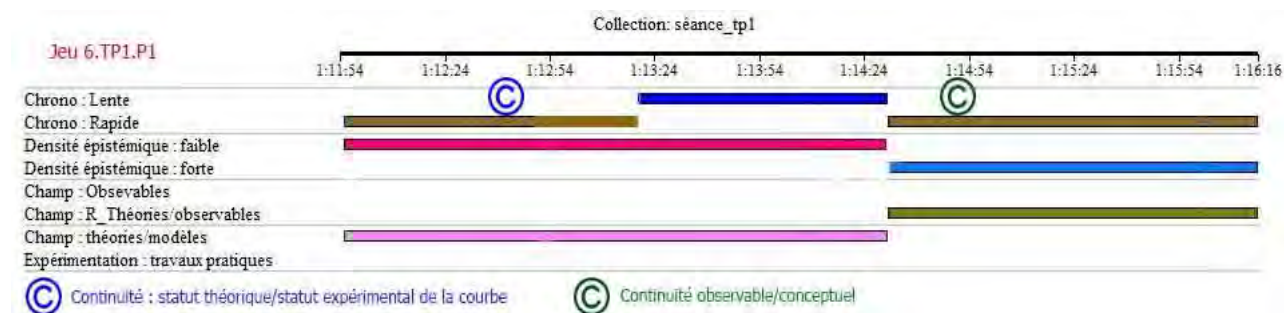


Figure 32: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 6 de la séance de TP pour P1

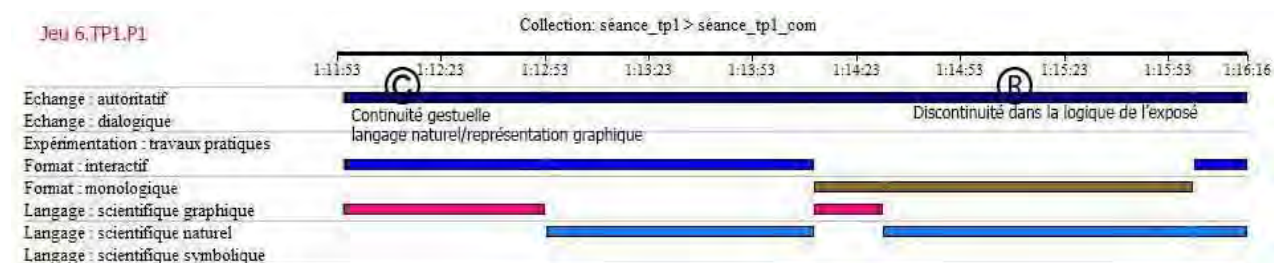


Figure 33: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 6 de la séance de TP pour P1

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
6.TP1.P1	P	P	Absente	Absente	Absente	Absente

Tableau 14: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 6.TP1.P1 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### I.1.2.2.7 Analyse du jeu 7 : « Exploiter les données expérimentales et théoriques associées au point d'équivalence »

#### I.1.2.2.7.1 Narration didactique

Après avoir justifié la présence d'un point d'inflexion et l'avoir associé au point d'équivalence, le professeur introduit et commente au cours d'un monologue de monstration une simulation numérique de la méthode des tangentes pour déterminer graphiquement le point d'équivalence. Ensuite, à la demande du professeur, les élèves procèdent individuellement à la détermination des coordonnées du point d'équivalence sur leurs courbes tracées et chaque mini-groupe expose ses propres valeurs dans la classe. Le professeur énonce alors l'enjeu de savoir, calculer théoriquement le volume de la base ajoutée à l'équivalence. Un élève propose la moitié du volume du prélèvement acide. Le professeur établit alors par un jeu de questions/réponses, l'expression théorique de  $V_{BE}$  et calculer sa valeur. Il amène l'idée que la

différence entre la valeur de  $V_{BE}$  trouvée expérimentalement et la valeur théorique réside dans le manque de précision lors du prélèvement de l'acide, et aux mesures du pH. Ensuite, à partir de remplissage d'un tableau d'avancement, le professeur dégage l'égalité de la concentration des ions  $H_3O^+$  et  $OH^-$  à l'équivalence et déduit la valeur théorique du pH en tant que  $1/2 pK_e$ . Cela lui permet de conclure sur la neutralité de la solution à l'équivalence et d'identifier la solution de chlorure de sodium comme solution obtenue à l'équivalence.

#### ***1.1.2.2.7.2 Analyse didactique***

La chronogénèse est rapide et orientée par le professeur. La densité épistémique est forte au départ lorsqu'il s'agit d'introduire la méthode des tangentes et de déterminer théoriquement le volume et le pH à l'équivalence. Le professeur est généralement dans une position topogénétique forte. Il introduit généralement dans le milieu les éléments qui font avancer les savoirs, la méthode des tangentes (cf. tdp 214 page 85 dans l'annexe), le calcul de la concentration de l'acide (cf. tdp 231 Extrait 44), la nature de la solution à l'équivalence (cf. Extrait 46). La contribution de l'élève dans le milieu se réduit à rappeler la formule  $C_A V_A = C_B V_B$  (cf. tdp 239 pages 76 dans l'annexe) et à rapporter le résultat des procédures déjà exposées par le professeur qu'il a simplement exécutées pour déterminer les coordonnées du point d'équivalence. Les échanges communicationnels interactifs sont autoritatifs et prennent le format habituel IRE avec le professeur toujours à l'origine des échanges (cf. Extrait 44).

225\_2. P1 : essayons de faire le calcul théorique pour qu'on trouve le volume de la base versée à l'équivalence oui (1:23:54)

226. E : le volume de la base versé à l'équivalence égale à  $1/2$  de volume de l'acide

227. P1 : pourquoi  $1/2$  (1:24:03) vous voulez dire que  $V_{BE}$  c'est pratiquement la moitié de  $V_A$

228. E : oui

229. P1 : (1:24:14) ah  $30/2$  oui (1:24:16) alors si on utilise la relation théorique qu'est ce qu'on a à l'équivalence

230. E :  $C_A V_A = C_B V_B$  (1:24:29)

*Le professeur écrit ; à l'équivalence  $n(H_3O^+) = n(OH^-)$  ce qui donne  $C_A V_A = C_B V_{BE}$  donc*

231. P1 :  $V_{BE}$  va être égale à  $C_A V_A$  sur  $C_B$  c'est-à-dire  $10^{-2}$  fois 30ml on laisse en ml sur  $10^{-2}$  ca fait 15mL

$$V_{BE} = \frac{C_A V_A}{C_B} = \frac{10^{-2} \times 30}{2 \cdot 10^{-2}} = 15 \text{ mL}$$

Équation 3 : expression du volume de la base ajoutée à l'équivalence

donc la valeur théorique de  $V_{BE}$  c'est 15mL (1:25:26) d'après vous pourquoi on ne trouve pas exactement 15 pour les deux groupes (1:25:30) vous avez trouvé 14,5 16 donc c'est un problème de quoi (1:25:35)

Extrait 44: lors des échanges interactifs le professeur est à la tête de l'initiation (tdp 225\_2), l'élève répond (tdp 226) et le professeur évalue en tdp 227 et déclenche une nouvelle initiation et ça se répète au cours des échanges ultérieurs. Il introduit (tdp 229 et 231) le calcul de la concentration pour faire avancer les savoirs

Le jeu est défini (cf. tdp 212\_2 Extrait 45) même si le tour de parole correspondant ne laisse pas en effet prévoir une exploitation expérimentale et théorique associées au point d'équivalence.

212\_2. P1 : alors nous voulons chercher ce cette équivalence on veut déterminer l'équivalence pour cela nous allons déterminer l'équivalence si vous voulez graphiquement (1:16:29) à l'aide de la méthode des tangentes (1:16:32) on va déterminer ce point ce qu'on appelle point d'inflexion puisqu'on a... vous connaissez tout le monde en math si vous avez changement de concavité alors nécessairement il y a un certain point entre les deux courbures appelé point...

Extrait 45: dans un monologue le professeur définit l'enjeu du jeu

Le professeur procède à une institutionnalisation à la fin du jeu (cf. tdp 244\_2 dans Extrait 46) précisant ainsi la nature de la solution obtenue à l'équivalence en tant que solution de chlorure de sodium. Cette formalisation manque de précision, en fait la solution obtenue est une solution aqueuse de chlorure de sodium puisque l'eau est un produit de la réaction. Une discontinuité dans l'avancée du savoir apparaît alors entre l'interprétation macroscopique de la solution à l'équivalence et l'écriture d'une relation symbolique (cf. Figure 34 dans Extrait 46).

244\_2. P1 : mais vous voyez que le pH à l'équivalence n'est autre que le pH de l'eau c'est à dire une solution neutre obtenue à l'équivalence (1:29:03). c'est-à-dire à l'équivalence vous aurez une solution lorsqu'on note l'équation comme étant  $H_3O^+ + OH^-$  donne l'eau en réalité avec les ions  $H_3O^+$  les ions  $Cl^-$  et avec les ions  $OH^-$  les ions  $Na^+$  (1:29:21) la solution va être la solution de  $Na^+$  plus  $Cl^-$  plus  $2H_2O$  **donc c'est une solution de chlorure de sodium** qui est une solution neutre... (Il écrit sur le tableau)

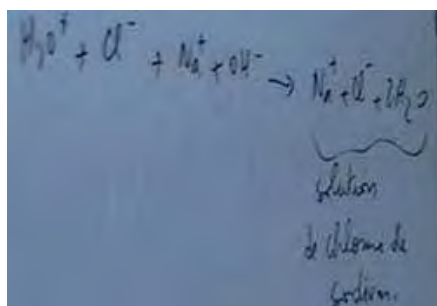


Figure 34 : équation de titrage d'un acide fort par une base forte

Extrait 46 : dans un monologue le professeur n'établit pas un lien entre la description délivrée en langage naturel oral et le monde des théories/modèles à propos de la nature de la solution à l'équivalence. Il procède à la fin du tdp à une institutionnalisation à propos de l'équation de la réaction du dosage

La régulation et la dévolution sont totalement absentes, même si des régulations auraient pu permettre par exemple de retravailler la représentation de l'élève à propos de  $V_{BE}$  (cf. tdp 226 Extrait 44).

Les savoirs, relatifs à l'exploitation des données expérimentales et théoriques associées au point d'équivalence, sont exprimés en langage scientifique oral et représentations graphiques et symboliques, en mettant en relation le champ des observables et le champ des théories et modèles mathématiques et chimiques, notamment lors de la simulation et lors de l'exploitation des données empiriques. Ces savoirs sont présentés selon une alternance entre phase interactive autoritative (cf. Extrait 44 et Extrait 47) et une phase non interactive autoritative (cf. Extrait 45 et Extrait 46) sous forme de monologues en prenant la simulation comme support d'appui.

Le professeur assure la continuité de sa description délivrée en langage naturel à la fois avec les représentations graphiques paraissant dans la simulation et les représentations symboliques, pour établir les expressions de  $pH_E$  théoriques (cf. Extrait 47)



237. P1 : on a la réaction qui se produit c'est la réaction de  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  qui donne  $2\text{H}_2\text{O}$  alors au départ à l'équivalence on a versé un nombre de mole de  $\text{H}_3\text{O}^+$  égal à  $C_A V_A$  et  $C_B V_B$  c'est l'instant initial

Le professeur remplit un tableau descriptif

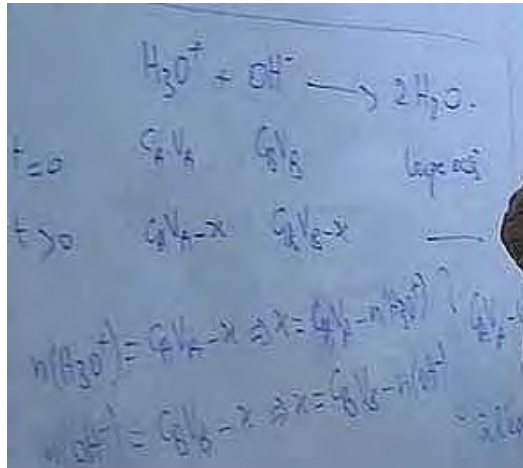


Figure 35 : tableau d'avancement acide fort - base forte

238. P1 : maintenant à  $t$  quelconque  $C_A V_A - x$  et  $C_B V_B - x$  et large excès alors le nombre de mole de  $\text{H}_3\text{O}^+$  c'est  $C_A V_A - x$  ce qui donne  $x = C_A V_A - n(\text{H}_3\text{O}^+)$  d'accord (1:27:34) et le  $n(\text{OH}^-) = C_B V_B - x$  ce qui donne  $x = C_B V_B - n(\text{OH}^-)$  ... ce qui donne que  $C_A V_A - n(\text{H}_3\text{O}^+) = C_B V_B - n(\text{OH}^-)$  à l'équivalence

239. E :  $C_A V_A = C_B V_B$

240. P1 : oui  $C_A V_A = C_B V_B$  d'où on peut simplifier

241. E : par  $C_A V_A$

242. P1 : d'où  $n(\text{H}_3\text{O}^+)$  égale au nombre de mole de  $\text{OH}^-$  ce qui donne  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$  (1:28:27)

243. E :  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7}$  à la puissance -pH

244\_1. P1 : donc  $\text{pH} = 1/2 \text{p}K_e$  (1:28:31) à 25 ça va être 7 bien sûr (1:28:39) la température d'aujourd'hui est un peu différente (1:28:43) donc on trouve quelques fractions plus ou moins 7 mais c'est de l'ordre de 7 (1:28:53)

Extrait 47: par des échanges interactifs, le professeur assure la continuité de sa description délivrée en langage naturel et les représentations symboliques pour établir les expressions de  $\text{pH}_E$  théorique. Une discontinuité entre l'interprétation microscopique de la relation et son écriture symbolique apparaît lorsqu'il énonce la relation  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$  en tdp 242 et enchaîne avec l'expression du pH en tdp 244\_1.

Il établit également un lien entre le champ des observables (changement des concavités) et le monde des théories/modèle pour associer le point d'inflexion en mathématique au point d'équivalence en chimie (cf. tdp 212, 213 et 214 page 87 dans l'annexe). Toutefois, on aperçoit une discontinuité, liée à un implicite dans l'action de P1 entre l'interprétation microscopique d'une relation et son écriture symbolique notamment lorsque l'élève a la charge de

comprendre le passage de l'égalité des concentrations des ions  $H_3O^+$  et  $OH^-$  à l'expression  $pH=1/2 pK_e$  (cf. tdp 244\_1 voir Extrait 47).

Enfin, on peut noter le comportement du professeur suite à l'intervention de l'élève en tdp 226 : «le volume de la base versé à l'équivalence égale à 1/2 de volume de l'acide » (cf. tdp 226 Extrait 44). En fait l'élève assimile le volume de 15 ml de la base ajoutée à l'équivalence, déterminé à l'aide de la méthode des tangentes sur la courbe expérimentale, et les 15ml obtenus en divisant le volume du prélèvement initial d'acide (30 ml) par deux. Cette représentation n'est pas retravaillée ni discutée par le professeur qui, après qu'il se soit rendu compte de la difficulté de l'élève (cf. tdp 227 et 229 Extrait 44) enchaîne pour donner le point de vue scientifique.

### 1.1.2.2.7.3 En résumé

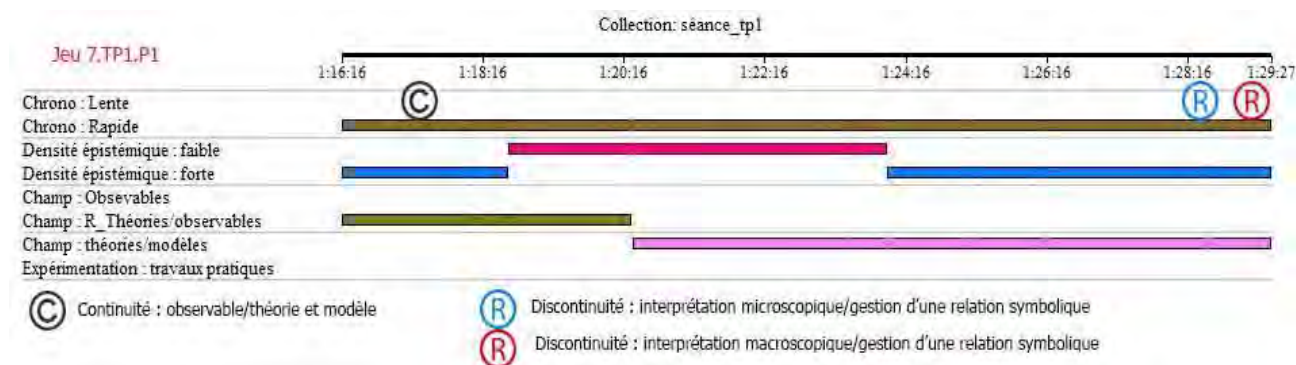


Figure 36: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 7 de la séance de TP pour P1

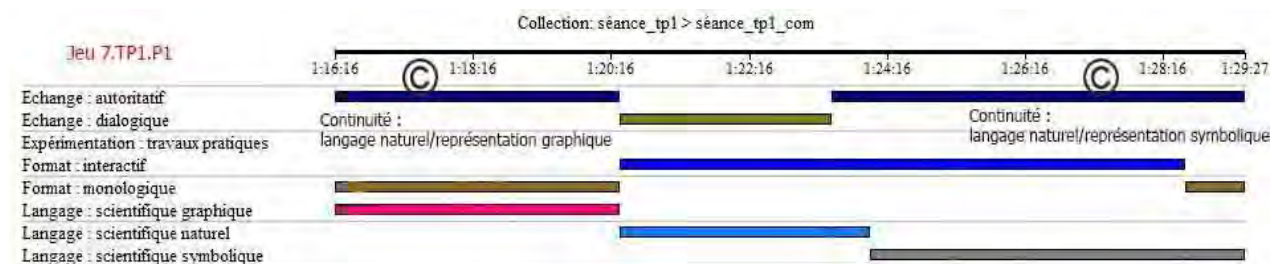


Figure 37: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 7 de la séance de TP pour P1

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
7.TP1.P1	P	P	Présente	Absente	Absente	Présente

Tableau 15: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 7.TP1.P1 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### **I.1.2.2.8 Analyse du jeu 8 : « Etudier l'effet de la dilution sur les courbes de dosage »**

#### ***I.1.2.2.8.1 Narration didactique***

*A partir du logiciel « Macroméga », le professeur explique les procédures à suivre pour visualiser les courbes traduisant la simulation de l'effet de la dilution sur la courbe de dosage d'un acide fort par une base forte. A la demande du professeur, chaque mini-groupe manipule ce logiciel et simule les 3 courbes de dosage, relatives aux concentrations initiales de l'acide et de la base, diluées à 1/10 et à 1/100. Ensuite, par un jeu de questions/réponses, le professeur procède à l'interprétation de ces courbes et amène l'idée que lorsque les concentrations diminuent, le saut de pH diminue et la valeur du pH initiale augmente d'une unité, lorsque les concentrations de l'acide et de la base sont diluées dix fois, et de deux unités, si la dilution est de cent fois. Ensuite, encore à la demande du professeur, les élèves simulent le dosage de l'acide HCl par la soude, avec des données identiques à celles de l'expérience réalisée auparavant et font afficher une courbe résultant de la simulation de ce dosage. Ils simulent ensuite le même dosage avec l'ajout d'un volume d'eau (30 ml) au prélèvement acide de départ et obtiennent la courbe correspondante. A partir de la comparaison de ces deux courbes, le professeur amène l'idée que l'ajout de l'eau au prélèvement d'acide de départ n'influe pas sur les coordonnées du point d'équivalence car les ions  $H_3O^+$  provenant de l'eau sont négligeables.*

#### ***I.1.2.2.8.2 Analyse didactique***

Le professeur introduit dans le milieu une simulation et initie les élèves à son utilisation pour simuler l'effet de la dilution. La chronogénèse avance lentement lorsqu'il s'agit de suivre les propos du professeur concernant la manipulation du logiciel ensuite, elle s'accélère avec une densité épistémique importante, lorsqu'il s'agit d'interpréter l'effet de la dilution. La topogénèse est partagée à ce moment-là. Les élèves introduisent dans le milieu des signifiants (cf. tdp 269, 271, 273, 275, 277, 279, 281, 283, 285 dans l'Extrait 48, tdp 291, 295 et 297 dans l'Extrait 49 et aussi tdp 287 page 93 dans l'annexe). Par ailleurs, les élèves assurent une continuité dans la transition entre l'invariance de la valeur du pH à l'équivalence suite à l'ajout de l'eau au prélèvement acide relevant du monde macroscopique, et la description microscopique correspondante dans le monde des théories/modèles, lorsqu'ils indiquent que la quantité des ions  $H_3O^+$  et  $OH^-$  provenant de l'eau sont négligeables (cf. tdp 297 dans Extrait 49). Le jeu est défini et la visibilité des élèves sur les enjeux est assurée. En effet le tour de

parole 245 « P1 : bien (1:29:42) on passe **nous (1:29:56) allons maintenant étudier l'effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage** (1:29:59) si on dilue les solutions alors l'allure de la courbe ça va » laisse en effet prévoir une étude de l'effet de la dilution sur les courbes de dosage. Par ailleurs, les interactions communicationnelles interactives, toujours autoritatives, sont de type IRE ; le professeur est toujours à l'origine des initiations, et les élèves contribuent à l'évolution du milieu par certaines réponses liées à des questions fermées (cf. tdp 270, 274, 284 dans Extrait 48 et tdp 290 Extrait 49).

268. P1 : donc la forme est la même il y a variation un saut puis le pH varie faiblement mais qu'est ce qui se passe pour (1:36:39) le saut de pH
269. E : augmente
270. P1 : augmente lorsque les concentrations
271. E : augmentent
272. P1 : et diminue lorsque les concentrations diminuent c'est à dire lorsqu'on a diminué les concentrations la courbe violette (le professeur pointe la souris sur le saut du pH dans les courbes tracés) on a remarqué le saut de pH est beaucoup plus petit alors que lorsque les concentrations sont assez élevées le saut de pH est beaucoup plus important le pH de départ qu'est ce qui se passe pour le pH de départ en diluant 10 fois
273. E : augmente
274. P1 : il augmente de combien
275. E : de un
276. P1 : est-ce que c'est prévisible (1:37:11) que le pH de départ augmente de un d'une unité de pH (1:37:14)
277. E : on a fait une dilution de 10 fois
278. P1 : on a fait une dilution 10 fois oui donc le pH est un acide fort suite à une dilution 10fois il va
279. E : augmenter
280. P1 : augmenter de combien (1:37:24) log de 10
281. E : un
282. P1 : qui est un ce qui donne que le pH va augmenter de un c.-à-d. au lieu de 2 on va avoir un pH initial (1:37:36)
283. E : 3

284. P1 : de 3 (1:37:37) alors que lorsqu'on a dilué 100 fois le pH augmente de  $\log_{10} 100$  c.-à-d. il augmente de

285. E : 2

Extrait 48: les échanges interactionnels de type IRE. Le professeur est à l'origine de chaque initiation (tdp 268, 270, 272, 274, 276, 278, 280, 282, 284), les élèves répondent (tdp 269, 271, 273, 275, 277, 279, 281, 283 et 285) et le professeur évalue à chaque fois et initie avec une question fermée.

290. P1 : voilà un léger changement ou exactement

291. E : au niveau du pH (1:41:12)

292. P1 : au niveau de pH de départ (1:41:16) il va changer un peu mais est ce que l'équivalence notre point d'équivalence change-t-elle de coordonnées ?

293. E : non

294. P1 : non c'est toujours 7 et 15 (1:41:29) donc le fait d'ajouter de l'eau au départ

295. E : n'influe pas sur le point d'équivalence

296. P1 : très bien n'influe pas sur le point d'équivalence (1:41:38) vous aurez toujours un pH à l'équivalence est égale à 7 vous aurez toujours le même volume versé à l'équivalence (1:41:42) est ce que vous pouvez m'expliquer pourquoi le volume versé à l'équivalence n'a pas changé par la dilution par l'ajout de l'eau pourquoi on trouve toujours 15ml malgré qu'on ajouté de l'eau au départ dans le bécher (1:42:03)

297. E :  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  provenant de l'eau sont négligeables

298. P1 : négligeables c.-à-d. que lorsqu'on a jouté de l'eau est ce qu'on a modifié la quantité des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  dans le bécher

299. Collectif : non

300. P1 : si on néglige les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  provenant de l'eau alors on a pas modifié les quantités des réactifs et par la suite si on a la même quantité de matière de  $\text{H}_3\text{O}^+$  on aura donc la même quantité de  $\text{OH}^-$  versée pour avoir l'équivalence ce qui donne le volume versé à l'équivalence n'est pas modifié merci

Extrait 49: les interactions communicationnelles sont de format IRE où les élèves produisent des raisonnements et font fonctionner le modèle de Bronsted (tdp 295, 297)

La dévolution et la régulation sont des stratégies professorales absentes. Les élèves suivent et appliquent à la lettre les recommandations du professeur, exécutant lui-même la simulation en vidéoprojection. En plus, le professeur parfois donne quasiment la réponse attendue (cf. tdp 292 Extrait 49). L'institutionnalisation est absente bien qu'il y ait des formalisations relatives à l'invariance de la valeur de  $\text{pH}_E=7$  et de  $V_{BE}=15\text{ml}$  lorsqu'il s'agit de la dilution des

concentrations à 1/10 et à 1/100 (cf. tdp 288 Extrait 50) et la constance de  $V_{BE}$  au cas de l'ajout de l'eau dans le prélèvement acide de départ (cf. tdp 300 dans Extrait 49).

288. P1 : voilà pour les trois courbes (1:38:10) vous pouvez vérifier.. Vous changez si vous voulez les situations la situation 3 **vous voyez bien c'est 7 et 15**. Situation 2 tracer les tangentes **vous aurez de même 7 et 15**. **Vous voyez bien le point d'équivalence ne varie pas lorsqu'on dilue les deux solutions de la même manière hein les deux solutions la solution acide et basique 10 fois les deux ou bien cent fois les deux (1:38:55)**. Maintenant essayez de voir qu'est ce qui change si on ajoute de l'eau distillé au départ c'est-à-dire on va supprimer tout ça et on va (1:39:04) recommencer. Nous allons réaliser une première situation lorsqu'on a 0,01mol/l pour l'acide et 0,02mol/l pour la base 30ml de la solution et on ajoute (1:39:21) par la suite de l'eau allez-y recommencez. Fermez ok puis revenez de nouveau choisissez la solution d'acide chlorhydrique prenez la concentration 0,01 et le volume 30mL d'accord (1:39:57) bien sur sans ajouter de l'eau ici 0,02 d'accord cava l'expérience qu'on a réalisé ensemble (1:40:07) sans ajouter de l'eau allez graphe vider la burette vous aurez donc la courbe ça va (1:40:19). Maintenant une deuxième situation voilà on va dans le bécher on va placer de HCl de concentration 0,01 et de volume 30ml mais ajoutez ici par exemple 20mL d'eau ou 30ml d'accord pour la base vous prenez 0,02 et videz la burette et graphe qu'est ce qui se passe

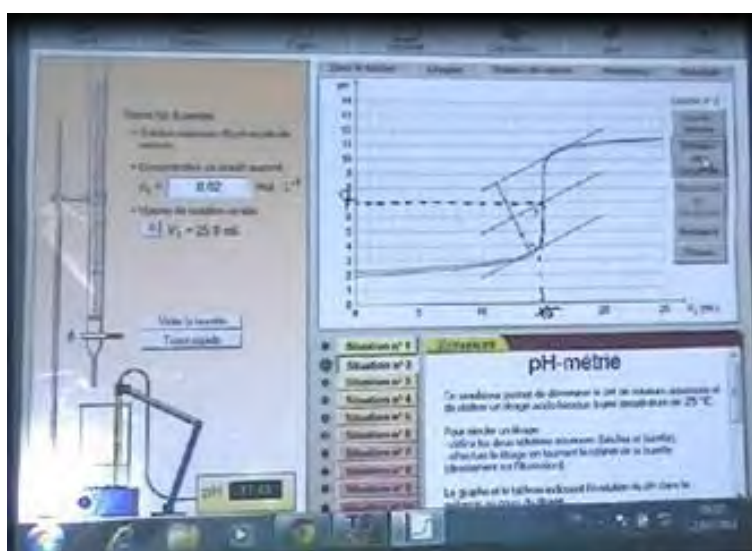


Figure 38 : effet de la dilution sur le point d'équivalence

Extrait 50: le professeur procède à une formalisation relative à l'invariance du pH et le volume de la base à l'équivalence Les savoirs, relatifs à l'étude de l'effet de la dilution sur les courbes de dosage, sont exprimés oralement en langage scientifique et représentations graphiques étroitement associées à la

manipulation d'un simulateur. Ces savoirs sont présentés selon une alternance entre une phase non interactive (cf. Extrait 50), où le professeur assure une continuité entre la description du fonctionnement de la simulation délivrée en langage naturel et l'exécution de ses différentes étapes, et une phase interactive authoritative, où les élèves ont une place relativement grande, produisant des raisonnements et faisant fonctionner le modèle de Bronsted (cf. tdp 291, 295 et 297 Extrait 49). Le professeur assure une continuité gestuelle entre la description délivrée en langage scientifique et les représentations graphiques pour caractériser la largeur du saut du pH et lire les valeurs du pH initial dans chacune de trois courbes (cf. Extrait 51).

286. P1 : de 2 donc au lieu de 2 il passe à 4 (1:37:51) donc on passe d'un pH de 2 à un pH de 4 (1:37:58) le point d'équivalence on peut tracer (1:38:02) vous pouvez choisir la méthode de tangente et tracer les tangentes et les points d'équivalence

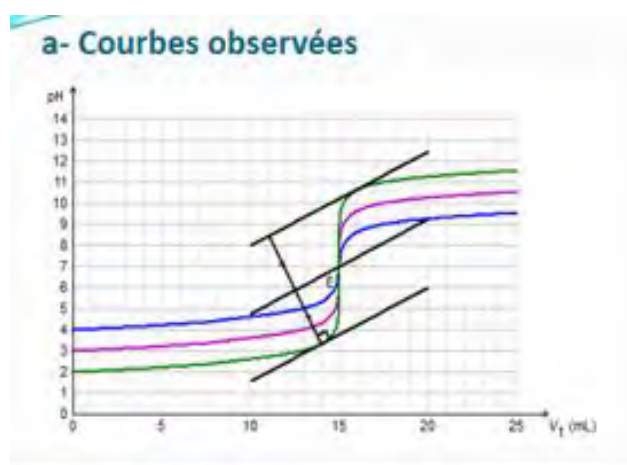


Figure 39 : effet de dilution sur la courbe de titrage acide fort - base forte

287. E : c'est la même 7 et 15 (1:38:08)

Extrait 51: le professeur assure une continuité gestuelle entre la description délivrée en langage naturel et la représentation graphique pour caractériser les valeurs du pH initial dans chacune de trois courbes.

Toutefois, dans l'exposé de P1 on ne voit jamais apparaître l'idée qu'on manipule un modèle et que tous les volumes par exemple sont des données que l'on introduit dans le modèle pour le faire tourner. A cet égard, P1 n'explique jamais que tout ce que l'on obtient est quelque chose de calculé par le modèle via un traitement numérique. Dans les échanges il ne commente pas le modèle, il ne tente pas non plus de mentionner ses limites et ne précise pas qu'il rend compte uniquement d'une partie de la réalité. Cette attitude interroge sur l'amalgame implicite entre le modèle et la réalité instauré dans la classe et ses conséquences sur les élèves quant à la nature des savoirs scientifiques.

### 1.1.2.2.8.3 En résumé

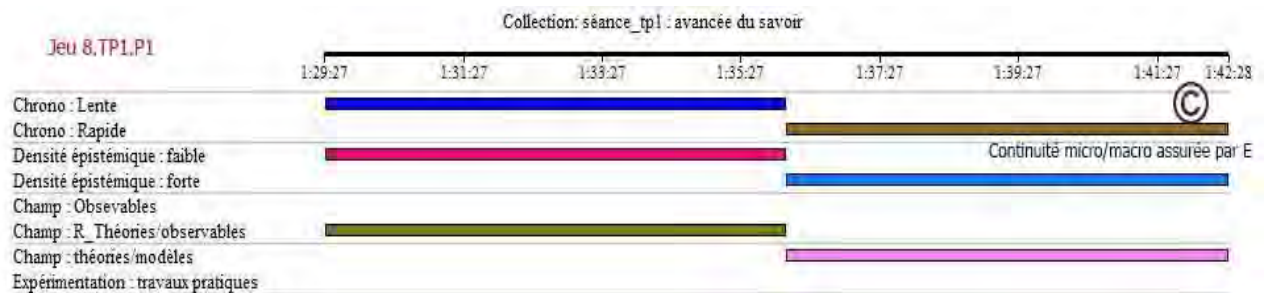


Figure 40: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 8 de la séance de TP pour P1

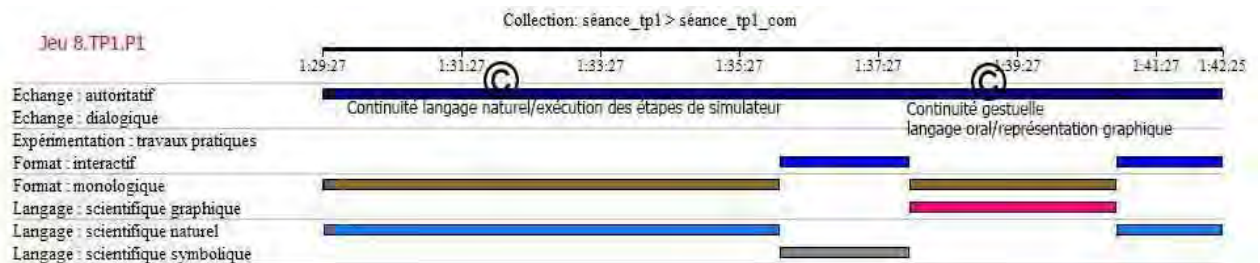


Figure 41: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 8 de la séance de TP pour P1

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
8.TP1.P1	Partagée	P	Présente	Absente	Absente	Absente

Tableau 16: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 8.TP1.P1 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales



### **I.1.3 - En résumé : le récapitulatif des analyses précédentes**

Dans cette section nous récapitulons dans des tableaux et des graphes l'ensemble des analyses précédentes pour utiliser ces éléments en appui à une caractérisation des pratiques observées durant les deux séances que nous avons analysées.

Nous proposons deux tableaux récapitulatifs (cf. Tableau 17 pour la séance de cours et Tableau 18 pour la séance de TP) dans lequel nous notons les caractéristiques de la topogénèse, mésogénèse et les descripteurs en lien avec les stratégies professorales. Ces tableaux sont constitué en assemblant les différents mini-tableaux proposés à la fin dans de l'analyse de chacun des jeux.

Par ailleurs, les tableaux récapitulatifs suivants (cf. Tableau 19 pour la séance de cours et Tableau 20 pour la séance de TP) sont une manière de se rendre compte des analyses des jeux didactiques résultant de la structuration au niveau mésoscopique. Dans ces tableaux, nous distinguons pour chaque jeu deux catégories : l'avancée du savoir et les échanges communicationnels. Dans la première nous identifions les caractéristiques des différents descripteurs en précisant leur modalité au cours du jeu et les continuités et les discontinuités décelées au cours de l'avancée du savoir. Dans les échanges communicationnels, nous identifions le trio : échanges, format et langages et les continuités et les discontinuités dans les interactions que nous avons pu détecter lors de ces échanges. Notons que compte tenu de l'évolution permanente de la mésogénèse et la stabilité de l'organisation sociale en classe entière (ne changeant qu'aux moments de réalisation de l'expérience et du traçage de la courbe dans la séance de TP), nous avons choisi de ne pas faire figurer ces deux descripteurs pour ne pas encombrer davantage les tableaux. En plus, nous identifions dans le jeu les aspects majoritaires en temps relatifs aux différents descripteurs de notre tableau, notamment au cours des interactions communicationnelles.

Enfin, nous présentons les figures données par Transana indiquant l'évolution, durant chacune des séances observées, des descripteurs liés à l'avancée du savoir (cf. Figure 42 pour la séance de cours et Figure 43 pour la séance de TP) et à la communication (cf. Figure 44 pour la séance de cours et Figure 45 pour la séance de TP).

Nous ne prétendons pas que ces tableaux et graphes soient exhaustifs de toutes les analyses ; cependant, ils peuvent nous permettre, entres autres, de dégager les caractéristiques des pratiques de chacun de deux enseignants.

	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
<b>J 1.C.P1</b>	P	P	Absente	Absente	Absente	Présente
<b>J 2.C.P1</b>	P	P	Vague	Absente	Absente	Présente
<b>J 3.C.P1</b>	Partagée	P	Absente	Absente	Absente	Présente
<b>J 4.C.P1</b>	P	P	Absente	Absente	Absente	Présente
<b>J 5.C.P1</b>	Partagée	P	Absente	Absente	Absente	Présente

Tableau 17: tableau récapitulatif général des modalités dominantes des descripteurs dans chaque jeu : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales relatif à la séance de cours pour P1

	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
<b>J 1.TP.P1</b>	P	P	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>J 2.TP.P1</b>	E	E	Claire	Absente	Rare (2fois)	Absente
<b>J 3.TP.P1</b>	Partagée	P	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>J 4.TP.P1</b>	Réalisation de l'expérience de dosage de HCl par NaOH					
<b>J 5.TP.P1</b>	E	P	Claire	Absente	Absente	Présente par une courbe théorique
<b>J 6.TP.P1</b>	P	E	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>J 7.TP.P1</b>	P	P	Présente	Absente	Absente	Présente
<b>J 8.TP.P1</b>	Partagée	P	Présente	Absente	Absente	Absente

Tableau 18: tableau récapitulatif général des modalités dominantes des descripteurs dans chaque jeu : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales relatif à la séance de TP1 pour P1

	Avancée du savoir					Les échanges communicationnels				
	Chronogène	Densité épistémique	Champs	Continuité	Discontinuité	Echanges	Formats	Langage	Continuité	Discontinuité
<b>J1.C.P1</b> 0:00:10 → 0:12:50	Rapide	Forte	Observables Théories/ modèles (interprétation) Mise en relation (description)	Ecriture symbolique/ interprétation microscopique	-	Authoritatifs	Interactif Monologique	Quotidien Scientifique naturel Scientifique symbolique	-	-
<b>J2.C.P1</b> 0:12:50 → 0:29:06	Rapide	Forte	Mise en relation (prévision) Théories/ Modèles	Observables / théories et modèles/ représentation graphique	-	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique naturel Scientifique symbolique Scientifique graphique	Sémantique	Langage naturel / représentation symbolique
<b>J3.C.P1</b> 0:29:06 → 0:34:55	Rapide	Faible	Observables Théories/ Modèles	-	-	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique naturel	Gestuelle langage naturel / schéma du dispositif	-

<b>J4.C.P1</b> 0:34:55 → 0:45:00	Rapide	Forte	Mise en relation (interprétation) Théories/ modèles (interprétation)	Observables / théories modèles	Observables/ théories et modèles	Authoritatifs	Interactif	Scientifique naturel Scientifique symbolique	-	-
<b>J5.C.P1</b> 0:45:00 → 1:09:06	Rapide	Forte	Observables Théories/ modèles (interprétation) Mise en relation (interprétation)	-	Observable/ Interprétation microscopique  Ecriture de la relation symbolique/ signification et représentation symbolique	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique naturel Scientifique symbolique Scientifique graphique	Langage naturel/ graphique Langage oral/représentation symbolique	Digression

Tableau 19: récapitulatif de l'analyse des jeux relatifs à la séance de cours pour P1

	Avancée du savoir				Les échanges communicationnels					
	Chronogène	Densité épistémique	Champs	Continuité	Discontinuité	Echanges	Format	Langage	Continuité	Discontinuité
<b>J1.TP1.P1</b> 0:00:43 → 0:04:59	Rapide	Faible	Observables Théories/Modèles (interprétation)	-	-	Authoritatif	Interactif Monologique	Scientifique naturel	-	-
<b>J2.TP1.P1</b> 0:00:43 → 0:04:59	Lente	Faible	Théories/ Modèles (prédiction)	-	-	Dialogiques	Interactif	Scientifique graphique Scientifique naturel	Langage naturel/ graphique	-
<b>J3.TP1.P1</b> 0:14:09 → 0:25:26	Lente	Faible	Observables Théories/ modèles (interprétation)	Numérique dans Th/M Numérique dans l'empirie	Interprétation macroscopique/ représentation symbolique	Authoritatifs Dialogique	Interactif Monologique	Scientifique naturel Scientifique symbolique	Gestuelle schéma/ objets réels Langage naturel/ schéma bécher Langage naturel/ symbolique	Dans la logique de déroulement des échanges
<b>J4.TP1.P1</b> 0:25:26 → 0:57:34	Réalisation expérimentale de la réaction du dosage de HCl par NaOH									

<b>J5.TP1.P1</b> 0:57:34 → 1:11:53	Lente	Faible	Théories/ modèles	-	-	Authoritatifs	Interactif	Scientifique graphique	-	-
<b>J6.TP1.P1</b> 1:11:54 → 1:16:16	Moins rapide	Peu dense	Observables Mise en relation (interprétation)	Statut théorique/ expérimental Observable/ Conceptuel	-	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique graphique Scientifique naturel	Gestuelle langage naturel/ graphique	Dans la logique de l'exposé
<b>J7.TP1.P1</b> 1:16:16 → 1:29:27	Rapide	Forte	Observables Mise en relation (interprétation) Théories/ modèles	Observables/ théories modèles	Interprétation microscopique/ écriture d'une relation symbolique	Authoritatifs Dialogique	Interactif Monologique	Scientifique naturel Scientifique symbolique Scientifique graphique	Gestuelle langage naturel/ graphique langage oral/langage symbolique	-
					Interprétation microscopique/ macroscopique					
<b>J8.TP1.P1</b> 1:29:27 → 1:42:28	Peu rapide	Peu dense	Mise en relation (interprétation) Théories/ modèles	microscopique/ macroscopique	-	Authoritatifs	Monologique Interactif	Scientifique naturel Scientifique symbolique Scientifique graphique	Langage naturel/ étapes de simulateur Langage oral/ graphique	-

Tableau 20: récapitulatif de l'analyse des jeux relatifs à la séance de TP pour P1

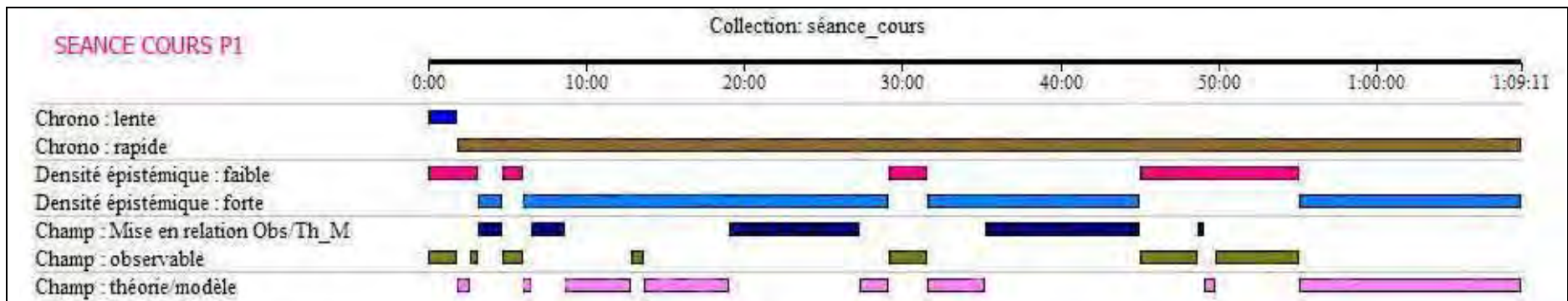


Figure 42: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans la séance de cours pour P1

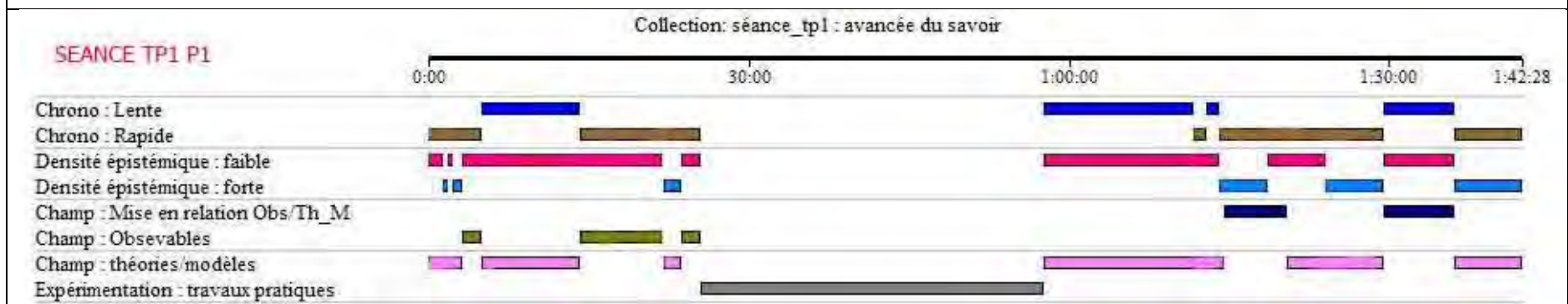


Figure 43: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans la séance de TP1 pour P1

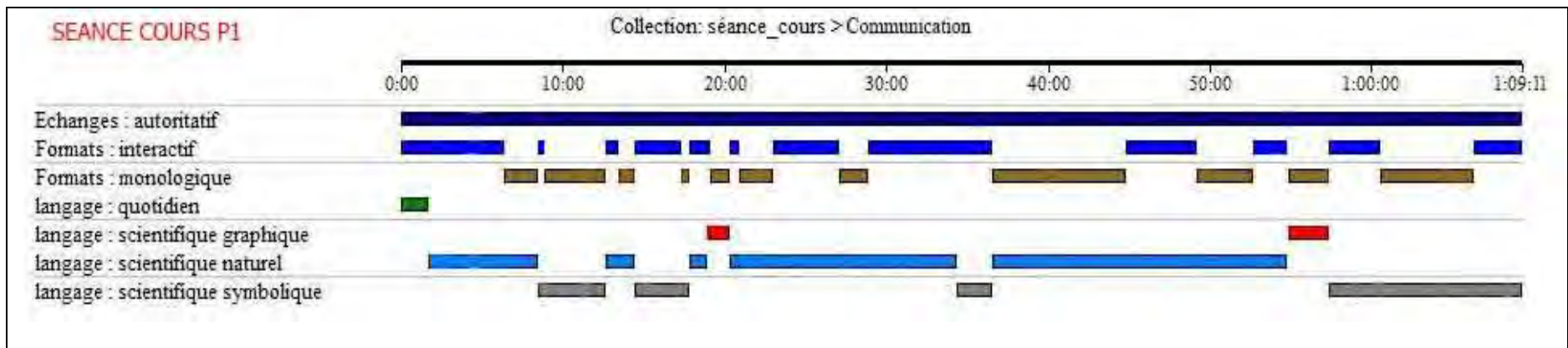


Figure 44: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans la séance de cours pour P1

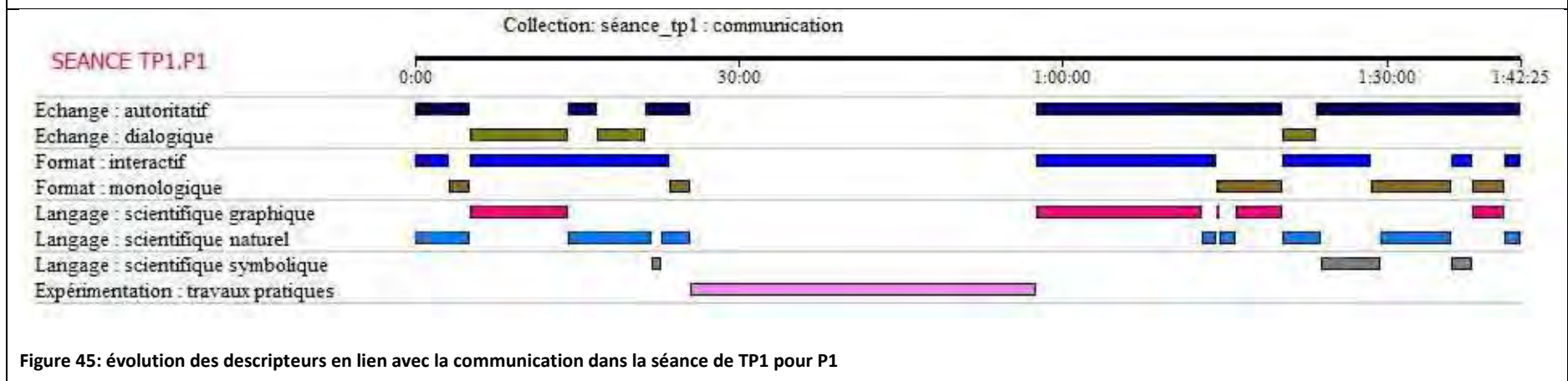


Figure 45: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans la séance de TP1 pour P1



En comparant les deux graphes de l'avancée des savoirs lors de la séance de TP et la séance de cours pour P1 (cf. Figure 42 et Figure 43), nous pouvons avancer que :

- la séance de cours est épistémiquement plus dense que celle de la séance de TP.
- la mise en relation modèles observables est d'autant plus faible que la chronogenèse est plus lente.

Sur les graphes en lien avec la communication (cf. Figure 44 et Figure 45), nous remarquons que :

- les échanges sont tout le temps autoritatifs dans la séance de cours, alors qu'il y a un espace de dialogisme dans le TP.
- les échanges se font selon une alternance entre phases interactives et phases monologiques.
- la séance de cours est caractérisée par une prédominance de langage naturel et une place significative de langage symbolique.

#### **I.1.4 - Caractéristiques des pratiques du professeur P1**

Après avoir analysé les jeux relatifs aux deux séances du professeur P1, en se référant à nos descripteurs, nous nous rendons à un niveau supérieur, à l'échelle de deux séances analysées, pour présenter les éléments principaux caractérisant les pratiques d'enseignement observées du professeur P1 concernant la variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base. Nous inférons ces caractéristiques à partir d'un traitement de l'ensemble des tableaux récapitulatifs (cf. Tableau 17, Tableau 18, Tableau 19 et Tableau 20) et des figures caractérisant l'évolution des différents descripteurs (cf. Figure 42, Figure 43, Figure 44 et Figure 45). Par ailleurs, les caractéristiques, que nous proposons successivement, sont reliées les unes aux autres et constituent par suite un système relationnel dont la caractéristique i peut expliquer, compléter voire légitimer la caractéristique j.

##### **I.1.4.1 Le professeur construit seul le savoir**

C'est la caractéristique générale des pratiques du professeur P1. En effet, à l'échelle des deux séances filmées on voit effectivement que c'est le professeur qui construit, pratiquement, seul les savoirs tout au long des séances. Ainsi dans des moments faiblement épistémiques il recourt à un enseignement itératif, notamment lorsque il énonce plusieurs fois le dispositif expérimental de la réaction de dosage ou aussi lorsqu'il fait appel plusieurs à la mémoire

didactique des élèves. Egalement, il assure ainsi la responsabilité de l'avancée des savoirs sur un axe logique en donnant peu de place aux élèves (cf. ligne 2 de la Figure 44 et ligne 2 et 3 de la Figure 45) et lorsque les élèves ont l'occasion de s'exprimer mais ne vont pas dans le sens de l'enseignant, celui-ci coupe court aux échanges généralement à travers une question qui conduit à la réponse attendue. De manière plus générale, les élèves ont peu l'occasion de raisonner au cours de ces deux séances (cf. colonne 6 du Tableau 17 et Tableau 18). Par exemple, on le voit par exemple dans la première séance lorsque le professeur voulait identifier NaOH comme base forte. Il tente sans succès de mobiliser la mémoire didactique des élèves, puis lorsque ceux-ci introduisent un nouveau couple, il évoque le pka pour les orienter directement vers NaOH.

Par ailleurs, le professeur donne de la place aux élèves dans les moments faiblement épistémiques. Ainsi, on détecte parfois des interactions dialogiques, notamment lorsque les élèves expriment leurs modèles naïfs concernant l'allure de la courbe de pH (cf. ligne 4 colonne 8 dans Tableau 20), lorsque le professeur lance un débat sur le volume du prélèvement acide (cf. ligne 5 colonne 8 Tableau 20) et quand ils proposent les valeurs qu'ils ont obtenues pour le volume de  $V_{BE}$  (cf. ligne 9 colonne 8 voir Tableau 20). Ces trois moments sont caractérisés non seulement par une chronogénèse lente et une densité épistémique faible mais aussi d'une absence totale de toute conceptualisation ou de symbolisation, les interactions se faisant en langage scientifique oral et graphique. Par ailleurs, les échanges communicationnels (cf. colonnes 8 et 9 dans Tableau 19 et Tableau 20) montrent que le professeur ne profite pas de groupe classe comme ressource pour faire avancer le savoir rendant ainsi mineur le rôle de l'élève dans les interactions. Par contre, le professeur assume au cours de monologues, épistémiquement denses, toute la responsabilité dans l'approfondissement des savoirs. L'élève se contente de suivre attentivement, de lire les résultats de l'expérience et d'écouter les monologues du professeur. Lorsqu'il est interrogé, au cours d'échanges interactifs généralement de type IRE, les questions sont rarement importantes et ne donnent pas lieu vraiment à un raisonnement sur les savoirs mis en jeu.

Au cours de ces approfondissements monologiques, le professeur fait état des observables puis il les interprète tout seul. Par ailleurs, le professeur n'est pratiquement jamais amené à suggérer des pistes au cours de régulations amenant l'élève à réfléchir (cf. colonnes 6 dans Tableau 17 et Tableau 18). Il finalise chaque réponse à l'aune du point de vue scientifique.

#### **I.1.4.2 Le professeur expose rapidement les savoirs, tant sur un axe logique que quand il s'agit de les approfondir**

Les savoirs avancent rapidement généralement sous la responsabilité du professeur tout au long de la séquence (cf. ligne 2 dans Figure 42 et ligne 2 dans Figure 43). Il assure seul l'avancée sur un axe « compréhension, profondeur » sous forme des monologues d'approfondissement (cf. ligne 3 voir Figure 44 et ligne 4 voir Figure 45), au cours desquels il établit des liens non seulement entre le champ des observables et celui des théories/modèles mais aussi entre les différents concepts (cf. colonne 4 dans Tableau 19 et Tableau 20).

Du fait qu'il y a peu de régulations, le temps didactique avance aussi rapidement et la densité épistémique est élevée. Par ailleurs, la pratique du professeur P1 révèle qu'il n'y a jamais de prises de note par les élèves, dans lesquelles ils auraient un rôle actif même minimal. Le professeur distribue à la fin de la séance des polycopiés, une photocopie des diapositives projetées au cours de la séance.

#### **I.1.4.3 Le professeur assure une avancée de savoir sans trop de discontinuité**

Lors l'avancée rapide des savoirs, le professeur met souvent en relation le champ des observables et le monde des théories/modèles généralement dans l'interprétation (cf. colonne 4 voir Tableau 19 et Tableau 20) et une fois dans la prédiction (cf. ligne 4 colonne 4 voir Tableau 20) lorsqu'il s'agit de collecter les courbes proposées par les élèves et assure de ce fait une continuité entre les deux champs. Par ailleurs, il assure une continuité :

- numérique dans les champs des théories/modèles notamment lorsqu'il s'agit de donner la précision du pH-mètre (cf. ligne 5 colonne 5 voir Tableau 20).
- numérique le champ empirique pour expliquer le nombre de mesure par une pipette de 10 ml pour un prélèvement acide de 30 ml (cf. ligne 5 colonne 5 voir Tableau 20).
- entre l'interprétation microscopique et macroscopique lors de l'étude de l'effet de la dilution (cf. ligne 10 colonne 5 voir Tableau 20).
- entre le statut de la courbe théorique et la courbe expérimentale de l'évolution du pH (cf. ligne 8 colonne 5 voir Tableau 20), une continuité qui s'interroge.

Nous avons pointé (cf. ci-dessus) explicitement certaines continuités. Toutefois, dans ses monologues ou dans les interactions dont il a la maîtrise ce qui simplifie sa tâche, le professeur développe le savoir sur l'axe logique d'une manière généralement très cohérente et le

cheminement suivi montre de rares discontinuités. Il reste tout de même aux élèves à le suivre. Nous constatons dans les pratiques de P1 :

- une discontinuité entre le champ des observables et le monde des théories et modèle (cf. ligne 6 colonne 6 dans Tableau 19) lorsque le professeur indique que le changement de couleur de l'indicateur coloré du jaune au bleu indique le caractère total de la réaction. C'est une discontinuité à caractère « anecdotique », un abus de langage dans le déroulement communicationnel de l'action puisque l'enseignant ne revient pas au cours de la séance sur cette idée-là.
- une discontinuité entre le champ des observables et les théories modèles lorsqu'il n'explique pas la présence de la couleur bleue du BBT pour pouvoir dire que la solution est basique (cf. ligne 7 colonne 6 dans Tableau 19). C'est une discontinuité qui atteste la présence de l'implicite dans l'action de P1 et elle est, vraisemblablement, sans effet sur l'apprentissage des élèves puisque la coloration bleue de la solution basique en présence de BBT est déjà étudiée maintes fois tout le long des classes antérieures.
- une discontinuité dans le monde conceptuel entre l'écriture de la relation symbolique, sa signification et sa représentation symbolique (cf. ligne 7 colonne 6 voir Tableau 19). En effet, lorsque l'enseignant n'explique pas à la fois, les significations de  $C_1$ ,  $V_1$ ,  $C_2$ ,  $V_2$  et la représentation symbolique correspondante lorsqu'il énonce «  $C_1V_1$  inférieur à  $C_2V_2$  ». C'est une discontinuité indiquant la présence d'implicite dans son enseignement.
- Une discontinuité liée aux implicites existant sur les liens entre l'interprétation microscopique d'une relation et son écriture symbolique lorsque il s'agit de passer de l'égalité des concentrations des ions  $H_3O^+$  et  $OH^-$  à l'expression  $pH=1/2 pK_e$  (cf. lignes 9 colonne 6 voir Tableau 20).
- Une discontinuité lorsque le professeur amène l'idée que l'expression du pH de la solution acide est  $pH= - \log C$  sans toutefois insister sur le fait que cette expression n'est valable que pour un acide fort (cf. ligne 5 colonne 6 dans Tableau 20). Ce manque de précision pourrait laisser penser que cette relation vaut pour tous les acides et engendrer chez les élèves une assimilation entre l'expression du pH d'un acide fort et celui d'un acide faible.

- une discontinuité liée entre l'interprétation microscopique et l'interprétation macroscopique à propos de la nature de la solution à l'équivalence (cf. ligne 9 colonne 6 dans Tableau 20) puisque l'enseignant ne précise pas qu'il s'agit d'une solution « aqueuse » de chlorure de sodium.

#### **I.1.4.4 Le statut des savoirs scientifiques reste ambigu dans la classe**

Le professeur ne distingue pas explicitement dans son discours ce qui relève des modèles et théories et ce qui relève de mesures ou d'observations empiriques. Il présente généralement les résultats des modèles et théories qu'il fait fonctionner comme des éléments factuels. Ainsi, le professeur assure une continuité implicite entre la courbe théorique qui sert de référence et des courbes expérimentales obtenues par les élèves (cf. ligne 8 colonne 5 dans Tableau 20), puisqu'il n'a jamais précisé cette différence de statut, même à la demande d'un élève. Par ailleurs, dans l'exposé de P1 notamment lorsqu'il est question d'étudier l'effet de la dilution, on ne voit jamais apparaître l'idée qu'on exploite un modèle ou une théorie et que tous les volumes par exemple sont des données que l'on introduit dans ce modèle ou cette théorie (cf. ligne 11 colonne 5 dans Tableau 20). A ce propos, P1 assure une continuité entre le niveau microscopique et macroscopique sans expliquer pour autant que tout ce que l'on obtient est quelque chose de calculé par le modèle ou la théorie via un traitement numérique. Par ailleurs, Au niveau de la conclusion sur les caractères de la réaction de dosage, on remarque que le professeur lors de l'institutionnalisation (cf. ligne 7 colonne 7 dans Tableau 17) procède à deux généralisations inductives, la première concerne le caractère exothermique et la deuxième la rapidité. A propos du caractère total de la réaction, le professeur développe et fait fonctionner le tableau d'avancement, une manière de représenter ce que dit la théorie ou le modèle (chimique) à propos de l'avancement d'une réaction particulière, dans lequel il utilise des valeurs numériques de nature empirique. La valeur du taux d'avancement permet de prévoir que la réaction sera totale. Toutefois, il n'y a pas retour sur le plan expérimental ni sur le statut théorique de cette conclusion si bien que son statut reste ambigu. Finalement, le statut empirique ou théorique des objets manipulés n'est jamais explicité et leur manipulation en classe conduit à des confusions (au sens littéral du terme) entre champ empirique et champ théorique.

#### **I.1.4.5 Le professeur n'introduit dans le milieu que les objets qui font avancer les savoirs**

Généralement tout ce qui rentre dans le milieu du fait de P, c'est-à-dire la majorité des éléments mésogénétiques (cf. colonne 3 dans Tableau 17 et Tableau 18), contribue à l'avancée des savoirs. Cette caractéristique est associée à la rapidité de l'avancée des savoirs assurée par le professeur P1. Ce dernier, construisant pratiquement seul les savoirs qu'il expose linéairement, n'introduit dans le milieu que les objets qui sont utiles pour assurer une avancée rapide des savoirs. De plus, lorsqu'il laisse parfois de l'espace aux élèves, aucun savoir n'est mis en jeu et les élèves font rentrer peu d'objets dans le milieu (cf. lignes 4 et 8 colonne 3 dans Tableau 18).

#### **I.1.4.6 Le professeur ne fait pas apparaître ses objectifs aux élèves**

L'enseignement assuré par ce professeur se manifeste dans la séquence observée par une succession des moments qui ont une unité sur le plan du sens, une autonomie et une logique propre mais dont la logique dans laquelle ils s'insèrent n'est pas rendue visible aux élèves (cf. colonne 4 dans Tableau 17 et Tableau 18). Il n'y a pas de problématisation (cf. colonne 5 dans Tableau 17 et Tableau 18), à l'exception du début de la séance du cours qui d'ailleurs n'a pas abouti. L'élève suit le professeur sans savoir où celui-ci va l'amener ; il découvre l'enjeu au fur et à mesure des formalisations au cours des échanges, lorsque le professeur affiche la présentation PowerPoint utilisée généralement comme résumé de ce qui a été dit ; ces échanges se clôturent à la fin d'une façon ambiguë parce l'enseignant procède rarement à des institutionnalisations (cf. colonne 7 dans Tableau 17 et Tableau 18).

#### **I.1.4.7 Le langage quotidien est absent et une place est faite au seul point de vue scientifique**

Une autre caractéristique des pratiques observées chez cet enseignant est l'absence des échanges en langage quotidien. Trois raisons le poussent à avoir un profil langagier plutôt scientifique. La première est que le professeur n'a jamais procédé à une problématisation des savoirs, à l'exception de la tentative au début de la séance de cours (cf. ligne 3 colonne 10 dans Tableau 19), problématisation au cours de laquelle les élèves auraient eu l'occasion d'exprimer leurs points de vue éventuellement dans un langage quotidien. La deuxième raison est que le langage quotidien vient généralement des élèves, le professeur pouvant l'utiliser temporairement pour mettre en relation deux formulations, l'une quotidienne et l'autre

scientifique en montrant les relations et les oppositions. Mais comme le professeur est celui qui construit et expose les savoirs, la place des élèves est mineure et celui-ci fait alors un cours de chimie en langage scientifique. La troisième raison est qu'il ne prend pas en compte des représentations des élèves quand celles-ci s'expriment. Ainsi, lorsqu'il demande l'allure de la courbe  $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{B})$  (cf. ligne 4 Tableau 20) le professeur n'a jamais mis en relation les points de vue quotidien et les points de vue scientifique.

## **I.2 - Analyse de l'action de la professeure P2**

La professeure P2 consacre deux séances, qu'elle qualifie de travaux pratiques, pour enseigner cette partie du programme. Nous analysons une seule séance de TP intitulée « dosage d'un acide fort par une base forte » parce que les deux séances filmées présentent une structuration à l'échelle mésoscopique semblable et que la thématique de cette leçon est identique à celle des deux séances faites par P1 et analysées. Nous renvoyons le lecteur aux pages 207, 208 et 209 dans l'annexe pour une éventuelle consultation du synopsis de la séance de TP2 pour le comparer à celui de la séance de TP1 présentée ci-dessous et constater les similitudes.

### **I.2.1 - Analyse de la séance de travaux pratiques TP1 intitulée « dosage d'un acide fort par une base forte »**

Nous avons structuré la séance de travaux pratiques de P2 en 9 jeux didactiques. Egalement, comme c'était le cas pour P1, nous n'analysons pas le jeu 4, « Réaliser l'expérience du dosage de HCl par NaOH » puisque les interactions se font en mini-groupe lors de la réalisation de l'expérience.

#### **I.2.1.1 Synopsis de la séance de TP1 pour P2**

Nous procédons, de la même façon que pour P1, à la structuration mésoscopique de la séance de P2, en thèmes, en jeux et en organisation sociale. Ce dernier est généralement en « classe entière », elle ne change qu'au cours de la réalisation de TP en groupe de 4 élèves. La structuration montre que le thème prépondérant est « Réalisation du dosage de HCl par NaOH » qui occupe à lui seul presque 40 minutes.



Thèmes	Jeux didactiques	Episodes		Organisation sociale	Temps
		N°	Intitulés		
Thème 1 Dosage AF BF (Rappels – objectif de la séance) 0:00:00 → 0:06:21	(Jeu 1) Se rappeler des définitions de l'acide et de la base selon les théories d'Arrhenius et Bronsted et du pH-mètre et des papiers pH comme méthodes pour déterminer le pH d'une solution	Ep_1.1	Se rappeler des définitions des acides et des bases selon les théories d'Arrhenius et Bronsted	CE	0:00:00 → 0:04:24
		Ep_1.2	Connaitre les objectifs de la séance	CE	0:04:24 → 0:05:59
		Ep_1.3	Se rappeler du pH-mètre et des papiers pH comme méthodes pour déterminer le pH d'une solution	CE	0:05:59 → 0:06:21
Thème 2 Les solutions dans un dosage AF BF 0:06:21 → 0:10:21	(Jeu 2) Se rendre compte des entités chimiques présentes dans le milieu réactionnel lors de la réaction entre HCl et NaOH à partir des équations d'ionisation de HCl et NaOH	Ep_2.1	Se rendre compte des entités chimiques présentes dans le milieu réactionnel lors de la réaction entre HCl et NaOH à partir des équations d'ionisation de HCl et NaOH	CE	0:06:21 → 0:10:21
Thème 3 Mode opératoire du dosage AF BF 0:10:21 → 0:16:31	(Jeu 3) Prendre connaissance de mode opératoire et des grandeurs en jeu pour le dosage HCl par NaOH	Ep_3.1	Prendre connaissance de mode opératoire et des grandeurs en jeu pour le dosage HCl par NaOH	CE	0:10:21 → 0:16:31
Thème 4 Réalisation du dosage de HCl par NaOH 0:16:31 → 0:58:25	(Jeu 4) Réaliser expérimentalement le dosage de HCl par NaOH	Ep_4.1	Réaliser expérimentalement le dosage de HCl par NaOH	G de 4	0:16:31 → 0:46:49
	(Jeu 5) Tracer la courbe de variation $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{B})$ à partir des données expérimentales	Ep_5.1	Tracer la courbe de variation $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{B})$ à partir des données expérimentales	Indi + CE	0:46:49 → 0:58:25

Thème 5 Interprétation de la courbe de variation $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{B})$ 0:58:25 → 1:00:33	(Jeu 6) Suivre l'interprétation de la courbe du dosage	Ep_6.1	Suivre l'interprétation de la courbe de dosage	CE	0:58:25 → 1:00:33
Thème 6 Le point d'équivalence 1:00:33 → 1:12:06	Calculer la concentration inconnue de l'acide fort et déduire la nature de la solution à l'équivalence à partir de la détermination des coordonnées du point d'équivalence	Ep_7.1	Prendre connaissance de la procédure de détermination de la concentration de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence	CE	1:00:33 → 1:02:44
		Ep_7.2	Déterminer le volume de la base $\text{V}_{\text{BE}}$ à partir de l'identification du point d'équivalence sur la courbe $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{B})$ à l'aide de la méthode des tangentes	Indi + CE	1:02:44 → 1:08:38
		Ep_7.3	Formaliser le calcul de la concentration inconnue de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence déterminées sur sa courbe	Indi + CE	1:08:38 → 1:11:18
		Ep_7.4	Se rendre compte de la neutralité de la solution à l'équivalence	CE	1:11:19 → 1:12:06
Thème 7 Dosage d'une base forte par un acide fort 1:12:07 → 1:14:14	(Jeu 8) Réaliser que l'interprétation précédente AF BF s'applique au cas d'un dosage d'une base forte par un acide fort	Ep_8.1	Réaliser que l'interprétation précédente AF BF s'applique au cas d'un dosage d'une base forte par un acide fort	CE	1:12:07 → 1:14:14
Thème 8 Effet de la dilution sur la courbe de dosage 1:14:14 → 1:17:13	(Jeu 9) Percevoir l'effet de la dilution sur les courbes de dosage	Ep_9.1	Percevoir l'effet de la dilution sur les courbes de dosage	CE	1:14:14 → 1:17:13

Tableau 21: synopsis de la séance de TP1 pour P2

### **I.2.1.2 Analyse de jeux didactiques de la séance de TP1 pour la professeure P2**

Notons que pour ne pas alourdir le texte des résultats, nous présentons uniquement les analyses des jeux didactiques et nous renvoyons le lecteur aux annexes pour la consultation de l'analyse des épisodes de niveau N-1 (cf. pages 175 – 183 dans l'annexe).

#### **I.2.1.2.1 Analyse du jeu 1 : « Se rappeler des définitions de l'acide et de la base selon les théories d'Arrhenius et Bronsted et du pH-mètre et des papiers pH comme méthodes pour déterminer le pH d'une solution »**

##### ***I.2.1.2.1.1 Narration didactique***

*Par une série de questions/réponses, la professeure amène l'idée que l'acide est défini comme étant un donneur de  $H_3O^+$  et que son pH est inférieur à 7. Ensuite, après avoir demandé aux élèves de se rappeler les définitions d'un acide et d'une base selon les théories d'Arrhenius et de Bronsted, elle rappelle oralement la définition de l'acide, d'abord selon la théorie de Bronsted, comme étant une entité chimique capable de céder l'ion  $H^+$  ou  $H_3O^+$  et celle de la base comme étant toute entité chimique capable de capter un ion  $H^+$ . Ensuite l'acide est défini (à tort) selon la théorie d'Arrhenius, comme étant une molécule qui dans l'eau donne soit les ions  $OH^-$  soit les ions  $H_3O^+$ . Elle conclue sur la présence mutuelle de l'acide et la base dans la théorie de Bronsted. Ensuite, après avoir rappelé aux élèves qu'ils ont réalisé des réactions de dosage en deuxième et en troisième année, la professeure informe la classe de l'objectif de la séance en le faisant lire par un élève : déterminer une concentration d'un acide en suivant la variation du pH au cours d'une réaction de dosage entre un acide fort et une base forte, évolution annoncée ici en fonction du temps et non du volume de base ajoutée. La professeure, par deux questions/réponses amène alors l'idée que la mesure du pH se fait par deux méthodes, les papiers pH et le pH-mètre, en donnant à ce dernier la préférence en raison de la précision (voire de « l'exactitude ») des mesures.*

##### ***I.2.1.2.1.2 Analyse didactique***

La chronogenèse évolue rapidement, sous la responsabilité de la professeure, coupée par deux phases dans lesquelles elle est arrêtée, lorsqu'elle informe les élèves, à partir de la lecture de la fiche de TP des objectifs de la séance (cf. tdp19\_1, 20, 21, 22, 23, 24\_1 page 155 dans l'annexe). La densité épistémique dans ce jeu est forte lorsqu'il s'agit de définir les acides et les bases selon les théories de Bronsted et Arrhenius. Les échanges communicationnels

dont la professeure a toujours l'initiative sont de type IRE. Les questions d'initiation sont généralement ouvertes puis, relativement, fermées compte tenu des réponses des élèves (cf. tdp 4 et 10 dans l'Extrait 52 et tdp 24\_2 et 26 dans l'Extrait 53).

4. P2 : alors (0:00:47) je sais pas vous avez vu les acides et les bases en deuxième année et en troisième année (0:00:56) alors on va faire un petit rappel avant de commencer (0:00:58) qu'est-ce qu'un acide?
5. E : hehh
6. P2 : vous vous rappelez d'un acide ?
7. E1 : donne  $H_3O^+$
8. P2 : un acide contient  $H_3O^+$  qui peut donner une autre définition
9. E2 : libère  $H^+$
10. E3 : pH inférieur à 7
11. P2 : le pH est inférieur à 7 (0:01:24) là on a deux définitions (0:01:26) soit qu'on parle d'un donneur de  $H_3O^+$  soit de la valeur de pH (0:01:34) voilà tout le thème on va parler des réactions acidobasiques le deuxième chapitre ça concerne le pH on va déterminer exactement le pH des acides que ce soit des acides forts ou des acides faibles (0:01:47)..Vous n'avez pas donné la définition exacte d'un acide (0:01:50) alors qu'est-ce qu'un acide.. Allez soit la théorie d'Arrhenius soit celle de Bronsted celle que vous avez vu en deuxième année ou bien en troisième année alors (0:02:08)

**Extrait 52 : la professeure initie les échanges par deux questions ouvertes (tdp 4 et 6) puis relativement fermées (fin du tdp 10) compte tenu des réponses des élèves (tdp 7 et 9). Les réponses sont évaluées (tdp 8 et début tdp 10) suivi d'une nouvelle question (fin tdp 8 et fin tdp 10). Elle procède à une formalisation au tdp 11.**

- 24\_2. P2 : hein pour mesurer le pH on a deux méthodes est ce que je peux déterminer le pH
25. E : papier pH (0:06:05)
26. P2 : donc soit le papier pH sinon (0:06:08)
27. E : le pH-mètre
- 28\_1. P2 : le pH-mètre (0:06:10) alors le papiers pH (en les montrant) vous le connaissez bien sûr par contre la mesure avec le pH-mètre elle est encore plus précise donc à chaque instant je peux mesurer exactement le pH hein (0:06:22)

**Extrait 53 : la professeure initie les échanges par une question ouverte (tdp 24\_2) et fermée (fin de tdp 26), l'élève répond en tdp 25 et tdp 27 et la professeure évalue systématiquement la réponse (début tdp 26 et 28\_1). Les élèves apportent les deux méthodes pour déterminer le pH en tdp 25 et tdp 27.**

Le jeu est défini en partie, rappeler les définitions d'un acide et d'une base. Par ailleurs la visibilité des enjeux du jeu s'éclaircit au fur et à mesure des épisodes successifs (cf. tdp 4, 6 Extrait 52 et tdp 24\_2 Extrait 53), d'une formalisation faite par la professeure (cf. tdp 11 Extrait 52 et aussi tdp 19\_1 pages 155 dans l'annexe) et d'une institutionnalisation lors de la définition d'un acide et d'une base selon la théorie de Bronsted (cf. tdp 14 pages 154 et 155 dans l'annexe).

Les savoirs sont exprimés en langage naturel scientifique, oral et écrit, et concernent le monde des théories/modèles, lorsqu'il s'agit de rappeler les définitions de l'acide et de la base (cf. tdp 7, 9, 10, 11, 14, 16 et 17 pages 154 et 155 dans l'annexe), et le champ empirique, quand on évoque les méthodes de mesures du pH d'une solution (cf. tdp 25 et 27 pages 155 et 156 dans l'annexe). La communication, constamment « autoritative », se développe selon une alternance entre phase interactive et une phase non interactive. Dans la phase interactive les élèves participent à l'avancée du savoir sur un axe lié à sa structure logique en utilisant la mémoire didactique (cf. tdp 7 Extrait 54), pour définir les acides et les bases d'une part, et en apportant les deux méthodes de la détermination du pH (cf. tdp 25, 27 dans Extrait 53). Dans la phase non interactive, lorsque les réponses des élèves ne sont pas satisfaisantes, la professeure procède à des monologues d'explication des objectifs de la séance (cf. tdp 24\_1 pages 155 dans l'annexe) et d'approfondissement, où elle donne la définition, d'abord d'un acide et d'une base selon la théorie de Bronsted, puis selon la théorie d'Arrhenius (cf. tdp 19\_1 pages 155 dans l'annexe).

16. P2 : une molécule un ion chargé positivement négativement (0:03:21) ion simple ion composé qu'est-ce que c'est une entité chimique ? (0:03:25)

17. E : une molécule

18. P2 : alors, si (0:03:29) vous parlez seulement des molécules là vous êtes dans la théorie d'Arrhenius que vous l'avez vu en deuxième année (0:03:35)

*Deux élèves retardataires demandent d'entrer, la professeure leurs répond va y (0:03:37)*

19\_1. P2 : par contre la théorie de Bronsted (0:03:41) elle concerne les entités chimiques que ce soit des molécules, des ions composés ou bien des ions simples vous rappelez celle d'Arrhenius (0:03:48) Arrhenius en deuxième année vous l'avez vu .. il dit que **l'acide c'est une molécule que vous mettez dans l'eau elle va vous donner soit les ions OH<sup>-</sup> soit les ions**

$H_3O^+$ .. sinon.. pour Bronsted, Bronsted vous ne pouvez parler d'acide qu'en présence d'une base et vous ne pouvez parler de base qu'en présence d'acide

Extrait 54 : P2 appelle à la mémoire didactique des élèves pour définir l'entité chimique (tdp 16 et 18). En tdp 19\_1, elle donne, à tort, la définition de l'acide selon la théorie d'Arrhenius (en rouge) puis lorsqu'elle évoque la théorie de Bronsted elle n'établit pas de continuité entre l'interprétation microscopique de l'équation formelle acide/base, délivrée en langage naturel, et sa représentation symbolique (violet)

Les régulations susceptibles d'orienter les élèves sont absentes parce qu'ils répondent correctement en apportent les deux méthodes de mesure du pH.

Par ailleurs, la professeure n'établit pas explicitement de lien, dans le champ conceptuel, entre l'interprétation au niveau microscopique de l'équation formelle qui relie l'acide et la base et sa représentation symbolique pour conclure sur la présence, conjointement, de l'acide et de la base dans la théorie de Bronsted (cf. tdp 19\_1 (phrase en violet) Extrait 54). Les élèves ont à leurs charge d'identifier la base conjuguée (acide conjugué) issue de l'ionisation de l'acide (la base) et de les lier (acide et base conjuguée) dans un couple acide/base conjuguée.

On constate aussi dans le début de ce tdp 19\_1 (cf. Extrait 54), une discontinuité dans l'avancée du savoir entre l'interprétation macroscopique de cette équation d'ionisation et son interprétation microscopique lorsque la professeure définit, à tort, l'acide selon la théorie d'Arrhenius comme étant une molécule qui donne dans l'eau soit les ions  $OH^-$  soit les ions  $H_3O^+$  « l'acide c'est une molécule que vous mettez dans l'eau elle va vous donner soit les ions  $OH^-$  soit les ions  $H_3O^+$  ». Cette discontinuité est due probablement à une connaissance approchée des savoirs disciplinaires.

### 1.2.1.2.1.3 En résumé

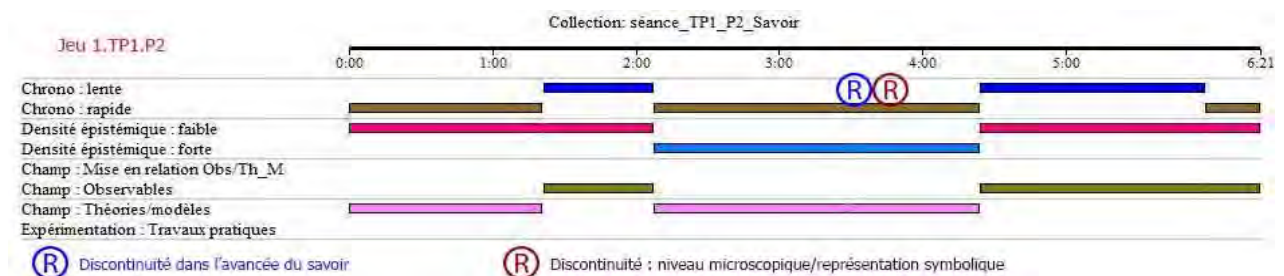


Figure 46: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 1 de la séance de TP1 pour P2

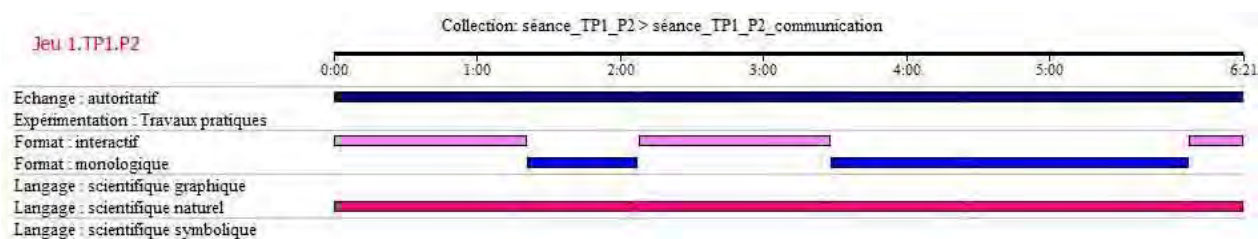


Figure 47: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 1 de la séance de TP1 pour P2

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
1.TP1.P2	P	P	En partie	Absente	Absente	Présente

Tableau 22: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 1.TP1.P2 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### I.2.1.2.2 Analyse du jeu 2 : « Se rendre compte des entités chimiques présentes dans le milieu réactionnel lors de la réaction entre HCl et NaOH à partir des équations d'ionisation de HCl et NaOH »

#### I.2.1.2.2.1 Narration didactique

Après avoir ramené à partir de la lecture de la fiche de TP, la sienne et celle de l'élève, les solutions d'acide fort (HCl) et base forte (NaOH) utilisées au cours de la réaction, la professeure, par un jeu de questions/réponses/évaluation, écrit l'équation d'ionisation de NaOH et aboutit à la présence de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  comme produits. Rapidement, elle abandonne cette équation, puisqu'il n'y a pas d'égalité de charges dans les réactifs et les produits en exprimant, à tort, l'absence de parité existant dans cette écriture. Puis, en précisant qu'elle écrit seulement l'équation d'ionisation de NaOH sans l'eau, la professeure amène l'idée que l'ionisation de NaOH donne les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{OH}^-$ . Ensuite, elle écrit l'équation de dissociation de l'eau et l'utilise avec l'équation d'ionisation de NaOH pour établir l'équation bilan. Les échanges aboutissent à l'équation : NaOH plus deux molécules d'eau donnent  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $2\text{OH}^-$ . Cette dernière équation est ignorée en faveur de l'ionisation qui donne  $\text{Na}^+$  et  $\text{OH}^-$  la professeure signalant que NaOH est une base forte. Par la suite, elle amène l'idée que l'ionisation de l'acide fort HCl donne  $\text{H}^+$  (ou  $\text{H}_3\text{O}^+$  si on ajoute une molécule d'eau) et  $\text{Cl}^-$ . Enfin, elle conclut à la présence des entités chimiques  $\text{Na}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{Cl}^-$  dans le mélange au cours de la réaction entre NaOH et HCl.

### 1.2.1.2.2.2 Analyse didactique

La chronogenèse avance rapidement sur un axe lié à la structure logique des savoirs, sous la responsabilité de la professeure. Sur le plan topogénétique, les élèves, sollicités par la professeure apportent des signifiants dans le milieu (cf. tdp 34, 35 et 42, Extrait 55 et Extrait 56). La professeure apporte elle aussi des éléments dont certains manquent de pertinence au regard de l'enjeu de savoir (cf. tdp 37 Équation 4 Extrait 55). La communication est autoritative interactive et les interactions communicationnelles gardent généralement la forme IRE (Initiation – Réponses – Evaluation) ; la professeure est toujours responsable de l'initiation des interactions, les élèves répondent et elle évalue et déclenche ensuite une nouvelle initiation. (cf. tdp 33, 34 et 35 dans Extrait 55)

33. P2 : là (en pointant sur NaOH) (0:07:05) soit vous mettez le H<sup>+</sup> soit H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> comme vous voulez c'est une base forte (0:07:12) je vais l'écrire avec une seule flèche ... NaOH plus H<sub>2</sub>O qu'est-ce qu'elle va nous donner donc... (0:07:20)

34. E : H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>

35. P2 : H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> oui...encore (0:07:24)

36. E : OH<sup>-</sup>

37. P2 : voilà plus OH<sup>-</sup> (0:07:28)..là vous n'avez pas trouver de parité ...là ...deux charges positives et une charge négative (0:07:33)..donc qu'est-ce qu'on va avoir ? (0:07:35)



Équation 4 : ionisation de NaOH (1)

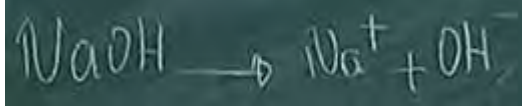
Extrait 55: les élèves apportent des signifiants (tdp 34, 36) dans les échanges communicationnels de type IRE. P2 introduit un élément manquant de pertinence (tdp 37)

41. P2 : je vais écrire le suivant (0:07:53)...on va mettre seulement le NaOH il se dissocie dans l'eau.. qu'est-ce qu'il va donner (0:07:57)

42. E : Na<sup>+</sup> plus OH<sup>-</sup> (0:07:58)

43. P2 : voilà Na<sup>+</sup> plus OH<sup>-</sup> (0:08:02)...





Équation 5 : ionisation de NaOH (2)

j'ai ajouté de l'eau donc NaOH plus H<sub>2</sub>O donne...qu'est-ce qu'elle va nous donner

(0:08:11)...

Extrait 56 : la professeure instaure l'équation d'ionisation de NaOH (tdp 43) en assurant une continuité entre le langage scientifique et les représentations symboliques (tdp 42 et 43)

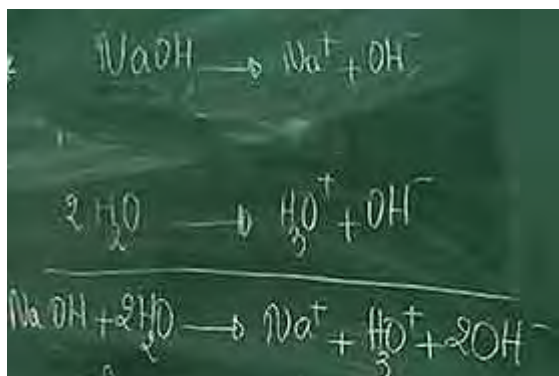
L'institutionnalisation est assurée lorsque la professeure formalise les ions participant à la réaction de dosage (cf. tdp 57\_1 Extrait 57). La problématisation de l'enjeu est inexistante et par suite la dévolution du jeu est absente. Egalement il n'y a pas de régulations dans ce jeu. En effet, le jeu est épistémiquement faible et les élèves mobilisent la mémoire didactique pour écrire les équations d'ionisation de l'acide et de la base et pour identifier les ions présents dans la solution. Le jeu n'est pas défini et la professeure donne une visibilité sur les enjeux uniquement à la fin de ce jeu (cf. tdp 57\_1 dans Extrait 57)

57\_1. P2 : donc donne H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> plus le Cl<sup>-</sup> (0:09:52) c'est bon.. alors je veux réaliser la réaction chimique entre une base celle-là NaOH et le HCl d'accord ... **alors si je veux réaliser cette réaction là ... on va avoir les ions Na<sup>+</sup> les ions OH<sup>-</sup> des ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> et les ions Cl<sup>-</sup> d'accord (0:10:16) ça ce que j'ai comme entités chimiques dans le mélange dans le milieu réactionnel (0:10:20) ...alors.. (0:10:20)**

Extrait 57 : la professeure annonce les entités chimiques ionisées comme l'enjeu des savoirs présentés

Les savoirs, relatifs à la détermination des entités chimiques présentes dans le milieu réactionnel, sont exprimés majoritairement sous forme symbolique. En fait, les équations d'ionisation de HCl et NaOH sont familières aux élèves, étudiées dans les classes antérieures, et par suite la densité épistémique est faible. La professeure assure généralement une continuité entre le langage scientifique oral et les représentations symboliques, dans le champ des théories/modèles (cf. tdp 33, 35 et 37 Extrait 55, tdp 42 et tdp 43 Extrait 56, tdp 57\_1 Extrait 57, tdp 51 Extrait 58 et aussi dans l'annexe tdp 55 page 158,).

51. P2 : alors ce qu'on va faire...(0:08:39) on va associer au même temps NaOH qui donne Na<sup>+</sup> plus OH<sup>-</sup> et 2H<sub>2</sub>O qui va donner H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> plus le OH<sup>-</sup> donc je vais effacer celle-là (0:08:56) donc on va avoir NaOH plus deux H<sub>2</sub>O donne Na<sup>+</sup> plus H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> +2OH<sup>-</sup>



Équation 6 : ionisation de NaOH (3)

Allez..regardez .. puisque le NaOH est une base forte je vais écrire l'équation sans mettre le H<sub>2</sub>O (0:09:14) ça vous donne exactement celle-ci NaOH donne Na<sup>+</sup> plus OH<sup>-</sup> (0:09:20)..c'est bon.. ok.. (0:09:23) alors pour le cas de l'acide le HCl se dissocie dans l'eau pour donner (0:09:29)

Extrait 58 : la professeure assure une continuité entre le langage scientifique oral et les représentations symboliques dans l'écriture de l'équation d'ionisation de NaOH

Au cours du tour de parole 51 de l'extrait précédent, la professeure assure gestuellement une continuité entre la description délivrée en langage naturel et la suppression de la représentation symbolique de NaOH (cf. Équation 4 dans Extrait 55) et instaure l'équation d'ionisation de NaOH (tdp 51 « ça vous donne exactement celle-ci NaOH donne Na<sup>+</sup> plus OH<sup>-</sup> (cf. Équation 5 dans Extrait 56) (0:09:20) ». Dans ce tour de parole également, on peut observer une discontinuité, entre l'interprétation microscopique de l'équation d'ionisation de NaOH et l'écriture des relations symboliques. En effet, la professeure supprime l'équation qu'elle avait elle-même initiée, (cf. Équation 4 dans Extrait 55), qui d'ailleurs n'a aucun fondement théorique, sans aucune justification. En plus, elle abandonne l'équation de la réaction résultante établie dans un second temps (cf. Équation 6 dans Extrait 58) pour revenir à l'équation déjà proposée préalablement (cf. Équation 5 dans Extrait 56) en donnant comme justification le fait que la base est forte. La mésogenèse est alors sous contrôle de P2 du fait que le milieu est fortement influencé par P2 (cf. tdp 37 Extrait 55 et tdp 43 Extrait 56).

Par ailleurs, le tour de parole 33 (cf. Extrait 55) (« P2 : là (en pointant sur NaOH) soit vous mettez H<sup>+</sup> soit H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> comme vous voulez c'est une base forte. Je vais l'écrire avec une seule flèche » est le siège de deux discontinuités, dans le champ des théories/modèles. La première

discontinuité est entre l'interprétation microscopique des ions  $H^+$  et  $H_3O^+$  et leurs représentations symboliques lorsque la professeure identifie l'ion  $H^+$  à  $H_3O^+$  en laissant dans l'implicite l'existence ou non de la molécule d'eau dans l'équation d'ionisation. La deuxième discontinuité est entre l'interprétation microscopique de l'équation d'ionisation de NaOH chimique et son écriture symbolique lorsque l'enseignante laisse dans l'implicite le caractère total de l'ionisation de NaOH pour pouvoir écrire cette ionisation avec une seule flèche.

### 1.2.1.2.2.3 En résumé

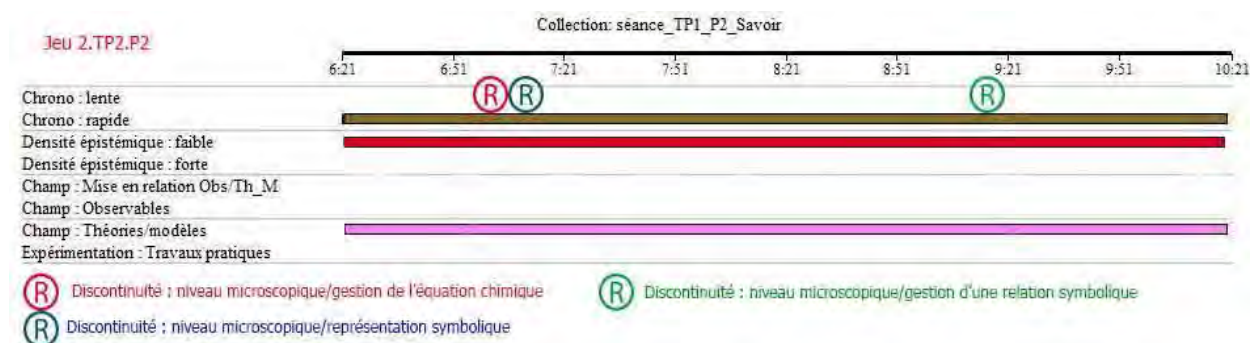


Figure 48: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 2 de la séance de TP1 pour P2

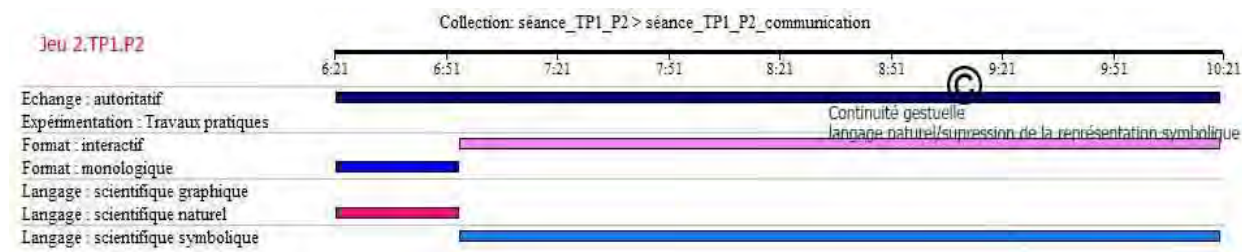


Figure 49: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 2 de la séance de TP1 pour P2

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
2.TP1.P2	P	P	Absente	Absente	Absente	Présente

Tableau 23: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 2.TP1.P2 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### 1.2.1.2.3 Analyse du jeu 3 : « Prendre connaissance de mode opératoire et des grandeurs en jeu pour le dosage HCl par NaOH »

#### 1.2.1.2.3.1 Narration didactique

Après que les élèves aient légendé le schéma du dispositif expérimental pour un dosage AF BF à partir de la lecture de la fiche de TP par un élève ou à partir d'informations de cette fiche

qu'elle prélève elle-même, la professeure amène successivement les éléments suivants, nécessaires à la mise en œuvre du dosage et à la détermination de la concentration inconnue de l'acide : prélèvement de 20 mL d'HCl ; existence de quatre grandeurs dans ce type de dosage  $C_A$ ,  $V_A$ ,  $C_B$  et  $V_B$  ; usage du le bleu de bromothymol comme indicateur permettant de virer au jaune si la solution est acide ; introduction de la soude dans la burette. Enfin, elle rappelle l'objectif qui est de déterminer la concentration de l'acide et achève ce jeu par la schématisation au tableau du dispositif expérimental permettant de réaliser un tel dosage, déjà présent sur la fiche de TP, et la lecture des dernières consignes pour la réalisation du dosage et les mesures de pH.

#### **1.2.1.2.3.2 Analyse didactique**

La professeure ramène dans le milieu à partir de la lecture, la sienne ou celle des élèves, des éléments déjà introduits dans la fiche de TP. L'apport des élèves dans le milieu est insignifiant. La chronogénèse avance, sous la responsabilité de la professeure, à la vitesse de la lecture de la fiche (cf. tdp 61 et 62 Extrait 59), sur un axe lié à la structure logique des savoirs, majoritairement procéduraux. La topogénèse est côté professeure puisque c'est elle qui a conçu la fiche.

60. P2 : alors pour le principe.. **vous lisez..allez-y** (0:11:13)

61. E : prélevez à l'aide de prop...pipette un volume  $V_A=20\text{mL}$  de la solution chlorhydrique le versez dans le bécher et ajouter quelques gouttes de BBT afin que la solution soit colorée en jaune clair (0:11:28.0)

62. P2 : en jaune clair d'accord (0:11:29) alors on nous demande de prélever à l'aide de propipette un volume  $V_A$  de 20mL de la solution chlorhydrique alors ça c'est notre prise d'essais donc si vous allez faire un dosage (0:11:42) vous allez avoir quatre deux solutions et quatre données c'est à dire les quatre données (0:11:50).. trouver une solution basique (0:11:51) quelques soit la solution on va avoir un volume  $V_B$  et une concentration  $C_B$  alors pour la solution acide on va avoir un volume  $V_A$  et une concentration  $C_A$  ... (la professeure écrit sur le tableau)



Figure 50: les 4 grandeurs dans la réaction AF BF

Là ça dépend est ce que vous allez doser l'acide par la base ou bien la base par l'acide (0:12:25) donc ici l'acide fort par la base forte donc votre prise d'essais vous devez prendre un volume bien déterminée de de quelle solution acide ou basique (0:12:38)

Extrait 59: la professeure fait avancer les savoirs, à la vitesse de la lecture (tdp 60 et 61), de densité épistémique faible

Même si la densité épistémique est faible (cf. ci-dessus) et que les savoirs n'évoluent pas sur le plan conceptuel, la chronogenèse évolue sur le plan des savoir-faire. La régulation et l'institutionnalisation sont absentes dans ce jeu. Professeur et élèves oralisent des éléments introduits dans le milieu via la fiche de TP, sans autre apport significatif de sens. Le jeu est défini au fur et à mesure de la lecture de la fiche de TP.

Les savoirs, relatifs au mode opératoire et aux grandeurs en jeu pour le dosage de HCl et NaOH, sont exprimés en langage scientifique naturel, oral et écrit, relèvent majoritairement du champ empirique et sont de nature procédurale (cf. Extrait 60).

63. Collectif : acide (0:12:41)

64. P2 : donc c'est pour ça on a mis 20mL d'une solution d'acide chlorhydrique d'accord (0:12:47) si c'était l'inverse on peut doser la base par l'acide donc notre prise d'essais elle doit.. vous devez prendre 20mL de la solution basique soit NaOH ou un autre type de base (0:13:01) donc on va verser dans le bécher et on va rajouter quelque gouttes de BBT qu'est-ce que le BBT (0:13:06)

65. E : le bleu de bromothymol (0:13:09)

66. P2 : c'est un indicateur coloré (0:13:11) qu'est-ce qu'il nous permet d'indiquer (0:13:13)

67. E : si la solution est acide ou basique (0:13:17)

68. P2 : voilà vous marquez le BBT si c'est acide (0:13:20) ça sera une solution
69. E : jaune
70. P2 : qui vire au jaune (0:13:23) si elle vire au vert si elle est neutre (0:13:26)
71. E : bleu si c'est base

Extrait 60: les échanges, de format IRE, sont en langage scientifique oral dans le champ empirique et de nature procédurale.

La communication, tout le temps « authoritative » et de format IRE, se développe de manière interactive, coupée par une partie monologique. Dans la phase interactive, l'élève est réduit à un simple lecteur d'une fiche de TP (cf. tdp 61 Extrait 59), dans laquelle sont déjà explicitées les procédures de réalisation d'une telle expérience. La professeure oralise les éléments dans la fiche sans ajouter des commentaires explicatifs significatifs. Par ailleurs, la professeure n'établit pas un lien entre les données empiriques et le monde conceptuel pour expliquer la détermination de la concentration inconnue de l'acide (cf. tdp 75 Extrait 61).

74. P2 : voilà (0:13:50) dans ce cas-là j'ai une valeur bien déterminée de  $C_B$  égale 0,1 mol/l par contre là ce que j'ai.. est le volume de l'acide 20mL égale 20 dix moins trois litre.. je veux mettre en litre ce que j'ai comme inconnue soit la concentration  $C_A$  soit le volume  $V_A$  (0:14:11) d'accord alors n'oubliez pas notre objectif (0:14:15) on veut doser la solution par pH-métrie c'est à dire on veut chercher une concentration inconnue dans notre cas ça sera la concentration de l'acide  $C_A$  (0:14:27)

*Le professeur met un point d'interrogation devant  $C_A$  (0:14:30)*

75. P2 : d'accord donc quatre inconnues pardon quatre grandeurs (0:14:32) donc nécessairement si je cherche la concentration  $C_A$  donc qu'est-ce que je dois avoir encore comme donnée (0:14:39)

76. E : le  $V_{BE}$  (0:14:40)

77. P2 :  $V_{BE}$  alors (0:14:41) on va voir comment est-ce que je vais déterminer le  $V_{BE}$  allons on continue (0:14:46) alors on vous dit

Extrait 61 : la professeure évoque les quatre grandeurs dans cette réaction ( $C_A$ ,  $V_A$ ,  $C_B$  et  $V_{BE}$ ) (tdp 74) et rappelle la détermination de  $C_A$  comme objectif (tdp 74 et 75). Elle n'établit pas le lien entre ces quatre grandeurs, connaissant  $V_{BE}$ , pour déterminer  $C_A$  (tdp 77).

De plus, la professeure n'établit pas des liens entre le jeu 2 et le jeu 3. Il y a un saut du monde majoritairement conceptuel, dans le jeu 2, vers un monde majoritairement empirique, dans le jeu 3. En effet, on pourrait imaginer dans le jeu 3 une reprise de certains éléments du jeu 2,

notamment en ce qui concerne l'écriture de l'équation de la réaction de titrage, équation entre les ions  $H_3O^+$  et les ions  $OH^-$  pour donner de l'eau, ce qui n'était pas le cas. On peut observer l'existence d'une discontinuité thématique, la professeure n'établissant pas des liens les thèmes 2 et 3 pour assurer une progression sur l'axe logique structurant les savoirs.

Professeure et élèves se basent sur la fiche de TP pour faire avancer les savoirs. Cette fiche peut être considérée comme déterminant dans ce jeu. En effet, ce jeu est tout simplement une intégration dans le milieu de tous les éléments déjà présents dans la fiche.

### 1.2.1.2.3.3 En résumé

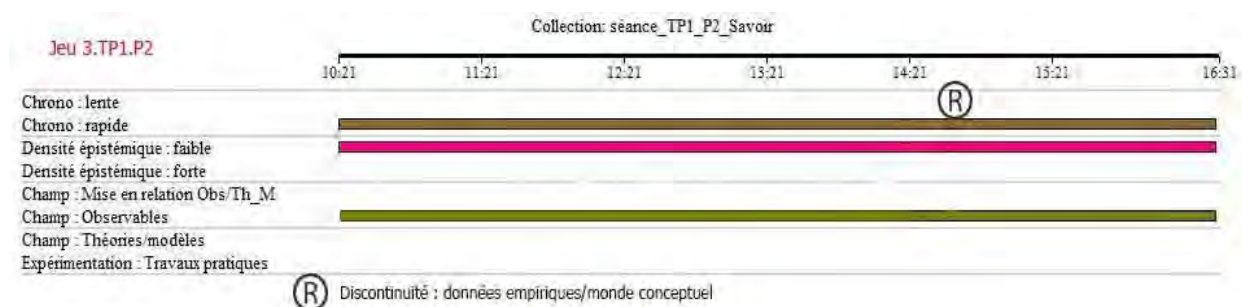


Figure 51: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 3 de la séance de TP1 pour P2

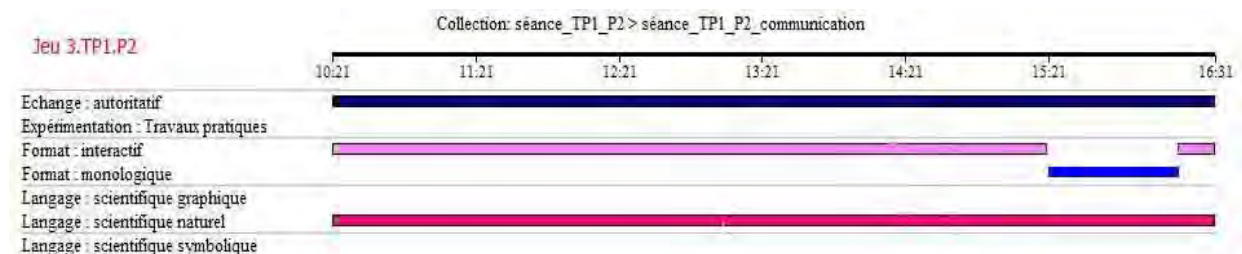


Figure 52: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 3 de la séance de TP1 pour P2

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
3.TP1.P2	P	Fiche TP	Absente	Absente	Absente	Absente

Tableau 24: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 3.TP1.P2 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### 1.2.1.2.4 Jeu 4 : Réaliser l'expérience du dosage de HCl par NaOH

Dans ce jeu, les élèves réalisent le suivi pH-métrique de la réaction entre HCl et NaOH. Les élèves travaillent en groupe de trois élèves chacun. Ils suivent les consignes prescrites dans la fiche. De ce fait, ils prélèvent, dans un bécher, 20 mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration inconnue, ajoutent quelques gouttes de BBT et plongent un barreau aimanté



dedans. Ils mettent leurs béchers sur les agitateurs magnétiques. Ensuite, ils remplissent la burette d'une solution d'hydroxyde de sodium 0,1 M. A chaque addition d'un volume bien déterminé de NaOH, les élèves notent la valeur de pH donnée par le pH-mètre. La professeure contrôle le déroulement du mode opératoire réalisé par chacun des trois mini-groupes.

Rappelons que nous nous intéressons aux interactions collectives en classe entière. De ce fait, nous n'avons pas analysé les interactions dans les mini-groupes lors de la réalisation de l'expérience.



### I.2.1.2.5 Analyse du jeu 5 : « Tracer la courbe de variation $pH=f(V_B)$ à partir des données expérimentales »

#### I.2.1.2.5.1 Narration didactique

Après avoir terminé le suivi pH-métrique de la réaction entre un acide fort HCl et une base forte NaOH dans chacun des trois mini-groupes, la professeure demande à ses élèves de tracer la courbe de pH en fonction du volume de la base ajouté  $pH = f(V_B)$ . Elle propose, pour cela, l'échelle un cm, sur l'axe des ordonnées, pour représenter une unité de pH et un cm, sur l'axe des abscisses, pour représenter 2 cm<sup>3</sup> de NaOH. Les élèves procèdent, chacun pour soi, au traçage de la courbe  $pH = f(V_B)$  à partir des valeurs déterminées ensemble dans leur mini-groupe. Après que les élèves aient tracé les courbes, la professeure montre le tracé d'un élève à toute la classe, pour montrer la forme de la courbe souhaitée. Elle représente, ensuite, sur le tableau l'allure de la courbe  $pH = f(V_B)$ , en introduisant à tort une approximation de la variation du pH, au début de la courbe.



### ***1.2.1.2.5.2 Analyse didactique***

Bien que le travail des élèves soit individuel dans ce jeu, il est réduit au minimum sur le plan épistémique. L'élève reprend l'échelle donnée par la professeure, introduite aussi dans la fiche de TP (cf. page 172 dans l'annexe), et trace la courbe  $\text{pH} = f(V_B)$ , à partir des valeurs déterminées ensemble dans son mini-groupe. La densité épistémique est alors faible et l'avancée de la chronogenèse n'est matérialisée pour l'élève qu'à la fin du jeu, lorsque la professeure trace sur le tableau l'allure de la courbe  $\text{pH} = f(V_B)$ . Toutefois, ce que la professeure fait rentrer au milieu ne correspond pas complètement à ce que les élèves ont tracé. En effet, dans le tracé de la professeure, il y a apparition d'une légère variation du pH au début. Cette approximation, donnant lieu à une discontinuité dans l'avancée du savoir, a du sens au regard ce que les élèves feront ultérieurement au cours du dosage d'un acide faible par une base forte (cf. Figure 54 au tdp 112 Extrait 62)

112. P2 : voilà très bien (en montrant aux élèves la courbe d'un élève) (0:56:56) regardez cette allure c'est bon (0:56:56)



Figure 53 : courbe  $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{B})$  tracée par une élève

*La professeure prend le papier millimétré de l'élève et trace sur le tableau l'allure de la courbe (0:57:25)*

113. P2 : je vous donne l'allure au début c'est pH acide puis il y a un saut puis augmente peu ...voilà allez on termine je vous donne la deuxième partie du travail



Figure 54 : évolution du pH au cours de titrage de HCl par NaOH

**Extrait 62 : la professeure trace l'allure de la courbe  $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{B})$  en intégrant une variation de pH au début**

Les savoirs, relatifs à la réaction de dosage qui seraient par exemple une bonne échelle et de relier les points expérimentaux, sont exprimés en langage scientifique majoritairement à travers une représentation graphique. Le jeu, en tant que traçage de la courbe  $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{B})$  est défini dès le départ. Toutefois, ce qui est qui est institutionnalisé n'est ni la courbe empirique des élèves ni une courbe théorique mais une représentation du modèle de la réaction acide fort base forte avec une approximation de la variation du pH, au début de la courbe.

### I.2.1.2.5.3 En résumé

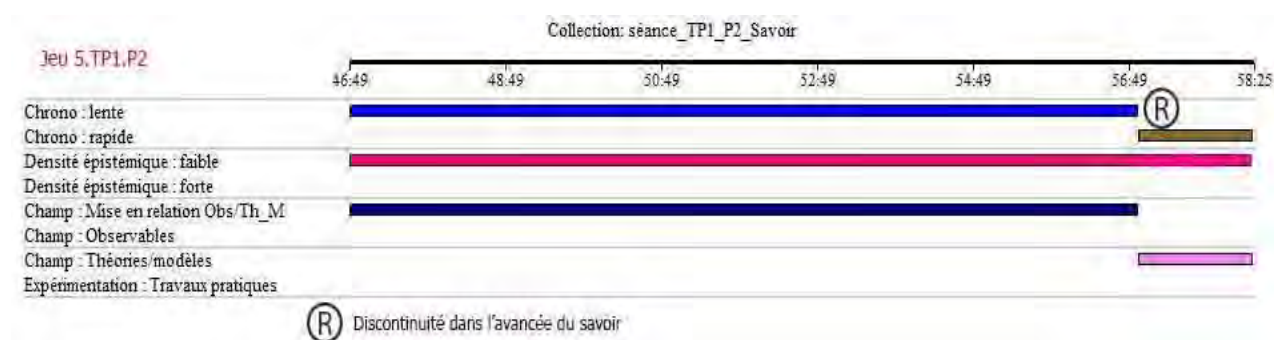


Figure 55: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 5 de la séance de TP1 pour P2

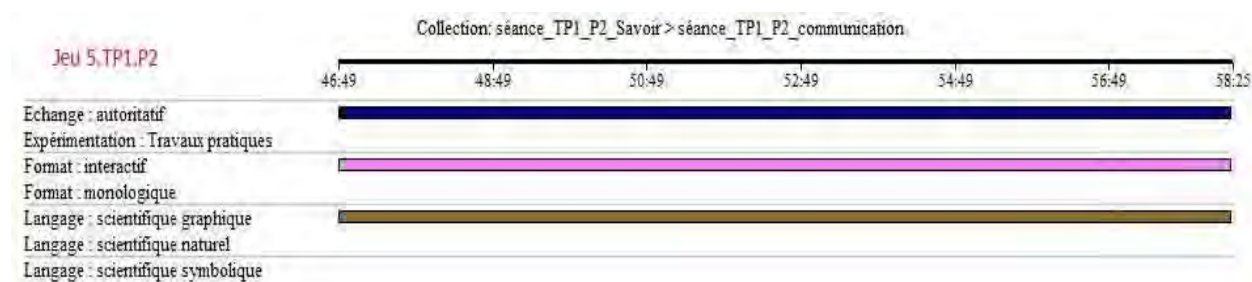


Figure 56: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 5 de la séance de TP1 pour P2

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
5.TP1.P2	P	P + Fiche TP	Présente	Absente	Absente	Présente

Tableau 25: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 5.TP1.P2 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### I.2.1.2.6 Analyse du jeu 6 : « Suivre l'interprétation de la courbe de dosage »

#### I.2.1.2.6.1 Narration didactique

Dans le cadre d'une question/réponse, demandant aux élèves d'interpréter la courbe  $pH=f(VB)$ , un élève avance qu'il y a un saut de pH et un autre que le pH est constant. Compte tenu de ces réponses, la professeure amène l'idée que la courbe  $pH=f(VB)$  est constituée par deux parties presque identiques, mais de pH différent, l'une de pH inférieur à 7 et l'autre de pH supérieur à 7, et une troisième partie où il y a un saut de pH, c'est-à-dire une variation brusque de pH précise-t-elle.

### ***1.2.1.2.6.2 Analyse didactique***

La chronogénèse avance rapidement, sous la responsabilité de la professeure. Celle-ci définit l'enjeu du jeu en initiant l'échange par une question ouverte à propos de l'interprétation de la courbe tracée (Cf. tdp 117 Extrait 63).

La densité épistémique au cours de ce jeu est faible. En effet, la professeure formalise des descriptions macroscopiques proposées par l'élève (cf. tdp 118 et 119 Extrait 63) et par elle-même (cf. tdp 123 Extrait 63), sans les rattacher à une interprétation microscopique. En plus, elle décrit les relations entre les grandeurs (au début  $\text{pH} < 7$  et à la fin  $\text{pH} > 7$ ) sans leurs donner de sens sur le plan conceptuel. L'avancée des savoirs s'est arrêtée aux aspects macroscopiques. L'établissement de liens entre la description qualitative de la courbe qu'elle fait et son interprétation au niveau microscopique ou symbolique vue dans les jeux précédents, reste à la charge des élèves et donne lieu à une discontinuité si ultérieurement on avait une interprétation microscopique nécessaire à la résolution d'un exercice. La contribution des élèves est minime et se limite à identifier le saut et à la variation du pH au début de la courbe (cf. tdp 118 et 121 Extrait 63). La mésogénèse est sous contrôle de l'enseignante.

117. P2 : alors qu'est-ce que vous remarquez à partir de cette courbe-là (0:58:34) alors est ce que l'on peut l'interpréter (0:58:37)

118. E : il y a un saut (0:58:42)

119. E2 : au début le pH est constant (0:58:46)

120. P2 : est-ce que c'est constant est ce que c'est pas constant (0:58:50)

121. E : c'est pas constant

122. P2 : c'est pas constant (0:58:51) mais la variation est très faible au début avant le saut là je vais avoir une variation disons presque constante .. elle est très faible puis je vais avoir un saut et finalement je vais avoir des valeurs presque constantes donc deux parties qui sont presque identiques mais de pH différents et là c'est un saut de pH d'accord alors (0:59:16) puisque je dose un acide fort par une base forte. C'est pour ça au début j'ai un pH inférieur à 7 (0:59:22) donc (elle écrit sur le tableau) "Au début le pH est inférieur à 7" il est faible hein (0:59:29) et puis je vais avoir une deuxième parties (0:59:32) là au milieu j'ai un saut donc un saut de pH c'est à dire une variation brusque de pH (0:59:52).

*La professeure écrit sur le tableau "au milieu saut de pH=variation brusque de PH" (0:59:54)*

123. P2 : à la fin je vais avoir un pH qui ne varie presque pas (1:00:02) mais je remarque que c'est un pH supérieur à 7 (1:00:07)

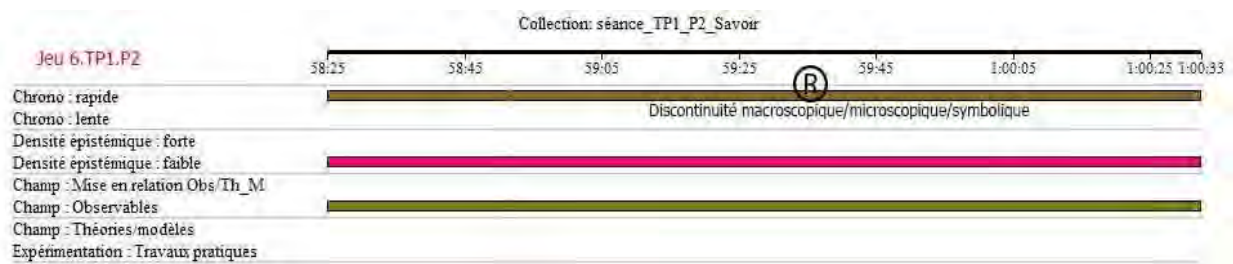
*La professeure écrit sur le tableau ("A la fin pH>7) (1:00:09) et ajoute variation faible devant "au début PH<7) et variation faible devant "à la fin PH>7) c'est bon alors (1:00:22) bon j'attends vos camarades est ce que vous avez terminé le traçage de la courbe c'est bon alors vous suivez la deuxième partie du travail vas-y (1:00:33)*

**Extrait 63:** la professeure reprend les descriptions des élèves en (tdp 118 et 119) en décrivant macroscopiquement l'allure de la courbe tracée (tdp 122 et 123).

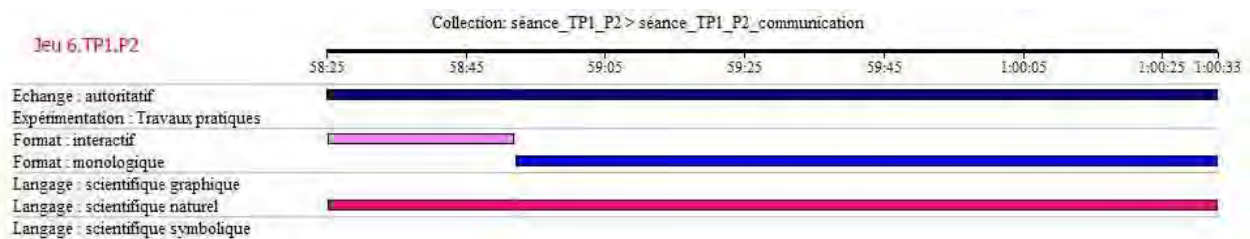
Les savoirs, relatifs à l'interprétation de la courbe de dosage, sont exprimés en langage scientifique naturel, oral et écrit, majoritairement dans le champ des observables, selon une alternance entre une phase interactive, de courte durée où les élèves n'ont pas beaucoup de place (cf. tdp 118 et 119 voir Extrait 63) et une phase monologique (cf. tdp 122 et 123 Extrait 63) au cours de laquelle la professeure n'interprète pas microscopiquement la courbe de dosage.

Par ailleurs, dans ce jeu il n'y a ni dévolution, ni régulation et l'institutionnalisation se limite à des formalisations dans le champ macroscopique.

### 1.2.1.2.6.3 En résumé



**Figure 57:** évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 6 de la séance de TP1 pour P2



**Figure 58:** évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 6 de la séance de TP1 pour P2

	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation

Jeu 6.TP1.P2	P	P	Présente	Absente	Absente	Absente
-----------------	---	---	----------	---------	---------	---------

Tableau 26: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 6.TP1.P2 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### **I.2.1.2.7 Analyse du jeu 7 : « Calculer la concentration inconnue de l'acide fort et déduire la nature de la solution à l'équivalence à partir de la détermination des coordonnées du point d'équivalence »**

#### ***I.2.1.2.7.1 Narration didactique***

*A partir de la lecture de la fiche de TP par un élève, ou à partir d'informations sur cette fiche qu'elle prélève elle-même, la professeure amène l'idée que le point d'équivalence de la courbe  $pH=f(V_B)$  est défini comme étant un point d'inflexion autour duquel la courbe est symétrique et se situe dans le saut du pH. Ensuite, après avoir demandé aux élèves de rappeler la définition de l'équivalence, étudiée en deuxième année, identifiée par les élèves au fait que le pH de la solution égale à 7, la professeure traduit cette définition par l'égalité des quantités de matière de  $H_3O^+$  et  $OH^-$  ce qui lui permet d'en déduire l'expression de la concentration inconnue de l'acide en fonction  $C_B$ ,  $V_A$  et  $V_{BE}$ . Puis, elle expose la méthode des tangentes, déjà introduite dans la fiche de TP, et amène les élèves à identifier le point d'équivalence et à déterminer, dans un premier temps, le volume de la base ajouté à l'équivalence. La professeure exploite la valeur de  $V_{BE}$  trouvée par un élève pour calculer la concentration inconnue de l'acide. Par la suite et après que les élèves aient déterminé graphiquement le pH à l'équivalence, la professeure s'interroge sur les raisons pour lesquelles la solution au point d'équivalence est neutre. Ensuite, en s'appuyant sur la réponse d'un élève, elle amène l'idée (à tort) que l'égalité des quantités de  $H_3O^+$  et  $OH^-$  donne de l'eau et écrit l'équation de la réaction de dosage dont le produit est l'eau en signalant que le pH dans ce cas est égal à 7.*

#### ***I.2.1.2.7.2 Analyse didactique***

La chronogénèse avance rapidement, sur un axe lié à la structure logique des savoirs, sous l'entière responsabilité de la professeure et n'est matérialisée, généralement qu'à la fin de chaque épisode (cf. tdp 149 Extrait 64 pour l'épisode 7.2).

149. P2 : utilisez une règle si vous n'avez pas d'équerre alors je répète (1:04:53) une droite tangente au point B une droite tangente au point A la perpendiculaire et après vous tracer

une droite un segment entre les deux.. le perpendiculaire entre les tangentes vous prenez le milieu et vous tracez après une droite parallèle (1:05:33) alors ce point-là est le point d'équivalence E (1:05:42) vous arrivez



Figure 59 : détermination du point d'équivalence à l'aide de la méthode des tangentes

*La professeure contrôle les représentations des élèves (1:06:09)*

Extrait 64: le professeur formalise en identifiant le point d'équivalence E, par la méthode des tangentes, pour déterminer le volume  $V_{BE}$ .

Cette progression se fait à la fois à la vitesse de lecture de la fiche (cf. tdp 124 et 127 Extrait 65) et à la vitesse du traçage des tangentes, sur la courbe de dosage, pour déterminer le point d'équivalence.

*Une élève lit de la deuxième fiche (1:00:34)*

124. E : l'interprétation.. on définit le point E comme étant un point d'inflexion pour la courbe  $pH=f(V)$  autour de laquelle la courbe est symétrique on observe qu'autour de l'équivalence le pH varie brusquement on parle de saut de pH (1:00:53)

125. P2 : saut de pH c'est ça (elle montre le saut sur l'allure de la courbe) c'est dans cette partie on parle de saut (1:00:59) par contre ces deux parties sont symétriques alors la suite (1:01:04)

126. *La même élève lit*

127. E : pour déterminer E on trace une tangente T1 à la courbe après l'équivalence (1:01:09)

Extrait 65: les savoirs avancent au cours du temps à la vitesse de la lecture de la fiche de TP (tdp 124 et 127)

La contribution des élèves dans le milieu est peu significative en général. Leurs apports se limitent à rappeler la définition de l'équivalence étudiée en deuxième année (cf. tdp 129 et 135 pages 164 et 165 dans l'annexe), d'en déduire l'égalité des quantités de matières de  $H_3O^+$  et de  $OH^-$  à l'équivalence acide fort base forte (cf. tdp 188 Extrait 66) et à identifier l'eau

comme produit de la réaction du dosage (cf. tdp 190 Extrait 66). La professeure s'appuie sur cette identification pour procéder à une formalisation rapide (cf. tdp 191\_1 Extrait 66). La majorité des informations introduites par la professeure et élèves se trouve déjà dans la fiche de TP. Cette dernière sert d'une part de contrôle pour la mésogenèse et d'autre part, de support pour une formalisation (cf. tdp 149 Extrait 64) ou à une explicitation qu'elle développe en monologue (cf. Extrait 70). Les formats d'interaction gardent généralement la forme IRE et la professeure est toujours à l'origine des échanges (cf. Extrait 66)

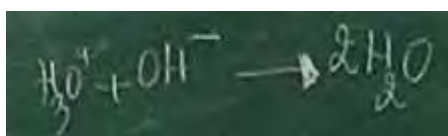
187. P2 : alors dites-moi (1:11:18) la solution.. pourquoi c'est neutre pourquoi la solution est neutre au point d'équivalence lorsqu'on a une solution neutre (1:11:28)

188. E : même nombre de mole de  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  (1:11:33)

189. P2 : alors c'est parce que la quantité de  $\text{OH}^-$  est égale à la quantité de  $\text{H}_3\text{O}^+$  (1:11:39) elles donnent

190. E : de l'eau

191\_1. P2 : très bien (1:11:46) donc (la professeure écrit l'équation de la réaction)  $\text{H}_3\text{O}^+$  plus  $\text{OH}^-$  donne deux  $\text{H}_2\text{O}$  (1:11:52)



Équation 7 : équation de la réaction de dosage AF BF

dans ce cas-là je vais avoir un pH égale à 7 c'est à  $T=25^\circ\text{C}$ elcius ...

**Extrait 66 : les échanges communications de forme IRE où la professeure procède à une régulation avec une question fermée (tdp 189). Elle assure également, une continuité entre l'écriture symbolique de la réaction et son interprétation microscopique (tdp 191\_1). Egalement, P2 procède à une formalisation (tdp 191\_1)**

La densité épistémique est forte lorsqu'il s'agit de déterminer l'expression de la concentration inconnue de l'acide (cf. tdp 136\_1 Extrait 70) (qui se trouve toutefois sur la fiche de TP, cf. page 173 dans l'annexe). Les régulations sont absentes au cours des échanges communicationnels. En effet, la professeure ramène dans le milieu des éléments déjà introduits dans la fiche de TP ou elle oriente très fermement la question ne laissant ainsi à l'élève pas le choix de sa réponse qui s'impose à lui (cf. tdp 189 Extrait 66). Ce dernier tour de parole montre un abus de langage de la professeure. En effet, ce sont les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  additionnés aux ions  $\text{OH}^-$  qui donnent de l'eau et non pas l'égalité de ces deux quantités d'ions comme avance la professeure.



Le jeu n'est pas défini et la visibilité sur les enjeux apparaît au fur et à mesure des épisodes successifs (cf. tdp 136\_2 et 185 voir pages 165 et pages 168 dans l'annexe) et d'une formalisation faite par la professeure (cf. tdp 136\_1 Extrait 70), sans toutefois procéder à une institutionnalisation à la fin du jeu.

Le tracé des tangentes sur la courbe de dosage, l'identification du point d'équivalence, la détermination de  $V_{BE}$  et par suite le calcul de la concentration inconnue de l'acide sont à la charge des élèves. Mais bien que leur travail soit individuel lors de ces activités, il est réduit au minimum. L'élève suit pas à pas les injonctions de la professeure adressées à toute la classe, et énonce la valeur de la concentration de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence identifié sur sa courbe  $pH=f(V_B)$  à l'aide de la méthode des tangentes.

Les savoirs, relatifs au calcul de la concentration inconnue de l'acide et la nature de la solution à l'équivalence, sont exprimés en langage scientifique selon trois formes : langage naturel écrit et oral, langage symbolique et représentations graphiques. Les interactions communicationnelles se développent suivant une alternance entre phase interactive authoritative et une phase non interactive. Dans la phase interactive, où la topogénèse est un peu partagée, l'élève expose ses propres valeurs concernant les coordonnées du point d'équivalence (cf. tdp 142, 144, 146, 164, 165 180 pages 165 et pages 167 dans l'annexe) et celles de la concentration de l'acide (cf. tdp 167 Extrait 68 et tdp 173 Extrait 69). Dans la phase non interactive la professeure exprime en monologues la concentration inconnue de l'acide (cf. tdp 136\_1 Extrait 70), explicite l'application de la méthode de tangentes (cf. tdp 138 pages 165 dans l'annexe) et identifie le du point d'équivalence (cf. tdp 149 Extrait 64), en prenant l'allure de la courbe comme support d'appui pour les deux derniers monologues. Par ailleurs, les élèves notent les valeurs de  $V_{BE}$  et de la concentration de l'acide sur la fiche de TP en remplissant les trous laissés par P2.

Souvent, la professeure assure une continuité gestuelle entre la description délivrée en langage naturel et l'allure de la courbe, représentée sur le tableau, pour localiser et identifier le point d'équivalence. Elle assure également une continuité entre l'écriture symbolique de la réaction et son interprétation microscopique (cf. tdp 191\_1 voir Extrait 66), indépendamment de l'élève qui n'est pas sollicité à cette occasion. Par ailleurs, dans le tour de parole 191\_1 (cf. Extrait 66), on détecte deux discontinuités entre l'interprétation microscopique de la réaction du dosage et son interprétation macroscopique. La première concerne l'égalité de la quantité

des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  qui donne de l'eau les élèves ayant à leur charge de comprendre que l'on peut avoir de l'eau sans qu'il y ait égalité des ions. La deuxième discontinuité concerne la nature de la solution à l'équivalence qui est une solution aqueuse de chlorure de sodium et non pas l'eau comme l'indique l'enseignante. C'est aussi une discontinuité dans l'avancée du savoir, les élèves ont à leur charge d'identifier la présence des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  formant la solution aqueuse de chlorure de sodium.

En plus, dans le tour de parole 179 (cf. Extrait 67), il y a une discontinuité « visuelle » dans le champ empirique du fait que le BBT passe visuellement du jaune au bleu et que la professeure rétablit une continuité en indiquant « et là on a du virage au vert » que l'on voit pas parce que le saut du pH est brutal.

179. P2 : relevez les coordonnées du point d'équivalence (1:10 : 27) E ... **et là on a du virage au vert n'oubliez pas que vous n'avez pas remarqué le virage au vert vous avez passé directement du jaune au bleu** donc E c'est au virage vert de l'indicateur coloré alors  $V_E$  égale vous marqué la valeur que vous avez là le pH est égale à combien (1:10:45)

Extrait 67 : la professeure rétablit une continuité « visuelle » en indiquant le virage au vert pour le BBT

Par ailleurs, on infère une discontinuité dans le champ des théories/modèles mathématiques entre le résultat de la concentration inconnue de l'acide obtenu par le calcul et sa valeur arrondie proposée par P, en lien avec un traitement du nombre de chiffres significatifs non explicité (cf. tdp 168 voir Extrait 68 et tdp 178 voir Extrait 69).

166. P2 : 26,5mL donc je vais l'utiliser pour calculer  $C_A$  donc 0,1 fois 26,5 divisé par 20mL (1:09:08) vous calculez la valeur en mol litre moins un hein d'accord vous utilisez la valeur que vous avez trouvé donc combien (1:09:31)

167. E : 0,1325 (1:09:32)

168. P2 : 0,13mol.l<sup>-1</sup> donc à peu près hein (1:09:44)

Extrait 68 : la professeure demande la valeur de la concentration (tdp 166), l'élève répond (tdp 167) avec 4 chiffres après la virgule et la professeure la présente avec deux chiffres après la virgule.

173. E : j'ai trouvé 0,1(1:10:10)

174. P2 : combien

175. E : 0,1 (1:10:12)

176. P2 : quel est le chiffre après le un

177. E : quatre

178. P2 : donc 0,14 (1:10:20) et pas zéro un ok regardez.. on continue

Extrait 69 : la professeure demande le résultat (tdp 174), l'élève répond avec un seul chiffre après la virgule (tdp 175), la professeure donne le résultat avec deux chiffres après la virgule (tdp 178) sans aucune explication ni même justifier sa question en tdp 176.

136\_1. P2 : (la professeure écrit sur le tableau en parlant) **nombre de mole des ions  $H_3O^+$  qui est égale au nombre de moles des ions  $OH^-$  (1:02:04) et  $H_3O^+$  sont importés par l'acide par  $OH^-$  sont importés par la base et donc ça ça vous donne le  $C_A V_A$  est égale  $C_B V_{BE}$  donc si je cherche la concentration de l'acide donc  $C_A$  égal à  $C_B V_{BE}$  sur  $V_A$  (1:02:25)**

à l'équivalence  $pH = 7$   
(nombre)  
 $n(H_3O^+) = n(OH^-)$   
 $C_A V_A = C_B V_{BE}$   
 $C_A = \frac{C_B V_{BE}}{V_A}$

Équation 8 : expression de  $C_A$ , concentration inconnue de l'acide

alors vous rappelez de début de la séance puisque je vais avoir trois connues donc je veux déterminer l'inconnue donc la concentration de la base on a dit c'est zéro un mol litre moins un le volume  $V_A$  on a pris 20mL donc il nous reste à déterminer le  $V_{BE}$  voilà (1:02:44)..

Extrait 70 : la professeure établit des liens pour formaliser l'expression  $C_A V_A = C_B V_B$  dans un monologue dense épistémiquement

Par ailleurs, la professeure n'établit pas un lien entre la description microscopique de la relation (cf. Équation 8 Extrait 70) et son écriture symbolique. En effet, les élèves ont à leur charge de décoder le lien ici implicite entre l'égalité des quantités de matière de  $H_3O^+$  et  $OH^-$  et celle de la formule  $C_A V_A = C_B V_{BE}$  (cf. tdp 136\_1 dans Extrait 70). Par ailleurs, la professeure n'assure pas la continuité entre le champ des observables et le champ des théories/modèle en mathématiques pour donner, graphiquement, une justification de l'existence d'un point d'inflexion dans la partie de la courbe où il y a un saut de pH (cf. tdp 149 voir pages 166 en annexe).

### 1.2.1.2.7.3 En résumé

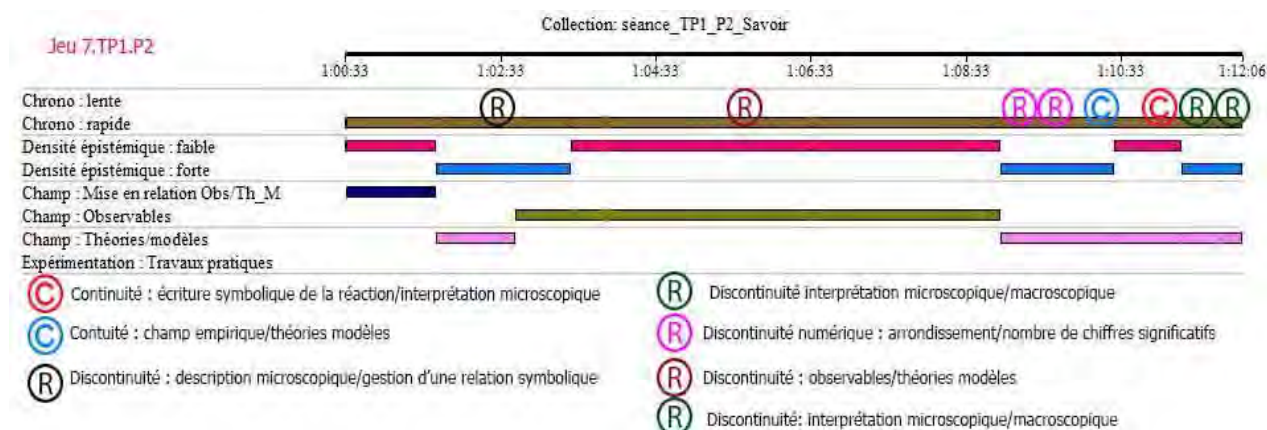


Figure 60: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 7 de la séance de TP1 pour P2

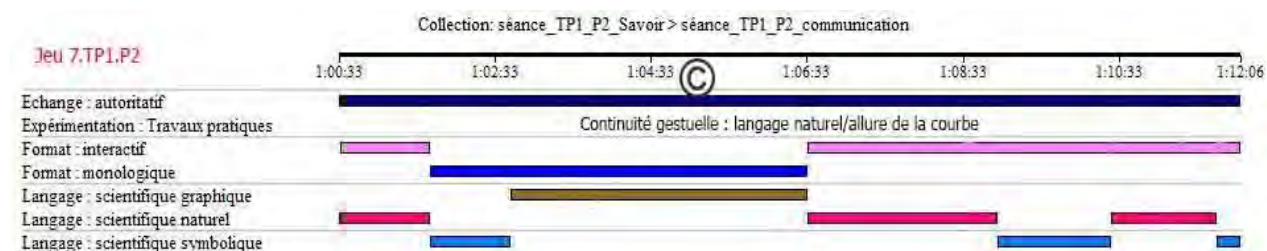


Figure 61: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 7 de la séance de TP1 pour P2

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
7.TP1.P2	P	Fiche TP	Absente	Absente	Absente	Absente

Tableau 27: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 7.TP1.P2 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### 1.2.1.2.8 Analyse du jeu 8 : « Réaliser que l'interprétation précédente AF BF s'applique au cas d'un dosage d'une base forte par un acide fort »

#### 1.2.1.2.8.1 Narration didactique

Par une question/réponse/évaluation, la professeure amène l'idée que la comparaison du pH à la valeur 7 renseigne sur la nature du dosage AF BF ou inversement. Ensuite, après avoir rappelé l'équation de la réaction du dosage d'une base forte par un acide fort, elle trace l'allure de la courbe de ce dosage et signale que la détermination du point d'équivalence se fait par la méthode des tangentes, appliquée lors du dosage AF BF, et note que le seul changement est perçu pour  $V_{AE}$ , volume de l'acide ajouté à l'équivalence.

### 1.2.1.2.8.2 Analyse didactique

La chronogénèse avance rapidement orientée par la professeure. Cette orientation est explicite pour les élèves à partir des informations, relatives à ce type de dosage, introduites dans la fiche de TP. Même si le nombre d'échanges est très limité (3 tours de paroles), les interactions sont toujours au format IRE (cf. Extrait 71)

191\_2. P2 : vous inversez votre copie s'il vous plait allons on vous dit (1:12:12) je vais détailler la courbe la deuxième courbe avant la première alors n'oubliez pas ça c'est un dosage d'un acide fort par une base forte si les deux termes sont inversés le dosage d'une base forte par un acide fort à votre avis de quelle allure je vais avoir quelle est l'allure si c'est le dosage d'une base forte par un acide fort (1:12:33)

*La professeure écrit au tableau... Dosage d'une base forte par un acide fort*

192. P2 : dites-moi (1:12:48) si on vous dit c'est un dosage pH-métrique d'un acide et d'une base comment est-ce que je peux savoir est ce que c'est un dosage acide par base ou bien base par acide comment est-ce que je peux faire la différence (1:13:02)

193. E : madame par les courbes si c'est base par acide il va avoir diminution de pH

194\_1. P2 : très bien (1:13:14) donc c'est à partir de pH ou bien si c'est le pH inférieur à 7 ou supérieur à 7 d'accord (1:13:21) c'est pour ça on vous dit pour le dosage d'une base forte par un acide fort la réaction c'est celle qu'on a écrit hein  $\text{H}_3\text{O}^+$  plus  $\text{OH}^-$  donne deux  $\text{H}_2\text{O}$  c'est une réaction totale (1:13:32) là vous allez avoir l'allure de courbe de cette façon-là. . là ça sera le volume de l'acide ajouté en mL (elle commence par tracer l'axe des abscisses) et là le pH (elle trace l'axe des ordonnées) .. le pH est supérieur à 7 je vais avoir cette allure-là (la professeure trace l'allure de la courbe  $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{A})$ )



Figure 62: allure de la courbe de dosage d'un acide fort par une base forte

il y a toujours le saut c'est celui-là (elle montre le saut) j'ai utilisé la même méthode (1:13:52) rien ne change donc je trace les tangentes et la perpendiculaire le milieu vous déterminez le E1 vous allez trouver un volume seulement ce qui change là c'est VAE le volume de l'acide ajouté à l'équivalence (1:14:13) d'accord

Extrait 71 : la professeure initie l'échange (tdp 192) par une question ouverte, l'élève répond (tdp 193) et la professeure évalue en tdp (194\_1) et s'appuie sur cette réponse pour introduire la comparaison du pH avec la valeur 7

La question posée par la professeure, pour identifier la nature BF AF du dosage, est d'abord ouverte (cf. tdp 192 voir Extrait 71), puis elle s'appuie sur, l'unique, réponse de l'élève (cf. tdp194\_1 voir Extrait 71) pour introduire elle-même la comparaison du pH avec 7 sans préciser qu'il s'agit d'une comparaison avec le pH initial. L'apport des élèves dans le milieu est minime. Les régulations sont absentes. La professeure procède à une institutionnalisation sous forme d'un monologue, dense épistémiquement, pour interpréter la courbe de dosage d'une BF AF (cf. tdp 194\_1 voir Extrait 71) en la reliant au dosage précédent. Le jeu est clairement défini (cf. tdp 194\_1 voir Extrait 71).

Les savoirs, relatifs au dosage d'une base forte par un acide fort, sont exprimés en langage scientifique naturel, oral et écrit, et en langage graphique majoritairement dans le champ des théories/modèles. La professeure procède à un monologue d'information dans lequel une discontinuité entre le champ empirique ( $\text{pH} > 7$ ) et le champ conceptuel est détectée lors de l'interprétation de la courbe de dosage BF AF (cf. tdp 194\_1 Extrait 71). En effet, la professeure aurait dû rappeler que le pH initial de la solution basique forte s'écrit  $\text{pH} = \text{p}K_e + \log C$  pour pouvoir dire que le pH initial est supérieur à 7. Cependant, la professeure assure une continuité gestuelle, relative au champ empirique, entre la description délivrée en langage naturel et l'allure de la courbe pour localiser le saut du pH, le point d'équivalence et la valeur de  $V_{AE}$ , volume de l'acide ajouté à l'équivalence.

### 1.2.1.2.8.3 En résumé

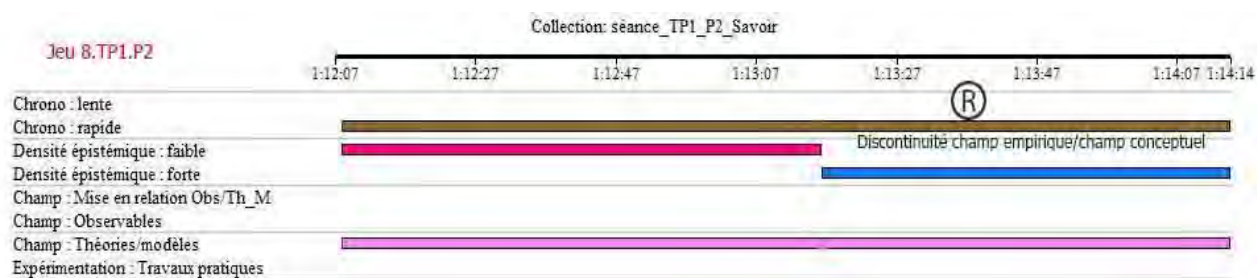


Figure 63: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 8 de la séance de TP1 pour P2

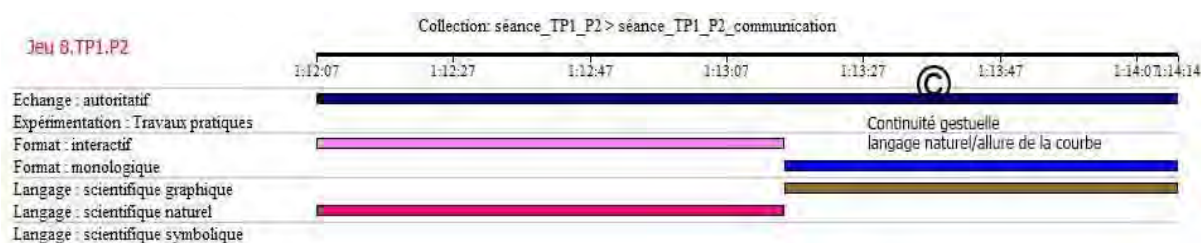


Figure 64: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 8 de la séance de TP1 pour P2

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topo	Méso	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
8.TP1.P2	P	Fiche TP	Présente	Absente	Absente	Présente

Tableau 28: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 8.TP1.P2 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

### I.2.1.2.9 Analyse du jeu 9 : « Percevoir l'effet de la dilution sur les courbes de dosage »

#### I.2.1.2.9.1 Narration didactique

Après avoir demandé aux élèves de faire des remarques sur deux séries de courbes superposées, AF BF et BF AF introduites dans la fiche de TP et dont les concentrations de l'acide et de la base sont diluées à 1/10 à chaque fois, la professeure, par une série de questions/réponses amène l'idée qu'au cours de la dilution, ces courbes gardent un même point d'équivalence d'abscisse  $V_E$  et de pH égal à 7 et que le saut du pH est d'autant plus important que la concentration est plus grande.

#### I.2.1.2.9.2 Analyse didactique

La chronogénèse avance, sous la responsabilité de la professeure sur un axe lié à la structure logique des savoirs. Les interactions communicationnelles gardent la forme IRE (cf. Extrait 72). La professeure initie l'échange par une question ouverte (cf. tdp 194\_2 Extrait 72) et s'appuie sur la réponse de l'élève pour introduire la notion de dilution, déjà introduite dans la fiche de TP, de la solution.

- |        |   |
|--------|---|
| 194_2. | P2 : alors qu'est-ce que vous remarquez là à partir de deux diagrammes (1:14:17) (elle montre la fiche de TP) |
| 195.   | E : $V_E$ reste le même (1:14:18)   |

196. P2 :  $V_E$  reste le même pour quelles valeurs (1:14:21)
197. E1 : (l'élève lit de la fiche) 20mL (1:14:23)
198. E2 : la valeur de pH
199. P2 : ça c'est la question (1:14:28) alors pour les trois courbes soit les premiers diagrammes soit le deuxième hein on va trouver le même point d'inflexion d'ailleurs le point d'équivalence quel que soit la concentration prise au départ c'est à dire(1:14:41)  $C_A$  égale à  $10^{-1}$  mol litre<sup>-1</sup> ou bien la deuxième concentration  $10^{-2}$ mol litre<sup>-1</sup> ou bien  $10^{-3}$  mol litre<sup>-1</sup> qu'est-ce que je fais là pour la solution (1:14:53) pour la concentration

Extrait 72 : la professeure initie l'échange par une question (tdp 142\_2) l'élève répond en tdp 195 et la professeure évalue au début de tdp 196 et déclenche une nouvelle initiation. L'élève ramène dans le milieu une information

La dévolution, la régulation et l'institutionnalisation sont absentes dans ce jeu. La professeure ramène dans le milieu à partir de la lecture, la sienne (cf. tdp 199 Extrait 72) ou celle des élèves (cf. tdp 197 Extrait 72), des éléments déjà introduits dans la fiche de TP sans aucun apport significatif supplémentaire. L'apport des élèves dans le milieu est minime. Le jeu n'est pas défini et la visibilité de l'enjeu du jeu est limitée aux informations extraites de la fiche.

Les savoirs, relatifs à l'effet de la dilution sur les courbes de dosage, sont exprimés en langage scientifique naturel, oral et écrit, et graphique majoritairement dans le champ des observables. La communication, tout le temps « autoritative », se déploie selon une phase interactive dans laquelle l'activité de l'élève est limitée à une simple « lecture » des informations dans la fiche de TP, où sont explicitées trois courbes, de dosage AF BF et BF AF superposées, dont les concentrations  $C_A$  et  $C_B$  sont diluées chaque fois à 1/10. La professeure oralise les éléments présents dans la fiche sans établir des liens entre les données empiriques et le champ conceptuel (cf. Extrait 73).

209. P2 : voilà (1:15:23) si je parle de pH à l'équivalence je vais trouver la même chose c'est 7 **si on parle de pH du départ il dépend de la concentration initiale** alors ce qui change c'est que le saut du pH est d'autant plus important que la concentration est plus grande d'accord (1:15:42)... Vous remarquez les allures... **chaque fois que augmente la concentration le saut il est plus important** d'accord (1:15:50.7) que ce soit pour le cas d'un acide par une base ou bien une base par acide c'est bon (1:15:56)

Extrait 73 : une discontinuité apparaît entre le champ empirique (pH du départ et saut du pH) et une interprétation conceptuelle qui reste à la charge de l'élève (variation de la concentration suite à la dilution et par suite la variation de pH initial).



Il apparaît de ce fait une discontinuité entre la description macroscopique de la courbe et l'interprétation microscopique de la variation du pH en lien avec la dilution, engendrant une discontinuité, dans l'avancée du savoir. Les élèves ont en effet à leur charge d'interpréter la variation du pH initial et la variation du saut de pH au cours de cette dilution.

Par ailleurs, la professeure décrit très sommairement sans approfondissement l'effet de dilution sans aucune conceptualisation. On s'interroge alors sur l'enjeu réel de ce jeu, s'agit-il d'étudier l'effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage ? S'agit-il, tout simplement, d'une perception de cet effet ?

### 1.2.1.2.9.3 En résumé

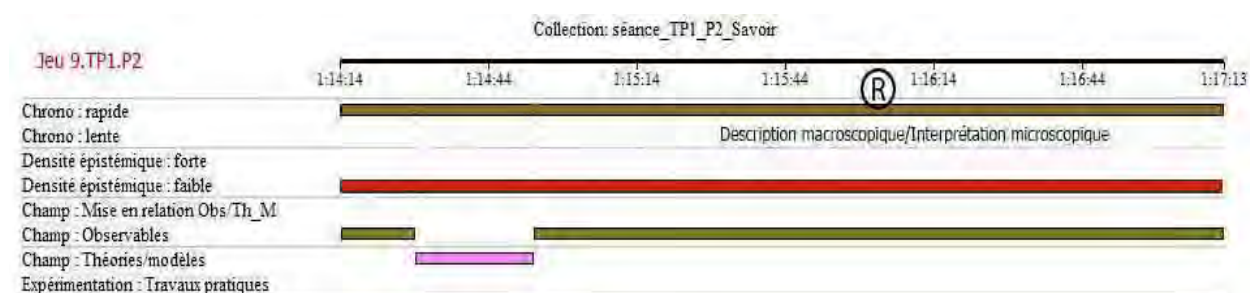


Figure 65: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 9 de la séance de TP1 pour P2

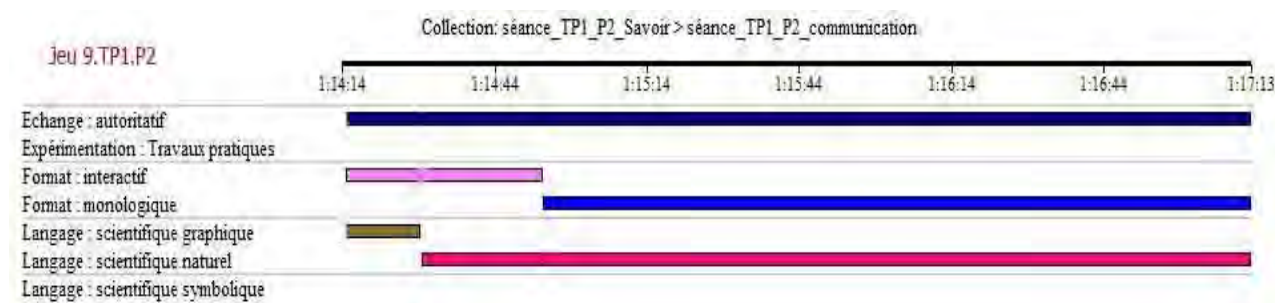


Figure 66: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 9 de la séance de TP1 pour P2

Jeu	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topogénèse	Mésogénèse	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
9.TP1.P2	P	Fiche TP	Absente	Absente	Absente	Absente

Tableau 29: récapitulatif de la modalité dominante des descripteurs relatif au jeu 9.TP1.P2 : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales

## 1.2.2 - En résumé : le récapitulatif des analyses précédentes

Nous proposons de récapituler l'analyse didactique des jeux didactiques dans deux tableaux (cf. Tableau 30 et Tableau 31) et deux figures de Transana, traduisant l'évolution des

descripteurs en liens avec l'avancée de savoir et de la communication au cours de temps (cf. Figure 67 et Figure 68 ). Nous essayons d'inférer à partir des données qui y figurent les principales caractéristiques des pratiques d'enseignement de P2 lors de la séance que nous avons observée.

	Avancée du savoir		Stratégies professorales			
	Topo	Méso	Définition	Dévolution	Régulation	Institutionnalisation
<b>Jeu 1.TP1.P2</b>	P	p	En partie	Absente	Absente	Présente
<b>Jeu 2.TP1.P2</b>	P	P	Absente	Absente	Absente	Présente
<b>Jeu 3.TP1.P2</b>	P	Fiche TP	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>Jeu 4.TP1.P2</b>	Réalisation expérimentale de la réaction de dosage de HCl par NaOH					
<b>Jeu 5.TP1.P2</b>	P	P + Fiche TP	Présente	Absente	Absente	Présente
<b>Jeu 6.TP1.P2</b>	P	Méso P	Présente	Absente	Absente	Absente
<b>Jeu 7.TP1.P2</b>	P	Fiche TP	Absente	Absente	Absente	Absente
<b>Jeu 8.TP1.P2</b>	P	Fiche TP	Présente	Absente	Absente	Présente
<b>Jeu 9.TP1.P2</b>	P	Fiche TP	Absente	Absente	Absente	Absente

Tableau 30: tableau récapitulatif général des modalités dominantes dans chaque jeu des descripteurs : mésogénèse, topogénèse et stratégies professorales relatif à la séance de TP1 pour P2

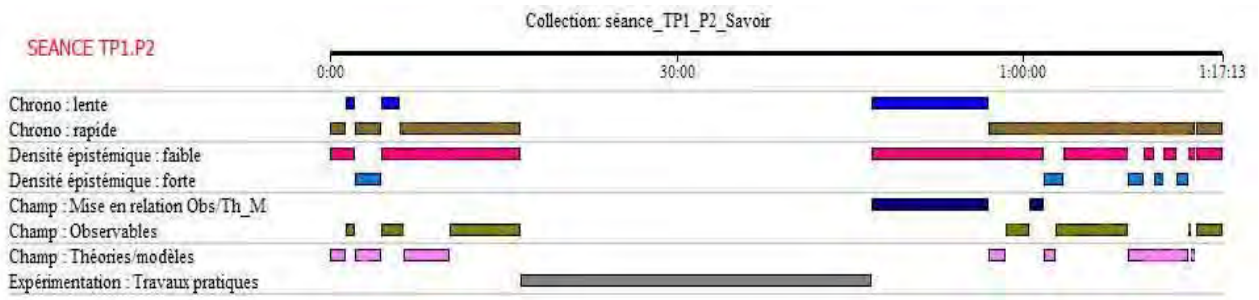


Figure 67: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans la séance de TP1 pour P2

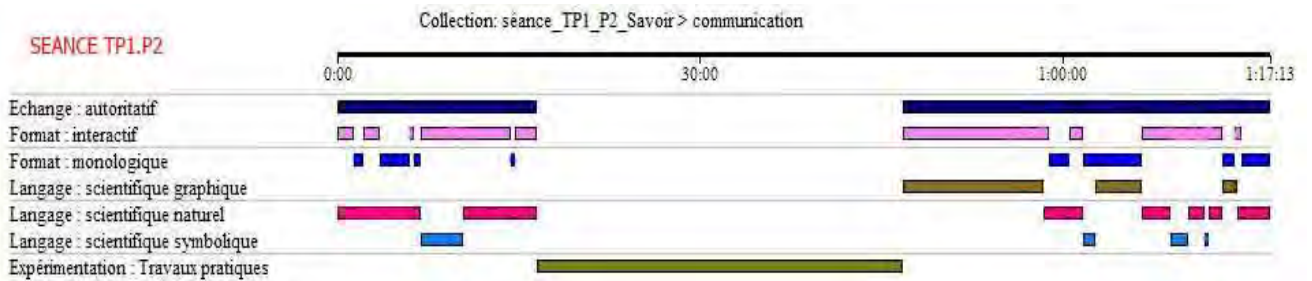


Figure 68: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans la séance de TP1 pour P2

	Avancée du savoir				Les échanges communicationnels					
	Chronogène	Densité épistémique	Champs	Continuité	Discontinuité	Echanges	Format	Langage	Continuité	Discontinuité
<b>J1.TP1.P2</b> 0:00:00 → 0:06:21	Rapide	Faible	Observables Théories/Modèles (interprétation)	-	Interprétation microscopique/ représentation symbolique  Macroscopique/ interprétation microscopique	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique naturel	-	-
<b>J2.TP1.P2</b> 0:06:21 → 0:10:20	Rapide	Faible	Théories/ modèles (interprétation) Observables	-	Interprétation microscopique/représentation symbolique  Interprétation microscopique/représentation symbolique  Interprétation microscopique/écriture de l'équation chimique	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique naturel  Scientifique symbolique	Gestuelle langage naturel/ suppression de la représentation symbolique	-
<b>J3.TP1.P2</b> 0:10:20 → 0:16:31	Lente	Faible	Observables Mise en relation	-	Thématique  Données empiriques/monde conceptuel	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique naturel	-	-
<b>J4.TP1.P2</b> 0:16:31 → 0:46:49	Réalisation expérimentale de la réaction du dosage de HCl par NaOH									

<b>J5.TP1.P2</b> 0:46:49 → 0:58:25	Lente	Faible	Mise en relation Théories/modèles (interprétation)	-	Observable/conceptuel	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique graphique	-	-
<b>J6.TP1.P2</b> 0:58:25 → 1:00:33	Rapide	Faible	Observables	-	Macroscopique/ microscopique/ symbolique	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique naturel	-	-
<b>J7.TP1.P2</b> 1:00:33 → 1:12:06	Rapide	Faible	Observables Théories/Modèles (interprétation) Mise en relation	Empirique/ Théorie Ecriture symbolique/ représentation microscopique	Interprétation microscopique/ interprétation macroscopique	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique naturel Scientifique symbolique Scientifique graphique	Gestuelle langage naturel/ allure de la courbe	-
					Interprétation microscopique/ interprétation macroscopique					
					Arrondissement/ chiffres significatifs					
					Description microscopique/ écriture de la relation symbolique					
					Observables/ théories mathématiques					
<b>J8.TP1.P2</b> 1:12:06 → 1:14:28	Rapide	Faible	Observables Théories/ Modèles (interprétation)	-	Empirique/conceptuel	Authoritatifs	Monologique Interactif	Scientifique naturel Scientifique graphique	-	-
<b>J9.TP1.P2</b> 1:14:14 → 1:17:13	Rapide	Faible	Observables Théories/modèles (interprétation)	-	Description macroscopique/interprétation microscopique	Authoritatifs	Interactif Monologique	Scientifique naturel Scientifique graphique	-	-

Tableau 31: récapitulatif des jeux, relatifs à la séance de travaux pratiques, de P2

### **I.2.3 - Caractéristiques des pratiques observées de la professeure P2**

Nous établissons les caractéristiques de l'action didactique de l'enseignante P2 lors de la séance que nous avons observée. Comme nous l'avons fait pour P1, nous utilisons pour construire ces caractéristiques, les tableaux récapitulatifs (cf. Tableau 30 et Tableau 31) et les figures de Transana qui traduisent l'évolution des descripteurs au cours du temps (cf. Figure 67 et Figure 68). Par ailleurs, la liste des caractéristiques n'est pas exhaustive et nous nous rendons compte que des pratiques de cette séance-là.

#### **I.2.3.1 La professeure fait avancer le savoir rapidement**

Les savoirs avancent très rapidement sous la responsabilité de la professeure tout au long de la séance (cf. colonne 2 Tableau 31). Cette progression, se fait en grande partie, à la vitesse de lecture de la fiche (cf. cellule mauve dans colonne 3 Tableau 30) et suivant le schéma : « lire la fiche puis chercher ce qui est demandé sans aucune orientation » (cf. colonne 6 Tableau 30) ni conceptualisation (cf. colonne 3 Tableau 31). Le temps didactique avance très rapidement et la densité épistémique est faible. Par ailleurs, les élèves prennent des notes sur la fiche de TP en remplissant les trous laissés par P2, avec soit les données empiriques soit les coordonnées de  $V_{BE}$  et par suite la valeur de la concentration de l'acide. L'enseignante prend en charge la réalisation des activités proposées (cf. colonne 2 Tableau 30), ne procède pas à une problématisation des savoirs (colonne 4 Tableau 30), et elle ne cherche pas à travailler sur les savoirs en profondeur (cf. colonne 3 Tableau 31) pour développer sa compréhension par les élèves. Tous ces éléments contribuent à assurer une avancée rapide des savoirs dans la classe.

#### **I.2.3.2 La professeure est guidée par la fiche TP pour faire avancer les savoirs**

La professeure et les élèves se basent sur la fiche de TP pour faire avancer les savoirs (cf. colonne 3 Tableau 30). Généralement, la professeure ramène dans le milieu à partir de la lecture, la sienne ou celle des élèves, des éléments déjà introduits dans la fiche de TP sans aucun apport supplémentaire au niveau du sens (cf. colonne 3 dans Tableau 31). Cette dernière, sert souvent de support pour une formalisation ou à une explicitation qu'elle développe en monologue (cf. ligne 3 Figure 68) et dont le contenu de la fiche pilote l'activité. En effet, l'action de P2 est dans la plus part du temps, une intégration dans le milieu de tous les éléments déjà présents dans la fiche.

Cet appui permanent sur la fiche interroge. S'agit-il pour la professeure d'informer les élèves des consignes déjà explicitées dans la fiche ou de se sécuriser, elle-même par leur présence ? En effet, nous pouvons avancer l'hypothèse que les élèves pourraient utiliser directement la fiche pour mettre en œuvre les procédures proposées et faire avancer les savoirs.

### **I.2.3.3 La professeure P2 donne une visibilité réduite des enjeux des activités proposées**

L'enseignante P2 est guidée par la fiche. En oralisant les objectifs qu'elle y a déjà introduits, elle donne ainsi une visibilité sur les enjeux des apprentissages (cf. colonne 4 Tableau 30). Toutefois, cette visibilité est réduite au minimum ou absente lorsque la fiche est dépourvue de toute indication sur l'enjeu (cf. lignes 4, 5, 9 et 11 dans Tableau 30) ; les élèves découvrent alors l'enjeu au fur et à mesure des formalisations et des institutionnalisations faites régulièrement par l'enseignante généralement à partir de la fiche qu'elle a distribuée (cf. colonne 7 dans Tableau 30).

### **I.2.3.4 La professeure maintient les élèves dans des échanges de nature authoritative**

Il n'y a jamais de dialogisme au cours des interactions communicationnelles qui d'ailleurs, se développent suivant une alternance (cf. colonne 9 Tableau 31) entre phase interactive authoritative dans laquelle l'activité de l'élève est limitée à une simple « lecture » des informations dans la fiche de TP et une phase non interactive sous forme des monologue d'information et d'explication des éléments introduits dans cette fiche. Le langage quotidien n'est jamais utilisé au cours de la séquence (cf. colonne 10 Tableau 31) ; la professeure ne donne pas de l'espace aux élèves pour s'exprimer ou raisonner en problématisant les savoirs proposés (cf. colonne 3 Tableau 30). Les échanges sont tous le temps autoritatifs.

### **I.2.3.5 La professeure expose linéairement les savoirs avec une densité épistémique faible**

Les savoirs avancent rapidement sur un axe logique mais jamais sur un axe relatif à l'approfondissement des savoirs par des mises en relation et discussions en classe. Les orientations susceptibles de réguler les apprentissages sont absentes au cours des échanges communicationnels (cf. colonne 6 dans Tableau 30). En effet, généralement la professeure ramène dans le milieu des éléments déjà introduits dans la fiche de TP (cf. colonne 3 dans Tableau 30). Ainsi, les élèves ne sont pas amenés à réfléchir et raisonner et aucune

réorientation n'est nécessaire ; la problématisation des savoirs est inexistante (cf. colonne 5 Tableau 30) ce qui empêche toute dévolution possible pour les élèves. Par ailleurs, la professeure ne met pas souvent en relation les champs des observables et celui des théories et modèles (cf. ligne 5 dans la Figure 67). Elle n'établit pas également des relations entre les concepts ; il y a peu de conceptualisation (cf. ligne 7 dans Figure 67) et par suite la densité épistémique est généralement faible (cf. colonne 3 dans Tableau 31).

### **I.2.3.6 La professeure fait avancer les savoirs fréquemment avec des discontinuités**

Les pratiques de l'enseignante P2 sont caractérisées par une discontinuité thématique et un ensemble de discontinuités tant au niveau de la mise en relation entre le champ des observables et le champ des théories/modèles qu'au niveau de l'interprétation macroscopique, microscopique et de l'écriture des relations symboliques. Ces discontinuités sont liées à la fois des implicites existant dans les pratiques observées (cf. colonne 7 cases jaunes dans Tableau 31) de l'enseignante et à des savoirs approximatifs voire erronés introduits par celle-ci (cf. colonne 7 cases orangées dans Tableau 31).

Ainsi, nous avons observé dans les pratiques de P2 :

- une discontinuité thématique. En effet, après la détermination des entités chimiques dans le mélange réactionnel de HCl et NaOH, on s'attendait à une reprise. P2 enchaîne ensuite avec le mode opératoire de la réaction sans reprendre de ces entités pour écrire l'équation de titrage et identifier la solution obtenue à la suite de la réaction entre HCl et NaOH. La professeure ne relie pas les enjeux d'un jeu (entités chimiques présentes) aux enjeux du jeu suivant (protocole expérimental). Elle réalise en fait un saut du monde majoritairement conceptuel vers un monde majoritairement empirique donnant lieu à une discontinuité entre jeux, puisqu'un jeu est associé ici à un thème, qui pourrait nuire à la progression sur l'axe logique structurant les savoirs.
- une discontinuité dans l'interprétation microscopique et la représentation symbolique correspondante lorsqu'il s'agit d'identifier la base conjuguée (acide conjugué) issue de l'ionisation de l'acide (la base). (cf. ligne 3 colonne 6 case jaune dans Tableau 31). En effet, P2 a laissée implicite l'existence d'un couple acide/base conjuguée qui relie l'acide (respectivement base) et sa base conjuguée (respectivement acide conjugué).



- Une discontinuité entre l'interprétation macroscopique et l'interprétation microscopique lorsque la professeure énonce à tort que l'acide selon la théorie d'Arrhenius est une molécule qui donne dans l'eau soit les ions  $\text{OH}^-$  soit les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$ . C'est une approximation qui crée une discontinuité dans l'avancée du savoir (cf. ligne 3 colonne 6 case orangée dans Tableau 31)
- Deux discontinuités entre l'interprétation microscopique en langage naturel et les écritures symboliques correspondantes. La première survient lorsque la professeure identifie l'ion  $\text{H}^+$  à  $\text{H}_3\text{O}^+$  (cf. ligne 4 colonne 6 case Violet dans Tableau 31) et laisse dans l'implicite la différence entre ces deux ions et la façon dont s'est écrit l'équation d'ionisation de l'acide en présence de l'un deux. La deuxième discontinuité survient lorsque la professeure supprime l'équation qu'elle avait elle-même initiée à tort (cf. ligne 4 colonne 6 case orangée dans Tableau 31).
- Une discontinuité entre l'interprétation microscopique de la réaction chimique et son écriture symbolique lorsqu'elle ne précise pas la totalité de l'ionisation de NaOH pour pouvoir écrire cette ionisation avec une seule flèche. Le caractère total de la réaction d'ionisation reste implicite (cf. ligne 4 colonne 6 case violet dans Tableau 31).
- Une discontinuité entre les données empiriques et le champ conceptuel pour expliquer la détermination de la concentration inconnue de l'acide à partir de la connaissance de  $V_A$  (volume d'acide),  $V_{BE}$  et  $C_B$  (concentration de la base) (cf. ligne 5 colonne 6 case jaune dans Tableau 31). En effet P2 laisse aux élèves la charge d'identifier les grandeurs autres que  $V_{BE}$ , issues de l'empirie et celles calculées théoriquement.
- Une discontinuité dans le champ empirique lorsque la professeure introduit dans le milieu une courbe, dans laquelle il y a apparition d'une légère variation du pH au début, et qui ne correspond pas de ce fait complètement à ce que les élèves ont obtenu expérimentalement. Cette approximation qui crée une discontinuité dans l'avancée de savoir (cf. ligne 7 colonne 6 case orangée dans Tableau 31) pourraient résulter d'une inattention ou d'une connaissance approximative des savoirs disciplinaires. Cette approximation a du sens au regard ce que les élèves feront ultérieurement au cours d'un dosage d'un acide faible par une base forte.
- Une discontinuité entre la description qualitative et macroscopique du modèle AF BF, tracé par P2, et sa description au niveau microscopique. La professeure formalise des descriptions macroscopiques proposées par l'élève qu'elle complète sans les rattacher à une interprétation microscopique. C'est une discontinuité dans l'avancée du savoir si on suppose que les élèves

ont à faire une interprétation microscopique de la courbe de dosage (cf. ligne 8 colonne 6 case orangée ans Tableau 31).

- Une discontinuité entre l'interprétation microscopique de l'équation de la réaction du dosage et son interprétation macroscopique lorsque la professeure énonce que l'égalité des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  donne de l'eau. Cet énoncé constitue un savoir approché puisque l'égalité des ions n'est pas exigée pour former l'eau. Cette discontinuité pourrait induire un obstacle didactique pour les élèves (cf. ligne 9 colonne 6 1<sup>ère</sup> case orangée dans Tableau 31).

- Une discontinuité entre l'interprétation microscopique et l'interprétation macroscopique concernant la nature de la solution à l'équivalence qui est une solution aqueuse de chlorure de sodium et non pas l'eau comme l'indique l'enseignante. Cette rectification est à la charge des élèves (cf. ligne 9 colonne 6 2<sup>ème</sup> case orangée dans Tableau 31).

- Une discontinuité lorsque la professeure laisse dans l'implicite ce qui fonde l'arrondissement de la valeur de la concentration de l'acide qu'elle opère sur le résultat donné par les élèves en lien avec le nombre de chiffres significatifs (cf. ligne 9 colonne 6 3<sup>ème</sup> case jaune dans Tableau 31).

- Une discontinuité entre la description microscopique et l'écriture d'une relation symbolique lorsqu'il s'agit de décoder le lien entre l'égalité des quantités de matière de  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  et l'expression  $C_A V_A = C_B V_{BE}$ . P2 laisse dans l'implicite le fait que la quantité de  $\text{H}_3\text{O}^+$  (respectivement  $\text{OH}^-$ ) est égale à  $C_A V_A$  (respectivement  $C_B V_{BE}$ ) (cf. ligne 9 colonne 6 4<sup>ème</sup> case jaune dans Tableau 31).

- Une discontinuité entre le champ des observables et le champ des théories/modèles en mathématiques lorsqu'il s'agit de justifier l'existence d'un point d'inflexion. (cf. ligne 9 colonne 6 5<sup>ème</sup> case violet dans Tableau 31) P2 n'a pas précisé que le point d'équivalence est considéré mathématiquement comme un point d'inflexion existant dans la zone où il y a deux fois changement de concavité.

- Une discontinuité entre le champ empirique et le champ conceptuel lorsque la professeure laisse dans l'implicite le lien entre le pH initial de la solution basique et son expression. (cf. ligne 10 colonne 6 case jaune dans Tableau 31). En effet, la professeure P2 n'a pas établi le lien entre la dilution de la concentration initiale de l'acide à 1/10 et l'augmentation du pH initial d'une unité.

- Une discontinuité entre la description macroscopique et l'interprétation microscopique des courbes de dosage à des dilutions différentes. L'interprétation de la variation du pH initial et de la variation du saut de pH au cours de la dilution pour comprendre la courbe obtenue reste implicite et à la charge des élèves (cf. ligne 11 colonne 6 case orangée dans Tableau 31).

Toutefois, la professeure assure une continuité gestuelle entre la description délivrée en langage naturel et l'allure de la courbe de dosage, représentée sur le tableau, pour localiser et identifier le point d'équivalence (cf. lignes 4, 9 colonnes 11 dans le Tableau 31). Elle établit un lien entre l'écriture symbolique de la réaction de dosage et son interprétation microscopique bien que l'élève ne soit pas sollicité (cf. ligne 9 colonne 5 dans Tableau 31). Egalement, suite à une discontinuité « visuelle » dans le champ empirique intervenue suite à l'inobservation du virage au vert du BBT, la professeure rétablit une continuité en affirmant le passage par ce couleur que l'on ne voit pas parce que le saut du pH est brutal. Cette continuité interroge dans la mesure où selon l'état du BBT utilisé au cours de l'expérience (d'origine bleu) on ne peut pas espérer, expérimentalement, l'obtention de la coloration verte à l'équivalence (cf. ligne 9 colonne 5 dans Tableau 31).

### **I.3 - Comparaison des caractéristiques de l'action de deux enseignants**

Après avoir analysé les actions didactiques de deux professeurs nous listons les caractéristiques principales de leurs pratiques décelées dans l'action in situ au cours des séances que nous avons observées. Nous dégagons à cela les éléments génériques et spécifiques de leurs actions. Nous proposons ensuite, une comparaison de leurs actions dans deux jeux dont les enjeux sont pratiquement identiques afin de donner plus de sens à cette comparaison.

#### **I.3.1 - Les caractéristiques principales : éléments génériques et spécifiques**

Dans une visée comparatiste et conformément à nos questions de recherche, nous résumons dans le tableau suivant les caractéristiques des pratiques de deux enseignants P1 et P2 inférées de l'analyse de leurs actions dans I.1 - et I.2 -. Nous relevons les éléments génériques et spécifiques dans leurs actions.

<b>Les éléments génériques</b>	
Les deux professeurs assurent une avancée rapide des savoirs.	
Ils sont responsables de cette avancée.	
Les deux enseignants ne procèdent ni à des problématisations des savoirs ni à une orientation de l'action des élèves.	
Les deux enseignants font avancer les savoirs selon une alternance entre une phase interactive et une phase monologique.	
Les échanges communicationnels sont autoritatifs.	
Les échanges se déroulent en permanence dans un langage « scientifiques » et le langage quotidien est absent des séances observées.	
Les deux enseignants n'introduisent dans le milieu que les objets en lien avec l'avancée des savoirs.	
<b>Les éléments spécifiques</b>	
<b>P1</b>	<b>P2</b>
Ne rend pas visible les objectifs des apprentissages	Donne une visibilité réduite aux apprentissages.

expose linéairement les savoirs puis les reprend pour les approfondir	expose linéairement les savoirs
construit seul le savoir	construit seule les savoirs, en prenant appui sur la fiche de TP qu'elle a donnée aux élèves.
assure une avancée de savoir avec peu de discontinuités	assure une avancée des savoir avec des discontinuités fréquentes
fait peu d'institutionnalisation et de formalisation	recourt régulièrement aux institutionnalisations et formalisations
se situe principalement dans le champ théorique au cours de son enseignement	se situe principalement dans le champ empirique au cours de son enseignement
enseigne avec une densité épistémique élevée	enseigne avec une densité épistémique faible
a tendance à privilégier le langage symbolique	a tendance à privilégier le langage scientifique ordinaire

Tableau 32: les éléments génériques et spécifiques dans l'action de P1 et P2

### **I.3.2 - Comparaison des caractéristiques de deux enseignants dans deux thèmes identiques**

Nous procédons dans ce qui suit à une comparaison de P1 et P2 à travers l'analyse de leurs pratiques lors de l'enseignement de deux thèmes identiques. Il s'agit du thème « le point d'équivalence », structuré en un seul jeu pour les deux enseignants et « effet de la dilution sur les courbes de dosage », structuré aussi en un seul jeu.

#### **I.3.2.1 Comparaison de l'action didactique de deux professeurs au cours du thème « le point d'équivalence »**

Nous procédons maintenant à une comparaison des pratiques de deux enseignants à partir de la comparaison de leurs actions dans ce thème.

##### **I.3.2.1.1 Présentation du thème « le point d'équivalence »**

Nous considérons que ce thème est important dans le déroulement de l'action puisqu'il constitue l'interprétation de la courbe de dosage tracée. Nous présentons les extraits de synopsis de la séance de TP1 relatifs au thème « le point d'équivalence ».

Thème 6 Le point d'équivalence 1:16:16 → 1:29:27	(Jeu 7) Exploiter les données expérimentales et théoriques associées au point d'équivalence	Ep_7.1	Suivre l'exposé de P1 relatif à la détermination des coordonnées du point d'équivalence à l'aide de la méthode des tangentes à partir d'une simulation projetée	CE	1:16:16 → 1:20:23
		Ep_7.2	Déterminer les coordonnées du point d'équivalence sur sa courbe	Indi	1:20:23 → 1:23:28
		Ep_7.3	Calculer théoriquement les coordonnées du point d'équivalence	CE	1:23:28 → 1:28:35
		Ep_7.4	Se rendre compte de la nature de la solution à l'équivalence	CE	1:28:35 → 1:29:27

Figure 69: extrait de synopsis de la séance de TP1 du P1 relatif au jeu 7.TP1.P1

Thème 6 Le point d'équivalence 1:00:33 → 1:12:06	(Jeu 7) Calculer la concentration inconnue de l'acide fort et déduire la nature de la solution à l'équivalence à partir de la détermination des coordonnées du point d'équivalence	Ep_7.1	Prendre connaissance de la procédure de détermination de la concentration de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence	CE	1:00:33 → 1:02:44
		Ep_7.2	Déterminer le volume de la base $V_{BE}$ à partir de l'identification du point d'équivalence sur la courbe $pH=f(V_B)$ à l'aide de la méthode des tangentes	Indi + CE	1:02:44 → 1:08:38
		Ep_7.3	Formaliser le calcul de la concentration inconnue de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence déterminées sur sa courbe	Indi + CE	1:08:38 → 1:11:18
		Ep_7.4	Se rendre compte de la neutralité de la solution à l'équivalence	CE	1:11:19 → 1:12:06

Figure 70: extrait de synopsis de la séance de TP1 du P2 relatif au jeu 7.TP1.P2

Ce thème est structuré pour P1 et P2 en un seul jeu respectivement Jeu 7.TP1.P1 et jeu 7.TP1.P2. Les deux jeux sont structurés également en quatre épisodes N-1. Les deux jeux, jeu 7.TP1.P1 pour P1 et jeu 7.TP1.P2 pour P2, ont une durée relativement comparable et elle est respectivement, 13 min 26 s et 11 min 32 s.

### I.3.2.1.2 Durées des différentes modalités des descripteurs en lien avec la communication

Le logiciel Transana nous permet, suite au report des analyses manuelles, de donner la durée totale dans le jeu des moments caractérisés par le même mot clé, et notamment des mots clés relatifs aux descripteurs en lien avec la communication, dans le jeu pour chaque enseignant. Pour le professeur P1 :

	Descripteurs	Mot-clé	Durée
Jeu 7.TP1.P1 Durée totale du jeu : 0:13:26.5	Echange	Authoritatif	0:10:22
		Dialogique	0:03:04.5
	Format des échanges	Interactif	0:08:11.4
		Monologique	0:05:15.1
	Langage	Scientifique graphique	0:04:22.4
		Scientifique ordinaire	0:03:37.4
Scientifique symbolique		0:05:26.7	

Tableau 33 : la durée des moments caractérisés par le même mot clé relatifs aux descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 7.TP1.P1

Pour la professeure P2 :

	<b>Descripteurs</b>	<b>Mot-clé</b>	<b>Durée</b>
<b>Jeu 7.TP1.P2</b> Durée totale du jeu : 0:11:32.6	Echange	Authoritatif	0:11:32.6
	Format des échanges	Interactif	0:06:42.4
		Monologique	0:04:50.2
	Langage	Scientifique graphique	0:03:48.4
		Scientifique naturel	0:04:56.2
		Scientifique symbolique	0:02:48.0

**Tableau 34:** la durée des moments caractérisés par le même mot clé relatifs aux descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 7.TP1.P2

### **I.3.2.1.3 Prépondérance de mots clés relatifs aux descripteurs en lien avec la communication**

Nous rapportons ces données dans Excel et nous obtenons les graphiques suivants (cf. Figure 71 et Figure 72), représentant la répartition des modalités relatives à chaque descripteur de la communication.

Une lecture de ces figures (cf. Figure 13 et Figure 14) nous permet de tirer quelques remarques :

P1 permet aux élèves d'occuper une place et de mener des échanges dialogiques (23% du temps du jeu est consacré à des échanges de ce type) alors que les interactions communicationnelles de P2 sont toujours autoritatives.

Le format des échanges est sensiblement le même pour les deux enseignants constitué par des phases interactives (majoritaires de l'ordre de 60%) et des phases monologiques (de l'ordre de 40%).

Pour ce qui est du langage, nous remarquons une ressemblance entre les deux professeurs dans l'utilisation du langage graphique (33% de la durée du jeu). La professeure P2 utilise plus le langage naturel oral que le langage symbolique (43 % de la durée du jeu contre 24%) alors que chez P1 c'est l'inverse (41 % pour le langage symbolique contre 27 %).

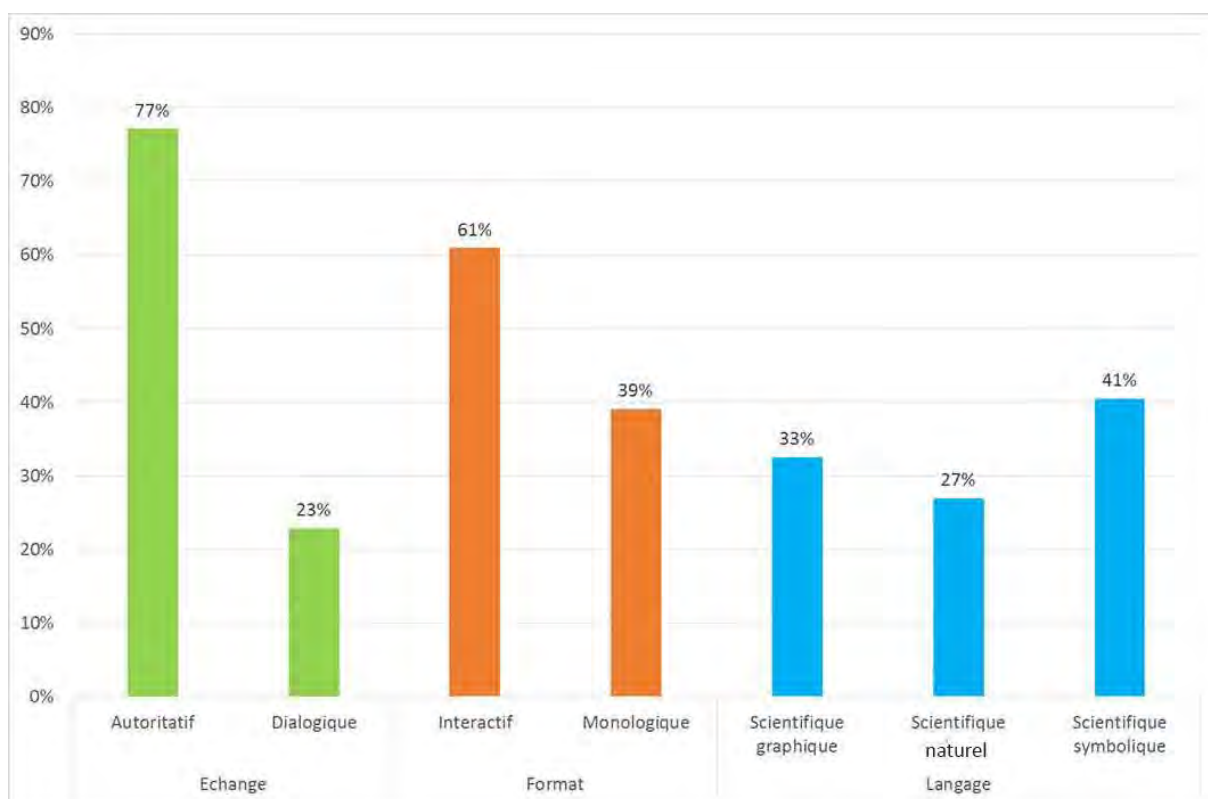


Figure 71: Pourcentage de la durée du jeu où les modalités correspondantes dans les descripteurs communication sont constatées dans le Jeu 7.TP1.P1

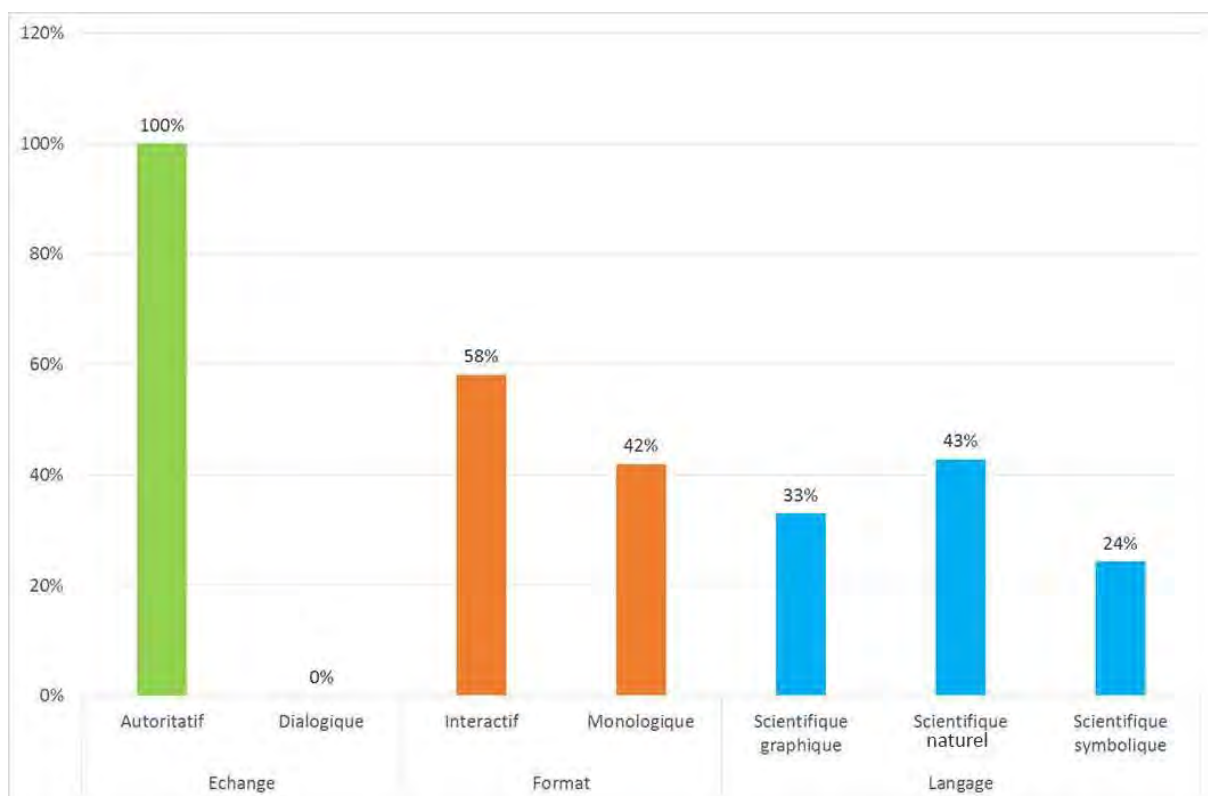


Figure 72: Pourcentage de la durée du jeu où les modalités correspondantes dans les descripteurs communication sont constatées dans le Jeu 7.TP1.P2



### I.3.2.1.4 Les continuités et les discontinuités aperçues au cours de l'avancée des savoirs dans le thème « le point d'équivalence » pour les deux enseignants

Nous nous focalisons dans cette partie sur les continuités et discontinuités détectées dans les pratiques qui de notre point de vue, constituent un élément déterminant pour les apprentissages des élèves et attestent de ce fait du degré d'expérience professionnelle des enseignants. Nous notons dans le tableau suivant les continuités et les discontinuités que nous avons détectées lors de l'analyse de deux jeux. Et nous précisons le savoir sur lequel a lieu la discontinuité.

	Continuités	Discontinuités	
		Type	Savoir
<b>J7.TP1. P1</b> 1:16:16 → 1:29:27	Observables/ théories modèles	Interprétation microscopique / relation symbolique	De l'égalité des concentrations des ions $H_3O^+$ et $OH^-$ dans l'équation de dosage à l'expression $pH=1/2 pK_e$
		Interprétation macroscopique / relation symbolique	Nature de la solution à l'équivalence lors du dosage AF BF
<b>J7.TP1. P2</b> 1:00:33 → 1:12:06	Observables/ théories modèles Ecriture symbolique/ représentation microscopique	Interprétation microscopique / interprétation macroscopique	l'égalité des molarités des ions $H_3O^+$ et $OH^-$ donnent de l'eau dans la réaction....
		Interprétation microscopique / interprétation macroscopique	Nature de la solution à l'équivalence lors du dosage AF BF
		Arrondissement / Détermination des chiffres significatifs	Arrondissement des valeurs numériques
		Description au niveau microscopique / écriture de la relation symbolique	De l'égalité de quantités de matière de $H_3O^+$ et $OH^-$ à l'équivalence à $C_A V_A = C_B V_{BE}$
		Observables/ théories mathématiques	Existence d'un point d'inflexion du part et d'autre du saut de pH

Tableau 35: continuités et discontinuités dans le thème 6

Les deux professeurs assurent une continuité entre le champ des observables et le monde des théories et modèles (cf. colonne 2 dans Tableau 35). Toutefois, nous remarquons chez eux, la présence de discontinuités lors de l'établissement de l'objet de savoir. Pour P1, deux

discontinuités dans l'avancée des savoirs attestant l'existence de l'implicite dans son action. Pour P2 nous détectons cinq discontinuités dont deux sont susceptibles d'être reliées à des connaissances approximatives des savoirs disciplinaires et trois marquant la présence de l'implicite dans son action.

### **I.3.2.2 Comparaison de l'action didactique de deux professeurs au cours du thème « effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage »**

Nous comparons maintenant l'action de deux professeurs au cours du thème « effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage ».

#### **I.3.2.2.1 Présentation du thème « effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage »**

Ce thème est structuré en un seul jeu pour les deux enseignants Jeu 8.TP1.P1 pour P1 d'une durée 22 min 59 s et jeu 9.TP1.P2 pour P2 d'une durée 2 min 58 s. Nous remarquons une différence nette entre les deux durées que les deux enseignants ont allouées à ce thème. Cette différence atteste vraisemblablement l'importance que porte P1 à ce thème et l'envie de montrer une image moderne des sciences en manipulant la simulation.

Thème 7 Effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage 1:29:27 → 1:42:28	(Jeu 8) Etudier l'effet de la dilution sur les courbes de dosage	Ep_8.1	Simuler l'effet de la dilution sur les courbes de dosage	G de 4	1:29:27 → 1:36:05
		Ep_8.2	Interpréter l'effet de la dilution à partir des courbes tracées par le logiciel (dont la variation du pH initial)	CE	1:36:05 → 1:42:28

Figure 73: extrait de synopsis de la séance de TP1 du P1 relatif au jeu 8.TP1.P1

Thème 8 Effet de la dilution sur la courbe de dosage 1:14:14 → 1:17:13	(Jeu 9) Percevoir l'effet de la dilution sur les courbes de dosage	Ep_9.1	Percevoir l'effet de la dilution sur les courbes de dosage	CE	1:14:14 → 1:17:13
--	---	--------	--	----	-------------------

Figure 74: extrait de synopsis de la séance de TP1 du P2 relatif au jeu 9.TP1.P2

#### **I.3.2.2.2 Durée des différentes modalités des descripteurs en lien avec la communication**

De la même façon que pour le thème précédent, nous utilisons Transana pour nous donner la durée dans le jeu des moments caractérisés par une même modalité (et donc un même mot clé) des descripteurs en lien avec la communication, pour chaque enseignant. Nous transportons ces valeurs dans Excel pour obtenir les graphes représentant ces durées respectives en pourcentage du jeu (cf. Figure 75 et Figure 76).

Pour le professeur P1 :

	<b>Descripteurs</b>	<b>Mot-clé</b>	<b>Durée</b>
<b>J8.TP1.P1</b> Durée totale : 0:12:59	Echange	Authoritatif	0:13:00
	Format des échanges	Interactif	0:03:25
		Monologique	0:09:35
	Langage	Scientifique graphique	0:02:59
		Scientifique ordinaire	0:08:06
		Scientifique symbolique	0:01:55

Tableau 36: la durée des moments caractérisés par le même mot clé relatifs aux descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 8.TP1.P1

Pour la professeure P2 :

	<b>Descripteurs</b>	<b>Mot-clé</b>	<b>Durée</b>
<b>Jeu 9.TP1.P2</b> Durée totale du jeu : 0:02:58.0	Echange	Authoritatif	0:02:58
	Format des échanges	Interactif	0:00:38
		Monologique	0:02:19
	Langage	Scientifique graphique	0:00:14
		Scientifique naturel	0:02:43

Tableau 37: la durée des moments caractérisés par le même mot clé relatifs aux descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 9.TP1.P2

Nous remarquons juste au départ, la différence de durée allouée pour ce thème chez les deux professeurs. P1 met une durée de 12 min 59 s pour assurer l'enseignement de ce thème alors que P2 ne consacre que 2 min 58 s pour cette tâche. Cette différence de durée peut être associée à la tendance révélée chez P2 d'ignorer le langage symbolique dans ce thème (cf. Figure 76) et d'en rester à une description macroscopique de type linéaire des différentes courbes.

Par ailleurs, les deux enseignants favorisent des échanges de format autoritatifs et monologiques. La part de l'interactivité est minime chez eux lors de l'enseignement de l'effet de la dilution (cf. descripteur Format dans Figure 75 et Figure 76).

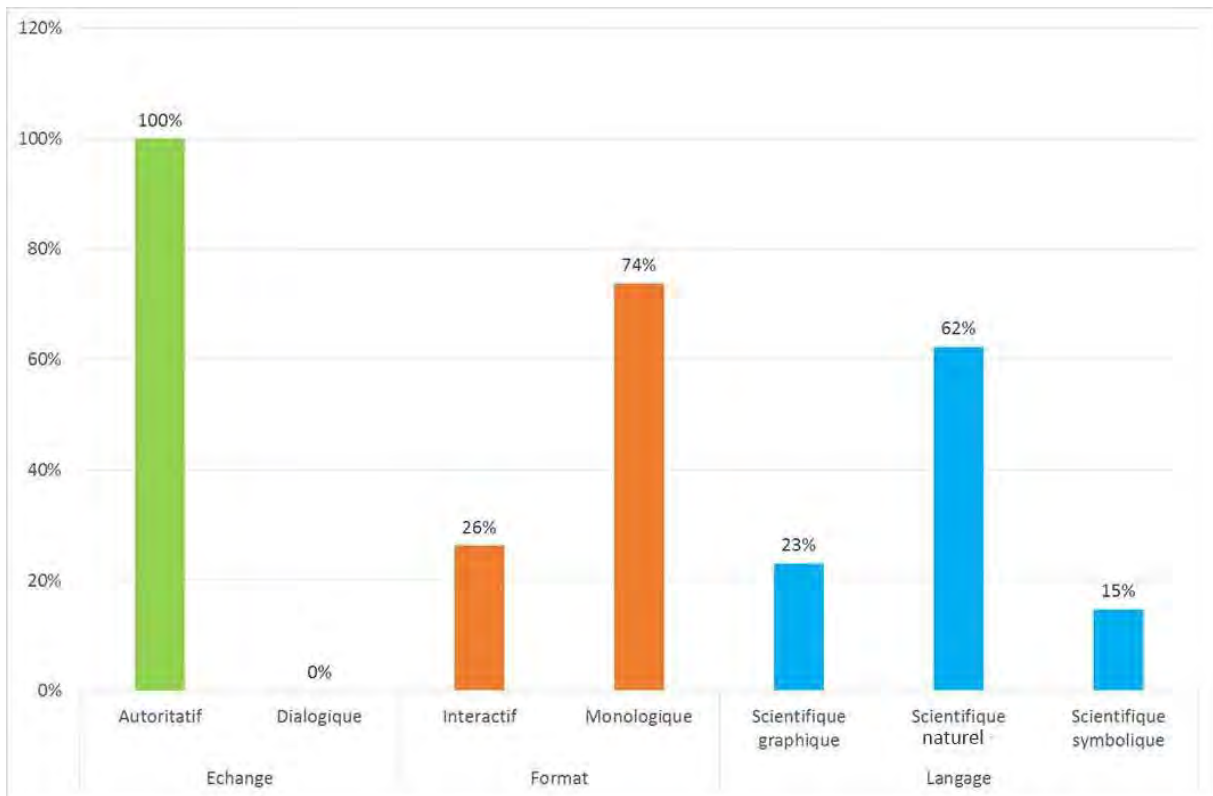


Figure 75: Pourcentage de la durée du jeu où les modalités correspondantes dans les descripteurs communication sont constatées dans le Jeu 8.TP1.P1

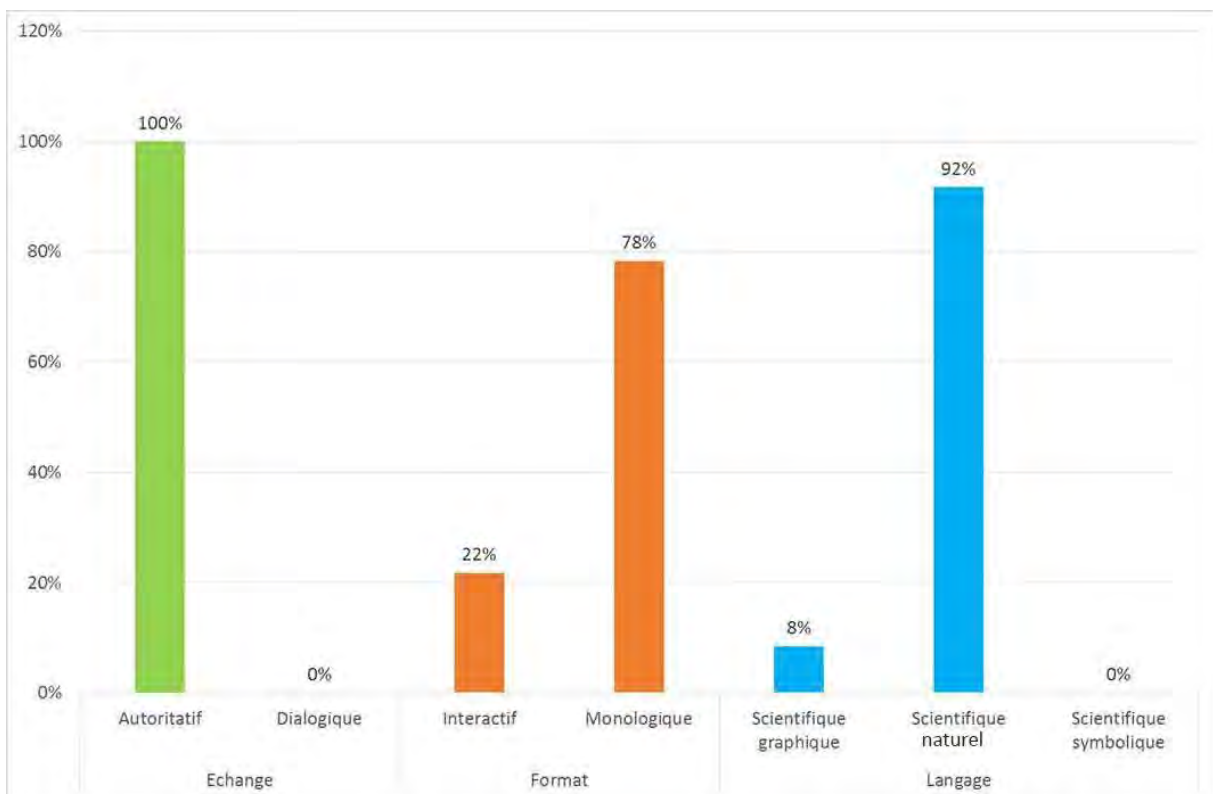


Figure 76: Pourcentage de la durée du jeu où les modalités correspondantes dans les descripteurs communication sont constatées dans le Jeu 9.TP1.P2

### I.3.2.2.3 Les continuités et les discontinuités perçues au cours de l'avancée des savoirs dans le thème « effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage » pour les deux enseignants

Nous nous intéressons aux continuités et discontinuités apparues dans l'action didactique de P1 et P2 lors de l'analyse de deux jeux.

	Continuités	Discontinuités	
		Type	Savoir
<b>J8.TP1.P1</b> 1:29:27 → 1:42:28	microscopique/ macroscopique	-	-
<b>J9.TP1.P2</b> 1:14:14 → 1:17:13	-	Description macro/interprétation microscopique	Influence de la dilution 1/10 sur le pH initial

P1 assure l'enseignement de ce thème, de durée presque 13 min, en recourant à un simulateur qui, après l'introduction par les élèves des données empiriques, propose l'allure de la courbe selon la dilution des solutions acides et basiques. Il assure une continuité entre l'interprétation microscopique et l'interprétation macroscopique en faisant le lien entre l'allure de la courbe et la nature acide, basique ou neutre de la solution et la modélisation des phénomènes au niveau microscopique. P2 enseigne par contre ce thème sur une durée courte d'environ 3 min, en oralisant ce qui c'est écrit sur la fiche de TP. Elle produit une discontinuité dans l'avancée de savoir lorsqu'elle ne précise pas pourquoi le pH de la solution acide augmente d'une unité dans les trois courbes chaque fois qu'on fait une dilution à 1/10.

## II - Compréhension de l'action conjointe et discussion

Après avoir caractérisé les pratiques des enseignants P1 et P2 et en avoir dégagé les éléments génériques et spécifiques, nous tentons dans cette partie de les comprendre. Pour cela nous inférerons les déterminants de leurs actions didactiques in situ et évoquons également les aspects génériques et spécifiques sous-jacents animant leurs actions. Nous envisageons ensuite de proposer une approche réflexive sur notre travail et faire situer nos résultats par rapport à d'autres études.

## **II.1 - Compréhension de l'action didactique : les déterminants de l'action**

Nous structurons l'interprétation de ces pratiques selon nos points de vue inférés de l'analyse de leurs actions. Toutefois, nous mettons l'accent sur les déterminants caractérisant l'épistémologie pratique des professeurs conformément à nos questions de recherche, sans ignorer pour autant l'existence d'autres déterminants notamment ceux en lien à l'action adressée à des institutions, système éducatif local, classe terminale...etc. et dont les professeurs sont inévitablement des sujets.

Rappelons les caractéristiques générales des pratiques observées dans les séances analysées pour les professeurs P1 et P2. L'enseignement de P1 se résume à une expérience que l'élève doit être capable de reproduire et de comprendre en se référant aux résultats que donne un modèle. La place qu'il donne aux élèves est mineure et ces derniers ont un comportement conforme à ce modèle d'enseignement. L'enseignante P2 base son enseignement sur une expérience que l'élève doit reproduire et comprendre à partir d'une description macroscopique des données empirique sans recours à une conceptualisation. La professeure assure elle-même la responsabilité de l'avancée du savoir en prenant fortement appui sur une fiche de TP. P2 donne une place mineure aux élèves dont la tâche est réduite généralement à l'exécution des consignes de la fiche et qui répondent aux attentes de la professeure.

Mise à part de la spécificité de la culture tunisienne, notamment l'importance du discours de celui qui détient l'autorité, nous pouvons vraisemblablement comprendre ce format d'enseignement / apprentissage à partir des déterminants de l'action didactique organisés selon trois points de vue rendant compte de toutes les caractéristiques : un point de vue institutionnel, un point de vue sur l'apprentissage des élèves et un point de vue épistémologique. Nous explicitons ces trois points dans ce qui suit.

### **II.1.1 - Un point de vue institutionnel de type « action adressée »**

Une des caractéristiques communes et principales dans les pratiques de deux enseignants est l'avancée rapide des savoirs sous la conduite de l'enseignant. Probablement cette caractéristique est à rattacher principalement aux caractéristiques de la classe de terminales qui nécessitent d'aller vite dans l'application des programmes. Les deux professeurs sont sujets d'une institution classe terminale voire de l'institution système éducatif tunisien.

L'assujettissement institutionnel semble influencer les stratégies d'enseignements de deux enseignants. En effet, le souci d'être de bons sujets de l'institution « classe terminale » amène les deux enseignants à un comportement particulier dans cette institution : nécessité de finir le programme et donc éventuellement aller vite et dire l'essentiel du cours rapidement. Par ailleurs, le professeur P1 demande à ses élèves de ne pas prendre des notes au cours de la séance pour ne pas perdre de temps et se concentrer sur le suivi de ses propos, alors que P2 distribue « une fiche de TP » où il y a des trous à remplir. P1 explique ce choix dans l'entretien ante protocole :

« Généralement au cours de la séance je voulais que les élèves se concentrent à la compréhension des phénomènes et aussi à l'expérimentation en travaux pratiques. Si vous laissez les élèves prendre des notes vous n'en sortez pas. Le temps alloué à cette partie est très court. Je les conseille de me suivre et de comprendre ce que je disais... A la fin de la séance je les donne des documents... ».

En réponse à une question lui demandant d'explicitier ses stratégies pour aider les élèves en difficultés, P1 déclare :

« mais je n'ai pas la possibilité de les faire rattraper... faute manque du temps.. le programme est trop chargé je ne pouvais pas lors des activités leurs allouer le temps nécessaire pour la réflexion et la production ... je ne peux pas terminer le programme si à chaque fois je faisais un rappel de ce qu'ils ont pas assimilé au cours des derniers années ... j'ai examen à la fin d'année ».

Il ajoute :

« si mes élèves sont passables ou de bas niveau j'essaye de leurs enseigner les points importants et de se concentrer sur l'essentiel du programme ».

P2 également, elle justifie le recours à la fiche de TP par les exigences temporelles du programme officiel pour cet objet de savoir :

« le temps alloué à cette partie est très peu ce qui va influencer sur les apprentissages.. c'est pour ça il fallait aller vite »

Toutefois, notre expérience professionnelle dans l'inspection pédagogique montre que ce format d'enseignement est aussi très largement utilisé en dehors des classes terminales. Par suite, nous pensons que même si ce type d'action adressée existe au niveau des pratiques de

terminales, probablement, il ne représente pas le déterminant prépondérant pour comprendre les pratiques observées.

## **II.1.2 - Un point de vue sur l'apprentissage des sciences par les élèves**

Les professeurs parlent beaucoup soit directement, pour P1 en monologue, soit indirectement pour P2, à travers la fiche de TP qu'elle a rédigée. Les élèves ont une part mineure dans la co-construction, ils écoutent. Un point de vue particulier sur l'apprentissage pourrait déterminer ce comportement : on apprend les sciences, et en particulier la chimie en écoutant un exposé clair et cohérent. On trouve une confirmation de ce point de vue chez P1, dans l'entretien ante protocole, qui décrit le type d'élève qu'il souhaitait avoir dans sa classe :

« P1 : ben celui qui est attentif dans la classe pour écouter ce que dit le prof... c'est essentiel ».

Par ailleurs, les professeurs et élèves sont aussi sujet d'institutions dans lesquelles ce point de vue est porté (culture tunisienne, culture scolaire tunisienne....) et ils ont fini par le faire leur.

## **II.1.3 - Un point de vue épistémologique**

C'est un point de vue assez complexe dans la mesure où nous avons plusieurs dimensions en lien avec la nature de savoir et le rapport de l'enseignant à cet objet de savoir :

### **II.1.3.1 Un point de vue sur la nature des savoirs : les savoirs scientifiques ne se discutent pas**

Une des caractéristiques dans les pratiques de deux enseignants est l'absence totale de débat argumenté, par exemple à propos des prévisions faites sur les courbes de variation de pH pour P1 ou aussi lors de l'institutionnalisation faite par P2 de la courbe de dosage avec une variation du pH au début. Les savoirs, véhiculés par les professeurs et développés généralement par eux-mêmes, sont supposés neutres, absolus, décontextualisés, objectifs ; ce point de vue concourt à une sacralisation des savoirs scientifiques. Tout se passe finalement dans la classe comme si les enseignants pensaient que les savoirs scientifiques ne se discutent pas, ce qui



correspond à une posture<sup>57</sup> purement scientifique<sup>58</sup>. Cette posture à propos des savoirs scientifiques amène les enseignants à présenter des savoirs qui paraissent définitifs et absolus. Nous pensons que cet alignement sur une version absolutiste et dogmatique des savoirs scientifiques pourrait induire chez les enseignants une ignorance non seulement de la nature des savoirs que les élèves doivent apprendre mais aussi de la part qu'ils pourraient prendre dans la co-construction de ces savoirs. Un tel point de vue envers les savoirs scientifiques n'est pas très motivant pour l'apprentissage chez les élèves et surtout cela donne une idée très lointaine de ce qu'est un savoir scientifique.

Au cours de l'entretien ante protocole, lorsque le professeur P1 explique son choix d'enseigner les mathématiques s'il n'était pas professeur de physique, on trouve des propos confortant la posture scientifique : P1 entend en effet généralement la science comme un ensemble de résultats théoriques certains, qui ne se discutent pas. Il insiste aussi sur la démarche à suivre pour l'obtention des résultats scientifiques.

« A : si vous n'étiez pas un professeur de physique quelle matière voulez-vous enseigner ?

P1 : les mathématiques

A : pourquoi les mathématiques

P1 : ah j'aime les démonstrations et les résolutions des exercices je me sens très à l'aise dans les démonstrations surtout lorsque j'explique les phénomènes par des équations mathématiques. Vraiment c'est extra. Même en physique dans les exercices à aspect théorique.

---

<sup>57</sup> Ce concept traduit le paradigme auquel se réfère le professeur (par exemple, l'empirisme, le positivisme, le réalisme, le socioconstructivisme...) lorsqu'il envisage de développer un savoir particulier (Jonnaert & Vander Borgh, 2008). Par ailleurs, Simonneaux (2011) identifie quatre postures épistémologiques chez l'enseignant : (a) scientifique aboutissant à une sacralisation des sciences, (b) l'utilitarisme où la dimension opérationnelle des sciences est primordiale, (c) la posture sceptique où on s'appuie sur le fonctionnement des sciences et leur place dans la société, (d) le relativisme, difficilement tenable dans un enseignement scientifique « puisque aucune méthode universellement valide ne peut être attribuée aux sciences » (Simonneaux, 2011, p7).

<sup>58</sup> Scientisme est un concept introduit par le biologiste Félix Le Dantec (1911), s'inspirant du positivisme.

A : Est-ce que vous discutez avec vos élèves sur ces résultats théoriques des démonstrations ?

P1 : la science c'est la science...il faut expliquer aux élèves la démarche qui nous a aidé à retrouver ces résultats... mais lorsqu'on obtient les résultats voilà il faut appliquer »

En plus, nous inférons dans l'action de deux enseignants que les savoirs scientifiques ne sont pas recontextualisés dans des univers familiers aux élèves, les professeurs cherchent seulement à atteindre les objectifs des programmes surtout que le programme officiel ne demande pas de donner des situations dans lesquelles les savoirs ont du sens. Dans l'entretien ante protocole P1 déclare, suite à une question lui demandant d'explicitier les messages mêmes implicites qu'ils voulait véhiculer à travers l'enseignement de cet objet de savoir,

« j'ai pas de messages j'ai des objectifs à atteindre et c'est tout ».

Et pour P2 elle répond presque de la même façon, dans l'entretien post séance de TP, en se déguisant d'une « exécutrice » du programme, elle déclare en effet :

« pas de message, juste atteindre les objectifs du programme... c'est qu'on me demande d'exécuter »

### **II.1.3.2 Un point de vue sur la manière dont les deux professeurs connaissent l'objet de savoir**

Nous proposons notre point de vue sur la manière dont les deux professeurs connaissent l'objet de savoir et notamment sur les multiples discontinuités inférées dans l'action de l'enseignante P2.

#### **II.1.3.2.1 Pour P1 : la réaction du dosage d'un acide par une base n'est possible qu'avec des réactions exothermiques et rapides**

La séance de cours est marquée par la réalisation du P1 d'une série d'expériences afin de prouver les caractères rapide et exothermique de la réaction de dosage. Or, les concepts d'exothermicité et de rapidité de la réaction acide base ne sont pas traités dans le manuel scolaire ni même déclarés dans le programme officiel. En effet dans ce dernier, il est question de l'étude de la variation pH métrique d'une réaction acide base dans le but entre autres de déterminer quantitativement la quantité de matière d'une solution et non d'une étude thermodynamique ou cinétique conduisant à la détermination quantitative de la quantité de chaleur dégagée de la réaction ou la vitesse de la réaction.

Nous faisons l'hypothèse que le professeur traite ces deux concepts pour justifier l'étude des réactions thermodynamiquement possible en lien avec une possible confusion, chez lui, entre la spontanéité au sens thermodynamique d'une part et l'exothermicité et la rapidité de la réaction d'autre part. Nous pensons aussi que par la « rapidité de la réaction », P1 cherche à montrer que la réaction est totale et donc justifie la détermination de la concentration à partir de la mesure du pH. Son rapport à l'objet « réaction de dosage AF BF » pourrait ainsi déterminer cette partie de l'action didactique.

#### **II.1.3.2.2 Pour P2 : la précision que devait avoir l'allure de la courbe du dosage au début de l'expérience n'est pas importante**

Après que les élèves aient tracé la courbe de dosage de HCl par NaOH, la professeure l'institutionnalise par une représentation ne correspond pas complètement à ce que les élèves ont tracé. En effet, dans le tracé de la professeure, il y a apparition d'une légère variation du pH au début. Cette approximation a du sens au regard ce que les élèves feront ultérieurement au cours d'un dosage d'un acide faible par une base forte. La courbe représentée par l'enseignante semble être celle du dosage d'un acide faible par une base forte. Nous faisons l'hypothèse que la présence de cette approximation faite par la professeure au début du tracé est liée à un rapport particulier à l'objet « courbes de dosage acide base » voire de manière plus générale à un rapport personnel manquant de conformité avec le rapport qu'entretient l'institution scientifique avec les objets relevant des acides et des bases. En effet, des glissements du même type ont été décelés à d'autres moments, notamment lors de la définition de l'acide selon la théorie d'Arrhenius ou aussi dans l'identification de la nature de la solution au point d'équivalence.

## II.1.4 - En résumé

Nous résumons dans le tableau synoptique ci-dessous les déterminants de l'action didactique de deux enseignants notamment leurs épistémologies pratiques.

			<b>Professeur P1 (plus expérimenté)</b>	<b>Professeure P2 (moins expérimentée)</b>
<b>Un point de vue institutionnel de type action adressée</b>			Les savoirs doivent avancer rapidement dans une classe de terminale	Les savoirs doivent avancer rapidement dans une classe de terminale
<b>Epistémologie pratique de deux enseignants</b>	<b>Un point de vue sur l'apprentissage des sciences par les élèves</b>		Les élèves apprennent bien en suivant un exposé clair, logique et cohérent des savoirs	Les élèves apprennent bien en suivant un exposé clair, logique et cohérent des savoirs mis en œuvre autrement (fiche de TP)
	<b>Un point de vue épistémologique</b>	Nature des savoirs	Les savoirs scientifiques ne se discutent pas	Les savoirs scientifiques ne se discutent pas
		Rapport personnel des deux professeurs à l'objet de savoir	La réaction du dosage d'un acide par une base n'est possible qu'avec des réactions exothermiques et rapides	La précision que devait avoir l'allure de la courbe au début de l'expérience n'est pas importante

Tableau 38: les déterminants de l'action didactique de deux enseignants P1 et P2

## II.2 - Discussion : approche réflexive sur l'étude

Notre étude sur l'analyse et la compréhension des pratiques enseignantes vient dans un contexte tunisien encore vierge de ce type de recherche en physique et chimie, elle a permis l'identification d'une partie des caractéristiques des pratiques de deux enseignants, l'un plus expérimenté que l'autre, et d'éclairer une partie des déterminants de leur action.

Nous envisageons dans ce paragraphe de proposer une approche réflexive sur notre travail notamment sur nos résultats, le cadre théorique et sur la méthodologie pour mettre en avant nos centres d'intérêt mais aussi pour rendre compte de leurs limites et les pistes possibles pour les enrichir.

### **II.2.1 - Approche réflexive sur les résultats de l'étude**

De l'analyse des jeux, nous constatons une similitude et des caractéristiques communes dans la description du triplet chrono, méso et topogénèse dans l'action de deux enseignants, expérimenté et novice dans l'enseignement des classes terminales. La chronogénèse est constamment rapide et l'avancée des savoirs est assurée, avec une communication autoritative, selon des monologues et dans les interactions avec absence quasi-totale du langage quotidien ; la topogénèse est sous la responsabilité des enseignants avec une organisation sociale majoritairement en « classe entière », sauf pour les jeux où l'enjeu est la réalisation de l'expérience où les élèves travaillent en groupes réduits ; la mésogénèse est constamment sous contrôle des enseignants, qui d'ailleurs n'introduisent que les éléments qui font avancer les savoirs. Les caractéristiques du triplet de génèses de nos deux enseignants sont similaires à celles de l'enseignant A de Hervé (2012) avec une différence que les stratégies professorales comme la dévolution et la régulation sont quasiment absentes dans l'action de nos enseignants.

Notre étude permet aussi d'éclairer certains aspects d'un domaine encore peu exploré, celui de continuité et discontinuité dans l'avancée de savoirs. Nous avons regardé dans les différents registres et les différents niveaux et nous avons choisi de nous intéresser aux interactions en classe entière. Toutefois, il serait aussi intéressant de travailler sur les continuités et les discontinuités entre l'activité au sein des petits groupes et l'activité développée ensuite en classe entière, lors de la réalisation de l'expérience de dosage.

Par ailleurs, même si les déterminants de l'action didactique de deux enseignants sont inférés à partir de l'objet de savoir spécifique, variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base, il y a des déterminants qui ne dépendent pas de l'objet de savoirs mis en jeu, notamment ceux en lien avec l'action adressée de type classe terminale, sur l'apprentissage des élèves et sur la nature des savoirs scientifiques. Ces déterminants inférés constituent de véritables freins au développement professionnel des enseignants et nous suggérons qu'ils

doivent être le moteur qui anime les contenus de formation des enseignants pour contribuer à la réforme de système éducatif tunisien.

### **II.2.2 - Approche réflexive sur le cadre théorique**

Décrire l'action conjointe, de nature humaine, est une tâche qui n'est pas simple à faire. Il s'est avéré que le réel de la classe est souvent beaucoup plus complexe que les descripteurs pouvaient en rendre compte bien que la TACD offre des descripteurs pouvant éclairer certains aspects de ce réel. Toutefois, nous estimons que les descripteurs que nous avons ajoutés pour analyser l'avancée des savoirs, la densité épistémique et le champ épistémologique, complètent bien la description de la chronogenèse. Egalement, nous avons introduit des descripteurs, Format des échanges, orientation des échanges et nature du langage utilisé, que nous jugeons utiles pour analyser les échanges communicationnels dans la relation ternaire enseignant – élève – objet de savoir.

Nous avons combiné plusieurs cadres théoriques notamment la TACD et la théorie de deux mondes. Cette combinaison, selon nous, a du sens dans la mesure où l'action didactique est considérée conjointe entre P et E, et que les savoirs mis en jeu mettent en jeu des descriptions des champs empirique et théorique ainsi qu'une mise en relation de ces deux champs. Cette combinaison s'est avérée fructueuse puisqu'elle nous a permis de produire un certain nombre de résultats. Toutefois, nous sommes conscient qu'on aurait pu l'améliorer en introduisant une approche communicationnelle, permettant d'analyser les pratiques de communications (Quet, 2014) des transactants autour de l'objet de savoir, et de profiter des analyses faites à propos de l'écriture scientifique (Berthelot, 2003 ; Hert, 2006), au niveau des normes et évolutions.

### **II.2.3 - Approche réflexive sur la méthodologie**

La méthodologie d'analyse des pratiques de deux enseignants, que nous avons suivie, s'est avérée bénéfique du fait qu'elle nous a permis de caractériser les pratiques ordinaires lors de l'établissement d'un objet de savoir.

Par ailleurs, nous avons identifié dans le cadre méthodologique des marqueurs lexicaux nous permettant de structurer en thèmes les séances observées (Cross et al, 2009) et qui pourront être une caractéristique de la pratique. Néanmoins, on aurait pu profiter de ces marqueurs

pour développer une analyse lexicale en faisant une étude plus systématique des mots de liaison et de positions et voir quelles sont les mots qui sont utilisés les plus souvent et les classer selon l'espace théorique et empirique.

Enfin, les entretiens menés avec les enseignants ne sont pas révélés aussi féconds du fait de biais liés à la désirabilité sociale, l'enseignant interviewé orientant ses réponses dans la perspective d'obtenir une évaluation positive aux yeux de l'institution (Crowne & Marlowe, 1960).

## **Chapitre 6 - Conclusion générale**

Nous présentons dans la conclusion nos résultats saillants notamment les réponses à nos questions de recherche. Dans les perspectives nous évoquons des pistes en lien avec la poursuite de travail de cette recherche et aussi sur le plan professionnel.

### **I - Conclusion**

Notre recherche vise à analyser et comprendre les pratiques ordinaires de deux enseignants tunisiens : l'un est expérimenté dans l'enseignement des classes terminales et l'autre une novice à ce niveau. Elle avait comme problématique la mise en œuvre par le professeur, au sein d'une relation ternaire enseignant – élève – objet de savoir, de lien entre les données expérimentales, les représentations graphiques et symboliques et les contenus théoriques pour établir une référence (raisonnablement) commune relative à l'objet de savoir, variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base. Cette étude propose, pour le contexte tunisien, des savoirs relatifs à certaines pratiques enseignantes et à certains déterminants de leur action qui pourraient être pris en compte dans la formation. Egalement, elle s'inscrit dans le prolongement des études en didactique comparée et nous présumons qu'elle apporte des pistes méthodologiques contribuant à enrichir ce courant de recherche en didactique.

Nous nous sommes appuyé, comme d'autres études, sur une combinaison de cadres théoriques en particulier la théorie de l'action conjointe en didactique TACD et les théories de deux mondes conformément à notre vision que l'action didactique est conjointe et les savoirs sont mis en jeu peuvent être référés aux champs empirique et/ou théorique et/ou à leur mise en relation. Sur le plan méthodologique, nous avons structuré les séances observées principalement en jeux et « sous-jeux » à partir de la transcription des vidéo d'enregistrement des séances d'enseignement de deux enseignants à propos de l'objet de savoir « variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base ». Nous avons procédé à une analyse manuelle que nous avons reportée dans le logiciel Transana pour obtenir une représentation graphique ou numérique (avec des pourcentages) des données de l'analyse manuelle. Les résultats de nos analyses à l'échelle méso nous ont permis de dégager les caractéristiques de



pratiques observées de chaque enseignant ainsi que les continuités/discontinuités dans l'action de ces deux enseignants : expérimenté et novice dans l'enseignement des classes terminales.

Cette étude montre un certain nombre de caractéristiques de l'action de deux enseignants observés, répondant à notre première question de recherche. Notamment, l'avancée des savoirs est généralement rapide et orientée par les professeurs. Ces derniers développent les savoirs, d'une manière autoritative et quasiment sans problématisation ni orientation de l'action des élèves, selon des monologues ou dans les interactions, généralement de type IRE (initiation – réponses – évaluation). Par ailleurs, l'enseignant le plus expérimenté assure une avancée linéaire des savoirs sur un axe « compréhension, profondeur » en s'appuyant sur une description microscopique des données issues des modèles. L'enseignante la moins expérimentée expose linéairement les savoirs en se basant généralement sur une description macroscopique des énoncés empiriques. Nous pouvons conclure à ce niveau que l'expérience de l'enseignement au niveau des classes terminales se traduit ici par des échanges communicationnels denses épistémiquement mettant en œuvre un langage symbolique alors qu'à l'inverse une expérience beaucoup plus faible se traduit ici par une prépondérance d'échanges épistémiquement faibles avec une prédominance du langage scientifique naturel oral. D'un autre côté, les deux enseignants observés donnent une place minimale aux contributions des élèves lors de l'avancée des savoirs. L'enseignant expérimenté donne de la place aux élèves dans les endroits caractérisés par une absence totale de conceptualisation ou de symbolisation, les interactions se faisant à ce moment-là en langage scientifique oral et graphique. L'évolution du milieu est sous contrôle des deux enseignants, directement pour le professeur le plus expérimenté et à travers une fiche préparée au préalable pour la moins expérimentée. Tous deux n'introduisent que les éléments qui font avancer rapidement les savoirs. Nous pouvons en conclure que les pratiques de deux enseignants sont issues d'un modèle transmissif donnant une place minime aux élèves dans la construction des savoirs dans la classe. Cette place minime des élèves fait que les échanges communicationnels est scientifique avec une absence quasi-totale du langage quotidien.

Egalement, pour répondre à la deuxième question de recherche, une partie des résultats porte sur les continuités et discontinuités entre les mondes empiriques et théoriques qui de notre point de vue, constituent un élément important pour les apprentissages des élèves et

attestent de ce fait d'une certaine expérience des enseignants. Cette étude montre que les deux enseignants assurent une certaine continuité dans l'avancée des savoirs et dans la mise en relation entre les mondes empiriques et des théories et modèles, sauf peut-être P2 lorsqu'elle n'établit aucun lien entre l'espace théorique concernant la réaction acide base et la procédure de dosage. Toutefois, des continuités qui interrogent sont apparues notamment pour P1 en lien avec les statuts théorique et expérimental de la courbe de la variation du pH et pour P2 en lien avec l'état du BBT utilisé au cours de l'expérience et l'obtention de la coloration verte à l'équivalence. Egalement, les pratiques observées des deux enseignants sont caractérisées par un ensemble de discontinuités tant au niveau de la mise en relation entre le champ des observables et le champ des théories/modèles qu'au niveau de l'interprétation macroscopique, microscopique et de l'écriture des relations symboliques. Ces discontinuités se manifestent lorsque des éléments de savoir sont partiellement développés voire insuffisamment développés et sont liées à des implicites laissés dans l'exposé du savoir par l'enseignant dont le décodage est laissé à la charge de l'élève.

Cette étude montre que L'enseignant le plus expérimenté fait avancer les savoirs d'une manière généralement cohérente et le cheminement suivi montre de rares discontinuités. Nous pouvons avancer alors que, probablement l'expérience du professeur dans l'enseignement à un niveau se traduit par une action didactique caractérisée par des continuités lors de l'avancée des savoirs. D'un autre côté, que l'enseignante « novice » crée à son insu une multitude de discontinuités qui seraient probablement liée à un rapport particulier aux savoirs disciplinaires.

Nous avons cherché à comprendre les pratiques de deux enseignants observés. Pour cela, nous avons inféré des déterminants de leurs actions en lien avec un point de vue institutionnel de type action adressée selon lequel les savoirs doivent avancer rapidement dans une classe de terminales. Egalement, nous avons caractérisé une partie de l'épistémologie pratique de deux enseignants notamment un point de vue supposé sur l'apprentissage des sciences par les élèves : ces derniers apprennent bien la chimie en suivant un exposé clair, logique et cohérent des savoirs mis en œuvre par le professeur lui-même ou différemment (fiche de TP). Nous avons également inféré le fait que les pratiques constatées pouvaient être liées à un point de vue sur la nature des savoirs selon lequel les savoirs scientifiques ne se discutent pas. Nous avons également inféré des éléments du rapport personnel des deux professeurs à

l'objet de savoir non complètement conformes aux rapports institutionnels scientifiques susceptibles de conduire aux pratiques observées. Pour l'enseignant expérimenté, tout se passe comme si la réaction du dosage d'un acide par une base n'était possible qu'avec des réactions exothermiques et rapides et pour l'enseignante moins expérimentée, comme si les courbes de dosage d'un acide fort par une base forte et d'un acide faible par une base forte se ressemblaient. Cette tentative de comprendre l'action de deux enseignants nous permet de répondre à notre troisième question de recherche.

## **II - Perspectives**

Côté recherche, nous aimerions poursuivre cette étude, en élargissant le nombre d'échantillon d'enseignants, dans une visée de généralisation de nos résultats notamment le lien entre les années d'expérience dans l'enseignement dans un niveau et le nombre de discontinuités dans l'avancée des savoirs obtenu en analysant l'action didactique d'une part. D'autre part nous voulons chercher d'éventuels liens entre les implicites dans l'action de l'enseignant et son épistémologie pratique.

Sur le plan professionnel, nous estimons que notre étude, même avec son caractère limité, apporte des connaissances pour la formation des enseignants tunisiens de physique et chimie qui doit à notre avis prendre en compte les pistes de détermination de l'action que nous avons identifiées. Nous proposons de développer pour cela un dispositif de formation selon deux axes parallèles. Le premier est orienté vers le développement du rapport personnel des enseignants à l'objet de savoir en travaillant notamment sur les implicites dans leurs actions conduisant à des discontinuités dans l'avancée des savoirs, pour pallier le manque d'expérience dans l'enseignement des classes terminales, en particulier pour les professeurs novices.. Le deuxième axe envisage les démarches et méthodes permettant de faire développer les techniques professorales notamment travailler l'introduction des objectifs, encourager les élèves à s'investir dans la co-construction, orienter les apprentissages et les institutionnaliser aux moments opportuns.

# Bibliographie

- Altet, M. (1991). *Analyse séquentielle et systémique de l'articulation du processus enseignement-apprentissage : rôle des processus médiateurs et situationnels*. Recherche pour l'Habilitation, Université de Nantes.
- Altet, M. (1994). *La formation professionnelle des enseignants* : Paris : Puf.
- Altet, M. (1996). Les dispositifs d'analyse des pratiques pédagogiques en formation d'enseignants : une démarche d'articulation pratique-théorie-pratique. *L'analyse des pratiques professionnelles, Paris, L'Harmattan*, 11-26.
- Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : l'analyse plurielle. *Revue française de pédagogie*, 85-93.
- Altet, M. (2006). Les enseignants et leurs pratiques professionnelles. *Traité des sciences et des pratiques de l'éducation, Paris : Dunod*, 291-303.
- Altet, M., Blanchard-Laville, C., & Bru, M. (2012). *Observer les pratiques enseignantes* : L'Harmattan.
- Amade-Escot, C. (1997). Observation des situations didactiques et pratique réflexive en formation initiale. *Recherche et formation*, 25, 47-56.
- Amade-Escot, C. (1998). Apport des recherches didactiques à l'analyse de l'enseignement : une étude de cas, le contrat didactique. *Recherches en EPS : bilan et perspective*, 253-266.
- Amade-Escot, C. (2001). Chapitre 1. De l'usage des théories de l'enseignant. *Perspectives en éducation et formation*(1), 23-41.
- Amade-Escot, C. (2003). La gestion interactive du contrat didactique en volley-ball : agencement des milieux et régulations du professeur. *Didactique de l'Éducation Physique : états des recherches. Paris, Revue EP. S*, 255-278.
- Amade-Escot, C. (2007). Les savoirs au cœur du didactique. *Le didactique*, 11-30.
- Amade-Escot, C. (2014). De la nécessité d'une observation didactique pour accéder à l'épistémologie pratique des professeurs. *Coordonné par Line Numa-Bocage*, 18.
- Amade-Escot, C., & Venturini, P. (2008). *Analyse de situations didactiques : perspectives comparatistes* (Vol. 20): Pr. Universitaires du Mirail.
- Amade-Escot, C., & Venturini, P. (2009). Le milieu didactique : d'une étude empirique en contexte difficile à une réflexion sur le concept. *Education & didactique*, 3(1), 7-43.
- Amiel, C., Bru, M., Dauvisis, M., Laffont, J., & Not, L. (1981). Vers une science spécifique de l'éducation. *Psychologie et Éducation*, 5(2/3), 121-140.
- Astolfi, J.-P. (1994). Situation-problème. *Dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation*.
- Auriac-Slusarczyk, E. (2010). *Les interactions à l'école : où en sommes-nous ?* : Editions L'Harmattan.
- Bachelard, S. (1979). *Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles* : Maloine.
- Badreddine, Z., Buty, C., & Do Nascimento, S. S. (2007). *Análise temática e análise de discurso em sala de aula de ciências: utilização do software Transana®*. Paper presented at the *Análise temática e análise de discurso em sala de aula de ciências: utilização do software Transana®*.
- BARDEZ, E. (2010). Il y a cent ans... naissait le pH. *L'Actualité chimique*(340), 35-41.

- Beaufils, D. (1999). Quelques éléments de réflexion à propos des exercices à caractère expérimental. *Activités expérimentales des élèves en physique-chimie : quels enjeux d'apprentissage*, 101-116.
- Bécu-Robinault, K. (2015). *Un cadre épistémologique pour concevoir des séances et analyser des pratiques d'étude et d'enseignement de la physique*. Université Toulouse Jean-Jaurès.
- Bednarz, N., & Perrin-Glorian, M. J. (2004). Formation à l'enseignement des Mathématiques et développement de compétences professionnelles : articulation entre formation mathématique, didactique et pratique. *Actes De Espace Mathématique Francophone*. Tozeur (Tunisie). 2004.
- Beillerot, J., Blanchard-Laville, C., & Mosconi, N. (1996). *Pour une clinique du rapport au savoir* : Editions L'Harmattan.
- Beillerot, J., Bouillet, A., Blanchard-laville, C., & Mosconi, N. (1989). Savoir et rapport au savoir. *Élaborations théoriques et cliniques*. Paris : Éditions universitaires.
- Berthelot, J.-M. d. (2003). Figures du texte scientifique, Paris, PUF, 312 p. *Cybergeog : European Journal of Geography*.
- Bisdikian, G., & Psillos, D. (2002). Enhancing the linking of theoretical knowledge to physical phenomena by real-time graphing *Teaching and learning in the science laboratory* (pp. 193-204) : Springer.
- Bourdieu, P. (1980). Le capital social. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 31 (1980), 2-3.
- Bourdieu, P. (1987). *Choses dites* : Editions de minuit Paris.
- Bourdieu, P. (1997). *Méditations pascaliennes* (Vol. 316) : Seuil Paris.
- Brière-Guenoun, F. (2012). Les apports de la didactique comparée pour la formation : pistes de réflexion à partir de l'analyse des savoirs mobilisés par le professeur d'EPS dans l'interaction didactique. *eJRIEPS*, n°25, 7-26.
- Brière-Guenoun, F., & Amade-Escot, C. (2010). Analyse in situ des savoirs mobilisés par un professeur d'éducation physique et sportive dans l'interaction didactique. *Revue Suisse des sciences de l'éducation*, 32 (2), 595-614.
- Bronner, G. (2003). *L'empire des croyances* : Presses Universitaires de France-PUF.
- Brousseau, G. (1980). Les échecs électifs en mathématiques dans l'enseignement élémentaire. *Revue de laryngologie otologie rhinologie*, 3, 107-131.
- Brousseau, G. (1984). Le rôle du maître et l'institutionnalisation. *Actes de la Troisième école d'été de didactique des mathématiques*.
- Brousseau, G. (1986). *Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques*. Université Sciences et Technologies-Bordeaux I.
- Brousseau, G. (1988). Les différents rôles du maître. *Bulletin de l'AMQ. Montréal*. (23), 14-24.
- Brousseau, G. (1990). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(9.3), 309-336.
- Brousseau, G. (1998). Théorie des situations didactiques. Textes rassemblés et préparés par N. Balacheff, M. Cooper, R. Sutherland & V. Warfield. Grenoble. *Recherches en didactique des mathématiques*.
- Brousseau, G. (2003). Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques [en ligne]. 2003 [réf. du 28-12-2007]. Disponible sur Internet : [http://perso.orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire\\_Brousseau.pdf](http://perso.orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf).
- Brousseau, G. (2003). L'enseignement des mathématiques dans la scolarité obligatoire : micro et macro-didactiques.

- Brousseau, G., & Balacheff, N. (1998). *Théorie des situations didactiques : (didactique des mathématiques 1970-1990) : La pensée sauvage.*
- Bru, M. (1991). *Ecrire pour apprendre à lire. Toulouse, EUS.*
- Bru, M. (2001). *Pratiques Enseignantes : Presse Universitaire du Mirail.*
- Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes : des recherches à conforter et à développer. *Revue française de pédagogie*, 63-73.
- Bru, M., Altet, M., & Blanchard-Laville, C. (2004). A la recherche des processus caractéristiques des pratiques enseignantes dans leurs rapports aux apprentissages. *Revue française de pédagogie*, 75-87.
- Bru, M., & Maurice, J. (2001). Les pratiques enseignantes : contributions plurielles. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 5.
- Brun-Picard, Y. (2005). *L'humanisme géographique.* Université de Provence-Aix-Marseille I.
- Brun-Picard, Y. (2006). L'interface humanité/espaces terrestres. Un outil géoéconomique. [En ligne.] [www.solidarite-internationale.com](http://www.solidarite-internationale.com).
- Brun-Picard, Y. (2013). *Géographie d'interfaces : formes de l'interface humanité : espaces terrestres :* Editions L'Harmattan.
- Bunge, M. (1973). The metaphysics, epistemology and methodology of levels *Method, Model and Matter* (pp. 160-168): Springer.
- Burgot, J.-L. (2011). *Chimie analytique et équilibres ioniques :* Lavoisier.
- Buty, C., Badreddine, Z., & Régnier, J. (2012). Didactique des sciences et interactions dans la classe : quelques lignes directrices pour une analyse dynamique. ENSAIO.
- Calmettes, B. (2012). *Modélisation pragmatiste de l'action didactique de l'enseignant. Le cas des démarches d'investigation en physique, en collège.* Université Toulouse le Mirail-Toulouse II.
- Calvez, M. (2006). L'analyse culturelle de Mary Douglas : une contribution à la sociologie des institutions. *SociologieS [En ligne], Théories et recherches, mis en ligne le 22 octobre 2006, consulté le 10 novembre 2013. URL : <http://sociologies.revues.org/522>.*
- Camacho, M., & Good, R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium: Successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(3), 251-272.
- Cappiello, P., & Venturini, P. (2009). L'approche socio-anthropologique du rapport au savoir en sciences de l'éducation et en didactique des sciences. *Où va la didactique comparée ?*
- Charlot, B. (1997). Du rapport au savoir, Paris. *Anthropos*, 91.
- Chartier, A.-M., & Altet, M. (2006). Entretien de Marguerite Altet avec Anne-Marie Chartier. L'analyse de pratiques : rétrospectives et questions actuelles. *Recherche et formation*(51), 11-25.
- Chevallard, Y. (1986). Vers une analyse didactique des faits d'évaluation. *L'évaluation : approche descriptive ou prescriptive*, 7, 31-59.
- Chevallard, Y. (1989). Le concept de rapport au savoir. Rapport personnel, rapport institutionnel, rapport officiel. *Actas del Seminario de Grenoble. IREM Université de Grenoble.*
- Chevallard, Y. (1991). Dimension instrumentale, dimension sémiotique de l'activité mathématique. *Séminaire de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique de Grenoble*, 1990-1991.
- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 12(1), 73-112.

- Chevallard, Y. (1998). Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques : la notion d'organisation praxéologique. *Actes de l'université d'été de la Rochelle*.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique de didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19(2), 221-265.
- Chevallard, Y. (2003). Approche anthropologique du rapport au savoir et didactique des mathématiques. *Rapport au savoir et didactiques*, 81-104.
- Chevallard, Y. (2004). La place des mathématiques vivantes dans l'éducation secondaire : transposition didactique des mathématiques et nouvelle épistémologie scolaire. *3e Université d'été Animath*, 2227.
- Chevallard, Y. (2004). Vers une didactique de la codisciplinarité. Notes sur une nouvelle épistémologie scolaire. *Journées de didactique comparée*.
- Clément, F. (1996). Une nouvelle " forme de vie " pour les sciences sociales. *Revue européenne des sciences sociales*, 34(106), 155-168.
- Clot, Y. (1999). De Vygotski à Léontiev via Bakhtine. *Avec Vygotski*, 165-185.
- Cobb, P., Gresalfi, M., & Hodge, L. L. (2009). An interpretive scheme for analyzing the identities that students develop in mathematics classrooms. *Journal for Research in Mathematics Education*, 40-68.
- Cokelez, A. (2009). A Comparative Study of French and Turkish Students' Ideas on Acid– Base Reactions. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 102-106.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education : implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198.
- Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2002). Learners' Use of Analogy and Alternative Conceptions for Chemical Bonding: A Cross-Age Study. *Australian Science Teachers' Journal*, 48 (1), 24-32.
- Conein, B., & Jacopin, E. (1993). Les objets dans l'espace. *Raisons pratiques*, 4, 59-85.
- Coquidé, M. (2008). Un schéma dynamique de modélisation pour l'éducation scientifique : fécondité théorique, problématisation formatrice. *Les didactiques et leurs rapports à l'enseignement et à la formation, ARFIRSE, Bordeaux, 2008*.
- Coquidé, M., & Le Maréchal, J. (2006). Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique : usages et impacts. *Aster*, 43, 7-16.
- Crawford, E. T. (1996). Arrhenius : From ionic theory to the greenhouse effect.
- Cros, D., Chastrette, M., & Fayol, M. (1988). Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10(3), 331-336.
- Cross, D. (2010). Action conjointe et connaissances professionnelles de l'enseignant. *Éducation et didactique*, 4(3), 39-60.
- Cross, D., Rita, K. A., Zeynab, B., Layal, M., & Mouhamadoune, S. (2009). Méthodologie de mise au point d'un consensus entre chercheurs : le cas du thème. *1er colloque international de l'ARCD, Jan 2009, Genève, Suisse. Lyon : Association pour les Recherches Comparatistes en Didactiques, 2010*.
- Crowne, D. P., & Marlowe, D. (1960). A new scale of social desirability independent of psychopathology. *Journal of consulting psychology*, 24(4), 349.
- Dahllof, U. S., & Lundgren, U. P. (1970). Macro and Micro Approaches Combined for Curriculum Process Analysis: A Swedish Educational Field Project.
- Day Jr, M., & Selbin, J. (1969). *Theoretical Inorganic Chemistry* Reinhold Book Corporation. New York, 385.

- Day, M., & Selbin, J. (1969). *Theoretical Inorganic Chemistry* N. Y. Reinhold (Ed.)
- Day, M. C. (1969). *Theoretical inorganic chemistry*.
- De Jonckheere, C. (2001). *Agir envers autrui : modèles d'action dans les professions de l'aide psychosociale* : Delachaux et Niestlé.
- De Vos, W. (1992). The Hidden Structure in School Chemistry – And How to Escape from It. In R. F. Kempa & D. J. Waddington (eds.), *Bringing chemistry to life, Proceedings of the 11th International Conference on Chemical Education, Royal Society of Chemistry, London*, 77-83.
- De Vos, W., & Pilot, A. (2001). Acids and bases in layers : The stratal structure of an ancient topic. *Journal of Chemical Education*, 78(4), 494.
- De Vos, W., Van Berkel, B., & Verdonk, A. (1991). *A Structure in School Chemistry*. Paper presented at the Unpublished paper used as a probe with an International Forum of researchers in chemical education.
- Demircioglu, G., Ayas, A., & Demircioglu, H. (2005). Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(1), 36-51.
- Denzin, N. (1989). The research act. *A theoretical introduction to sociological methods. Englewoods Cliffs : Prentice-Hall*, 3.
- Douglas, M. (1986). *How institutions think* : Syracuse University Press.
- Doyle, W. (1986). Classroom organization and management. *Handbook of research on teaching*, 3, 392-431.
- Drechsler, M., & Schmidt, H.-J. (2005). Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models used in chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(1), 19-35.
- Drechsler, M., & Schmidt, H.-J. (2005). Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models used in chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(1), 19-35.
- Drechsler, M., & Van Driel, J. (2008). Experienced teachers' pedagogical content knowledge of teaching acid–base chemistry. *Research in science education*, 38(5), 611-631.
- Drechsler, M., & Van Driel, J. (2009). Teachers' perceptions of the teaching of acids and bases in Swedish upper secondary schools. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(2), 86-96.
- Duschl, R. A., & Gitomer, D. H. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: Implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 839-858.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine : registres sémiotiques et apprentissages intellectuels* : Peter Lang Berne.
- Ecole de demain. (2002). " La nouvelle réforme du système éducatif Tunisien", Programme pour la mise en oeuvre du projet école de demain 2002 – 2007, Tunis. *Ministère de l'éducation et de formation*.
- El Hage, S., Buty, C., & Badreddine, Z. (2012). Cohérence discursive du savoir enseigné : cas où l'enseignant utilise un dispositif TICE. *ACTES des 7<sup>ème</sup> rencontres scientifiques de l'ARDiST Bordeaux, les 14, 15 et 16 mars 2012*, 149-159.
- Erduran, S. (1998). *Modeling in chemistry as cultural practice : a theoretical framework with implications for chemistry education*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Diego, CA.
- Feynman, R. (1980). Qu'est-ce que la science. *La nature de la physique*.



- Fleck, L. (1953/2008). Observation scientifique et perception en général. *L'histoire des sciences. Méthodes, styles et controverses*, Paris, Vrin, 245-272.
- Furió-Más, C., Calatayud, M., & L. Bárcenas, S. (2007). Surveying students conceptual and procedural knowledge of acid-base behavior of substances. *Journal of Chemical Education*, 84, 1717.
- Furió-Más, C., Luisa Calatayud, M., Guisasola, J., & Furió-Gómez, C. (2005). How are the concepts and theories of acid–base reactions presented ? Chemistry in textbooks and as presented by teachers. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1337-1358.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548.
- Gabel, D., Samuel, K., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), 695.
- Ganaras, K. (1998). La conceptualisation des équilibres chimiques. *ENS Cachan*.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning.
- Garnier, A. (2003). *Le rapport au savoir du professeur : entre contrainte et autonomie, une étude de cas lors d'un cycle d'enseignement de la gymnastique au collège*.
- Gauthier, C. (1997). *Pour une théorie de la pédagogie : recherches contemporaines sur le savoir des enseignants : De Boeck Supérieur*.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1 : Horses for courses ? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., & Franco, C. (2000). Science and education: Notions of reality, theory and model *Developing models in science education* (pp. 19-40) : Springer.
- Gil-Pérez, D., Vilches, A., Fernández, I., Cachapuz, A., Praia, J., Valdés, P., & Salinas, J. (2005). Technology as 'Applied Science'. *Science & Education*, 14(3-5), 309-320.
- Glassman, S. (1967). High school students' ideas with respect to certain concepts related to chemical formulas and equations. *Science education*, 51(1), 84-103.
- Goffard, M. (1993). Réflexions post-bac. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 87, 1593-1604.
- Hache, C. (1999). *L'enseignant de mathématiques au quotidien : étude de pratiques en classe de seconde*.
- Hammet, L. (1940). *Physical Organic Chemistry*, 1st Editions : McGraw Hill, New York.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Herron, J. D. (1975). Piaget for chemists. Explaining what "good" students cannot understand. *Journal of Chemical Education*, 52(3), 146.
- Hert, P. (2006). L'écriture en sciences comme prise sur le monde. Une approche ethnosémiotique. *Sciences de la société*(67), 112-129.
- Hervé, N. (2012). *Analyses de pratiques d'enseignement de savoirs de la physique stabilisés (l'énergie) et controversés (le changement climatique)*. Université Toulouse le Mirail-Toulouse II.
- Hervé, N., Venturini, P., & Albe, V. (2013). Enseigner un savoir stabilisé et une controverse socioscientifique, quelles différences et similitudes ? Exemple d'une pratique ordinaire d'enseignement en physique. *Dossiers des Sciences de l'Education*, 29, 45-66.

- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-562.
- Hulin, N. (1992). Caractère expérimental de l'enseignement de la Physique XIXème-XXème siècles. *Bulletin de l'Union de Physiciens*, 86, 1403-1415.
- Jaime, C. A., Cachapuz, A. F., Praia, J. F., Pérez, D. G., & Fernández, I. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias : revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(3), 477-488.
- Jameau, A. (2012). *Les connaissances mobilisées par les enseignants dans l'enseignement des sciences : analyse de l'organisation de l'activité et de ses évolutions*. Université de Bretagne occidentale-Brest.
- Jenkins, E. W. (1979). *From Armstrong to Nuffield : Studies in twentieth-century science education in England and Wales* : J. Murray.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching : A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques* (Vol. 327) : Presses universitaires de France Paris.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2003). Models and modelling in chemical education *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 47-68) : Springer.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273-1292.
- Kermen, I., & Barroso, M. T. (2013). Activité ordinaire d'une enseignante de chimie en classe de terminale. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*(8), 91-114.
- Kleinman, R. W., Griffin, H. C., & Kerner, N. K. (1987). Images in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64(9), 766.
- Kousathana, M., Demerouti, M., & Tsapalis, G. (2005). Instructional misconceptions in acid-base equilibria: An analysis from a history and philosophy of science perspective. *Science & Education*, 14(2), 173-193.
- Kuhn, T. S. (1970). The structure of scientific revolutions. *Chicago/London*.
- Latour, B. (1994). Une sociologie sans objet ? Remarques sur l'interobjectivité. *Sociologie du travail*, 36(4), 587-907.
- Lave, J. (1988). *Cognition in practice : Mind, mathematics and culture in everyday life* : Cambridge University Press.
- Le Maréchal, J.-F., & Naija, R. (2008). La mesure dans l'enseignement de la chimie. Cas d'une approche des titrages par pH-métrie et conductimétrie. *Aster*, 2008, 47 " *Mesure et instrumentation dans l'enseignement scientifique*".
- Leontiev, A. (1975/1984). *Activité, Conscience. Personnalité*. Ed. du Progrès, Moscou (trad. fr. 1984).
- Leutenegger, F. (2000). Construction d'une "clinique" pour le didactique. Une étude des phénomènes temporels de l'enseignement. *Recherches en didactique des mathématiques*, 20(2), 209-250.
- Leutenegger, F. (2009). *Le temps d'instruire : approche clinique et expérimentale du didactique ordinaire en mathématique* : Peter Lang.

- Leutenegger, F., & Schubauer-Leoni, M. L. (2002). Les élèves et leur rapport au contrat didactique : une perspective de didactique comparée. *Les Dossiers des sciences de l'éducation*(8), 73-86.
- L'Hostie, M. (1998). *Dynamique socio-politique du changement planifié dans une organisation d'enseignement : le cas d'un cégep* : Université du Québec à Chicoutimi Chicoutimi.
- Lin, J. W., & Chiu, M. H. (2007). Exploring the characteristics and diverse sources of students' mental models of acids and bases. *International Journal of Science Education*, 29(6), 771-803.
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science : Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370-391.
- Luc, C., & Durey, A. (1997). Modèles et modélisation dans les séquences de travaux pratiques sur le haut-parleur en classe de seconde.
- Manuel scolaire 2ème SC. (2014). CHIMIE 2ème année de l'enseignement secondaire SCIENCES. CNP.
- Manuel scolaire 4ème M. (2014). Chimie, Mathématiques, 4ème année de l'enseignement secondaire. *Centre National Pédagogique*.
- Marc, D. (1996). L'enseignement en milieu scolaire P. Paris (Ed.)
- Marcel, J.-F., Olry, P., Rothier-Bautzer, É., & Sonntag, M. (2002). Les pratiques comme objet d'analyse. *Revue française de pédagogie*, 138, 135-170.
- Marlot, C. (2008). *Caractérisation des transactions didactiques : Deux études de cas en Découverte Du Monde Vivant au cycle II de l'école élémentaire*. Université Rennes 2.
- Marshall, C., & Rossman, G. B. (1989). *Design qualitative research: California*. Sage. USA.
- Matthews, M. R. (2015). *Science Teaching. The Contribution of History and Philosophy of Science, 20th Anniversary Revised and Expanded Edition* S. E. p. b. Routledge (Ed.)
- Mercier, A. (2002). Note de synthèse : la transposition des objets d'enseignement et la définition de l'espace didactique, en mathématiques. *Revue française de pédagogie*, 141(1), 135-171.
- Mercier, A., & Salin, M. (1988). L'analyse a priori, outil pour l'observation. *Actes de de l'université d'été "Didactique et Formation des Maîtres à l'Ecole Elémentaires"*, Bordeaux (IREM de Bordeaux), 203 - 244.
- Mercier, A., Schubauer-Leoni, M. L., & Sensevy, G. (2002). Vers une didactique comparée. *Revue française de pédagogie*(141), 5-16.
- Meyer, A., & Dousset, J. (1988). Un équilibre très instable. *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 708, 1211-1220.
- Ministère de l'Éducation. (2009). Programmes de sciences physiques 3ème année & 4ème année de l'enseignement secondaire. *Centre National Pédagogique*.
- Minstrell, J. (1992). *Facets of students' knowledge and relevant instruction*. Paper presented at the Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies, Proc. of an Internatnl Workshop.
- Mosconi, N. (1996). Famille et construction du rapport au savoir. *Pour une clinique du rapport au savoir*, 99-118.
- Mosconi, N. (2008). Mixité, pratiques enseignantes et innovations. *Les pratiques d'enseignants. Entre innovation et tradition*, 97-118.
- Mottier Lopez, L., & Allal, L. (2004). Participer à des pratiques d'une communauté classe : un processus de construction de significations socialement reconnues et partagées. *Raisons éducatives*, 59-84.

- Myers, R. J. (2009). One-hundred years of pH. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 30-32.
- Naija, R. (2004). *Apprentissage des réactions acido-basiques : mise en évidence et remédiation des difficultés des étudiants lors d'une séquence d'enseignement expérimental*. Lyon 2.
- Nakhleh, M. B. (1990). *A study of students' thought processes and understanding of acid/base concepts during the performance of instrument-based titrations*. University of Maryland at College Park.
- Nakhleh, M. B. (1994). Student's Models of Matter in the Context of Acid-Base Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 71(6), 495.
- Nakhleh, M. B., & Krajcik, J. S. (1993). A protocol analysis of the influence of technology on students' actions, verbal commentary, and thought processes during the performance of acid-base titrations. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1149-1168.
- Nakhleh, M. B., & Krajcik, J. S. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and pH concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1077-1096.
- Nørby, J. G. (2000). The origin and the meaning of the little p in pH. *Trends in biochemical sciences*, 25(1), 36-37.
- North, D. C. (1991). Institutions *The Journal of Economic Perspectives*, 5(1), 97-112.
- North, D. C. (1993). The new institutional economics and development. *EconWPA Economic History*(9309002).
- Nouiri, A., & Kilani, C. (2012). PCK des enseignants relatif au concept avancement chimique : Cas des enseignants de sciences physiques tunisiens de la classe quatrième année scientifique. *Sommaire des actes des 7 journées scientifiques de l'ARDiST. Bordeaux, 14-16 mars 2012*, 315-322.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie : quels apprentissages pour le lycée ?* Presses universitaires de France.
- Ouertatani, L. (2009). *L'enseignement-apprentissage des acides et des bases en Tunisie : une étude transversale du lycée à la première année d'université*. Bordeaux 2.
- Ouertatani, L., & Dumon, A. (2007). Histoire de la chimie-Evolution historique des concepts d'acide et de base. *Actualité Chimique* (306), 40.
- Ouertatani, L., & Dumon, A. (2008). L'appropriation des «objets de savoir» relatifs aux titrages acide-base par les élèves et les étudiants tunisiens.
- Ouertatani, L., & Dumon, A. (2011). La transition lycée-université et l'évolution conceptuelle relative aux calculs de pH en Tunisie. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*(3), 241-267.
- Oversby, J. (2000). Models in explanations of chemistry : The case of acidity *Developing models in science education* (pp. 227-251) : Springer.
- Pautal, É. (2012). *Enseigner et apprendre la circulation du sang : analyse didactique des pratiques conjointes et identifications de certains de leurs déterminants : trois études de cas à l'école élémentaire*. Université Toulouse le Mirail-Toulouse II.
- Pautal, É., Schneeberger, P., & Venturini, P. (2013). Analyse de déterminants de l'action de maîtres-formateurs en sciences du vivant. Deux études de cas à l'école élémentaire. *Éducation et didactique*, 7-2 | 2013, 9-28.
- Perrin-Glorian, M.-J. (1993). Contraintes de fonctionnement des enseignants au Collège : Ce que nous apprend l'étude de « classes faibles ». *Petit x*, 5-40.
- Perrin-Glorian, M.-J. (1994). Vingt ans de didactique des mathématiques en France. Théories des situations didactiques : naissance, développement, perspectives. . *In M. Artigue et*

- al, *Vingt ans de didactique des mathématiques en France. Grenoble : La pensée sauvage.*, 97-147.
- Perrin-Glorian, M.-J. (1999). Problèmes d'articulation de cadres théoriques : l'exemple du concept de milieu. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19(3), 279-321.
- Quet, M. (2014). Research in Brief : Pour une approche communicationnelle des enjeux scientifiques et techniques. *Canadian Journal of Communication*, 39(4), 651.
- Rabier, A., Venturini, P., & Terrisse, A. (2001). Etude didactique sur l'utilisation des modèles d'acido-basicité par les étudiants et les élèves de terminale S. *Skholê, hors série*, 331-342.
- Ri Ruzza, R. (2006). Chapitre 1. L'analyse du travail, une démarche ergologique. *Économie, Société, Région*, 17-44.
- Robardet, G., & Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques : de la recherche à la pratique : théories, modèles, conceptions et raisonnement spontané* : Presses universitaires de France.
- Robert, A. (2001). Les recherches sur les pratiques des enseignants et les contraintes de l'exercice du métier d'enseignant. *Recherches en didactique des mathématiques*, 21(1-2), 57-79.
- Roberts, D. A. (1982). Developing the concept of "curriculum emphases" in science education. *Science education*, 66(2), 243-260.
- Roberts, D. A. (1983). *Scientific Literacy: Towards Balance in Setting Goals for School Science Programs. A Discussion Paper*: ERIC.
- Roberts, D. A. (1988). What counts as science education. *Development and dilemmas in science education*, 27-54.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe : Union européenne : Direction générale de la recherche Science, économie et société.
- Rollnick, M., Bennett, J., Rhemtula, M., Dharsey, N., & Ndlovu, T. (2008). The place of subject matter knowledge in PCK-A case study of South African teachers teaching the amount of substance and equilibrium. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1365-1387.
- Ross, B., & Munby, H. (1991). Concept mapping and misconceptions : a study of high-school students' understandings of acids and bases. *International Journal of Science Education*, 13(1), 11-23.
- Roth, K. J., Druker, S. L., Garnier, H. E., Lemmens, M., Chen, C., Kawanaka, T., . . . Okamoto, Y. (2006). Teaching Science in Five Countries : Results From the TIMSS 1999 Video Study. Statistical Analysis Report. NCE 2006-011. *National Center for Education Statistics*.
- Roulet, E. (1975). *Ferdinand de Saussure : cours de linguistique générale* : Hatier.
- Salin, M. (2002). Repères sur l'évolution du concept de milieu en théorie des situations. *Dorier, J.-L., Artaud, M., Arigue, M., Berthelot, R., Floris, R (éds.). Actes de la XIème Ecole d'été, 111-125. La Pensée Sauvage, Grenoble.*, 11.
- Santini, J. (2009). *Caractérisation de l'élaboration conjointe de la compréhension conceptuelle et des performances associées : volcans et séismes au cours moyen*. Rennes 2.
- Sarrazy, B. (1995). Note de synthèse. *Revue française de pédagogie*, 112(1), 85-118.
- Savoie-Zajc, L. (2000). La recherche qualitative/interprétative en éducation. *Introduction à la recherche en éducation*, 2, 171-198.

- Schmidt, H. J. (1991). A label as a hidden persuader : chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education*, 13(4), 459-471.
- Schmidt, H. J., & Chemie, F. (1995). Applying the concept of conjugation to the Bronsted theory of acid-base reactions by senior high school students from Germany. *International Journal of Science Education*, 17(6), 733-741.
- Schon, D. (1983). *The reflective practitioner*. London : Temple Smith.
- Schubauer Leoni, M. L. (1986). Le contrat didactique : un cadre interprétatif pour comprendre les savoirs manifestés par les élèves en mathématique. *European Journal of Psychology of Education*, 1(2), 139-153.
- Schubauer Leoni, M. L. (1996). Etude du contrat didactique pour des élèves en difficulté en mathématiques. *Au-delà des didactiques, le didactique*. Bruxelles : De Boeck Université, 159-189.
- Schubauer Leoni, M. L. (2000). Comprendre l'éducation depuis la psychologie en passant par une approche de didactique comparée. *Carrefours de l'éducation*(10), 64-93.
- Schubauer Leoni, M. L. (2008). La construction de la référence dans l'action conjointe professeur-élève. *Co-construire des savoirs : les métiers de l'intervention dans les APSA*, 67-85.
- Schubauer Leoni, M. L., & Leutenegger, F. (2002). Expliquer et comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire. *Raisons éducatives*, 227-251.
- Schubauer Leoni, M. L., Leutenegger, F., Ligozat, F., & Flückiger, A. (2007). Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves : les phénomènes didactiques qu'il peut/doit traiter. *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*, 51-91.
- Schubauer Leoni, M. L., & Ntamakiliro, L. (1994). La construction de réponses à des problèmes impossibles. *Revue des Sciences de l'Education*, 20(1), 87-113.
- Schubauer-Leoni, M. L., & Leutenegger, F. (2002). *Expliquer et comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire* : De Boeck Supérieur.
- Schwab, J. J. (1962). The concept of the structure of a discipline. *Educational record*, 43(3), 197-205.
- Schwab, J. J. (1963). *Biology Teacher's Handbook : Biological Sciences Curriculum Study*: John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Seck, M. (2008). Analyse de la «vie» du savoir en classe de physique. Cas de l'énergie en 1re S. *Didaskalia* 33, 2008, 89 - 119.
- Sénéchal, D. (2004). Histoire des sciences. *Cours de l'université de Sherbrooke*.
- Sensevy, G. (2001). Théories de l'action et action du professeur. *Raisons éducatives*, 203-224.
- Sensevy, G. (2002). Représentations et action didactique. *L'année des sciences de l'Éducation*, 67-90.
- Sensevy, G. (2003). Des catégories pour l'analyse comparée de l'action du professeur : un essai de mise à l'épreuve. *Etude des pratiques effectives. L'approche des didactiques*, 25-46.
- Sensevy, G. (2006). L'action didactique. Éléments de théorisation. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 28(2), 205-225.
- Sensevy, G. (2006e). Esquisse d'une pragmatique didactique. *Séminaire IVDA, Lyon, 13 juin 2006*.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. *Agir ensemble : Eléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves*, 13-49.
- Sensevy, G. (2008). Le travail du professeur pour la théorie de l'action conjointe en didactique. Une activité située ? *Recherche et formation*(57), 39-50.

- Sensevy, G. (2010). Formes de l'intention didactique, collectifs, et travail documentaire. *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques.*, 147-161.
- Sensevy, G. (2011). Le sens du savoir. *Éléments pour une théorie de l'action conjointe.*
- Sensevy, G. (2012). Le jeu comme modèle de l'activité humaine et comme modèle en théorie de l'action conjointe en didactique. Quelques remarques. *Nouvelles perspectives en sciences sociales : Revue internationale de systémique complexe et d'études relationnelles*, 7(2), 105-132.
- Sensevy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble : L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* : Presses universitaires de Rennes.
- Sensevy, G., Mercier, A., & Schubauer-Leoni, M. L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur à propos de la course à 20. *Recherches en didactique des mathématiques*, 20(3), 263-304.
- Sensevy, G., & Quilio, S. (2002). Les discours du professeur. Vers une pragmatique didactique. *Revue française de pédagogie*, 47-56.
- Sensévy, G., & Santini, J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique. *Aster*, 43, 163 - 188.
- Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(1), 32-45.
- Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(1), 32-45.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching : Foundations of the new reform. *Harvard educational review*, 57(1), 1-23.
- Sørensen, S., & Linderstrøm-Lang, K. (1924). On the determination and value of  $\pi_0$  in electrometric measurement of hydrogen-ion concentration. *Comptes rendus des travaux du laboratoire Carlsberg*, 15, 1-40.
- Suchman, L. A. (1987). *Plans and situated actions : the problem of human-machine communication* : Cambridge university press.
- Tardif, M. (2007). Conclusion. Pratiques, collaboration et professionnalisation des enseignants. *Perspectives en éducation et formation*, 171-179.
- Thong, T. (1978). *Stades et concept de stade de développement de l'enfant dans la psychologie contemporaine.* (Vol. 17 Études de psychologie et de philosophie) : Librairie Philosophique, Paris, Vrin.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instruction*, 4(1), 71-87.
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. *Improving science education : The contribution of research*, 27-47.
- Tiberghien, A. (2010). Analyse didactique d'une séance d'enseignement dans l'action conjointe Professeur-Elèves : possibilité et limite d'un corpus relatif à une séance. *Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF), Université de Genève, septembre 2010*
- Tiberghien, A. (2012). Analyse d'une séance de physique en seconde : quelle continuité dans les pratiques ? *Éducation et didactique*, 6(3), 97-123.
- Tiberghien, A., Buty, C., & Le Maréchal, J.-F. (2005). *Physics teaching sequences and students' learning.* Paper presented at the Science and Technology Education at cross roads : meeting the challenges of the 21st century. The second Conference of EDIFE and the Second IOSTE Symposium in Southern Europe.

- Tiberghien, A., & Malkoun, L. (2007). Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisitions des élèves du point de vue du savoir. *Éducation et didactique*, 1(1), 29-54.
- Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., El Sawayssi, N., & Mortimer, E. F. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*, 73-98.
- Tiberghien, A., Psillos, D., & Koumaras, P. (1994). Physics instruction from epistemological and didactical bases. *Instructional Science*, 22(6), 423-444.
- Tiberghien, A., & Venturini, P. (2015). Articulation des niveaux microscopiques et mésoscopiques dans les analyses de pratiques de classe à partir de vidéos. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*(11), 53-78.
- Tiberghien, A., & Vince, J. (2005). Études de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du français contemporain*, 10, 153-176.
- Treagust, D., Duit, R., & Nieswandt, M. (2000). Sources of students' difficulties in learning chemistry. *Educación Química*, 11(2), 228-235.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Trémillon, B. (2012). *Chemistry in non-aqueous solvents*: Springer Science & Business Media.
- Trindle, C. (1984). The hierarchy of models in chemistry. *Croatica Chemica Acta*, 57(6), 1231-1245.
- Tsoumpélis, L. (2005). Aspects théoriques et méthodologiques de la didactique des sciences physiques explication et causalité dans les situations didactiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 25(2), 187-246.
- Van der Maren, J. (1995). Méthodes de recherche pour l'éducation. Montréal : Presses de l'Université de Montréal. Collection Éducation et formation.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- Van Gennep, A. (1960). *The rites of passage* (Vol. 3) : Routledge.
- Venturini, P. (2007). *L'envie d'apprendre les sciences : motivation, attitudes, rapport aux savoirs scientifiques* : Fabert.
- Venturini, P. (2007). Utilisation du rapport au savoir en didactique de la physique : un premier bilan. *Actualité de la Recherche en Education et en Formation, Strasbourg 2007*.
- Venturini, P., & Albe, V. (2002). Rapports à la physique d'étudiants issus d'un DEUG Sciences de la matière. *Dossiers des sciences de l'éducation*(8), 11-22.
- Venturini, P., & Amade-Escot, C. (2010). Analyse didactique au niveau micro d'un corpus vidéo portant sur la démarche d'investigation en physique, dans le cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique. *Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF), Université de Genève, septembre 2010*
- Venturini, P., Calmettes, B., Amade-Escot, C., & Terrisse, A. (2007). Analyse didactique des pratiques d'enseignement de la physique d'une professeure expérimentée.
- Venturini, P., & Chênerie, I. (2008). Le projet accompagné, une stratégie de formation continue intéressante pour les enseignants universitaires en France. *AIPU 2008-25e Congrès de l'Association internationale de pédagogie universitaire, Montpellier, 19-22 mai 2008*.
- Venturini, P., & Tiberghien, A. (2012). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège. *Revue française de pédagogie*, 180(3), 95-120.



- Venturini, P., & Tiberghien, A. (2012). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège. *Revue française de pédagogie*(3), 95-120.
- Venturini, P., & Tiberghien, A. (2012). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège. *Revue française de pédagogie*(3), 95-120.
- Vernant, D. (1997). *Du discours à l'action : études pragmatiques* : Presses universitaires de France.
- Walberg, H. J. (1993). Productive use of time. *Timepiece : Extending and Enhancing Learning Time*. Reston, VA : National Association of Secondary School Principals.
- Walliser, B. (1977). *Systèmes et modèles : introduction critique à l'analyse de systèmes* : Editions du Seuil.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. *Handbook of research on science teaching and learning*, 177, 210.
- Wilson, A. D., & Nicholson, J. W. (2005). *Acid-base cements : their biomedical and industrial applications* (Vol. 3) : Cambridge University Press.
- Winkin, Y. (2001). *Anthropologie de la communication : de la théorie au terrain* : De Boeck & Larcier/Seuil.
- Wittgenstein, L. (1953/2004). *Recherches philosophiques* [1953], Paris, Gallimard, 2004 : Retour.
- Wittgenstein, L. (1961). *Tractatus logico-philosophicus : suivi des Investigations philosophiques* (Vol. 109) : Librairie Gallimard.
- Yackel, E., Sfard, A., & Gravemeijer, K. (2011). *A journey in mathematics education research : insights from the work of Paul Cobb* (Vol. 48) : Springer.

# Table des illustrations

Figure 1 : évolution du pH au cours de titrage de 10 mL d'acide chorhydrique $10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$ par une solution de soude $10^{-2}\text{M}$ .....	93
Figure 2 : évolution du pH au cours de titrage de 10 mL d'acide éthanoïque $10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$ par une solution de soude $10^{-2}\text{M}$ .....	95
Figure 3 : Catégories principales d'analyse de production verbales et gestuelles permettant de caractériser les relations établies dans le cas du savoir enseigné en physique (Tiberghien & Vince, 2005, p. 163).....	105
Figure 1: évolution temporelle des descripteurs liés à l'avancée du savoir dans l'épisode 7.3 de la séance de TP1 pour P2 .....	151
Figure 2: évolution temporelle des descripteurs liés à la communication dans l'épisode 7.3 de la séance de TP1 pour P2 .....	151
Figure 3: taux de répartition des mots clés relatifs à la densité épistémique dans l'épisode 7.1 de P2.....	153
Figure 4: taux de répartition des mots clés relatifs à la densité épistémique dans l'épisode 7.2 de P2.....	154
Figure 5: taux de répartition des mots clés relatifs à la densité épistémique dans l'épisode 7.3 de P2.....	155
Figure 6: taux de répartition des mots clés relatifs à la densité épistémique dans l'épisode 7.4 de P2.....	156
Figure 7: taux de répartition des mots clés relatifs à la densité épistémique dans le jeu 7.TP1.P2 de P2.....	157
Figure 1: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 1 de la séance de cours pour P1 .....	168
Figure 2: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 1 de la séance de cours pour P1 .....	168
Figure 3: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 2 de la séance de cours pour P1 .....	174
Figure 4: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 2 de la séance de cours pour P1 .....	174
Figure 5: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 3 de la séance de cours pour P1 .....	178
Figure 6: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 3 de la séance de cours pour P1 .....	178
Figure 7: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 4 de la séance de cours pour P1 .....	182
Figure 8: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 4 de la séance de cours pour P1 .....	183

Figure 9: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 5 de la séance de cours pour P1 .....	188
Figure 10: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 5 de la séance de cours pour P1 .....	188
Figure 11: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 1 de la séance de TP pour P1 .....	195
Figure 12: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 1 de la séance de TP pour P1 .....	195
Figure 13 : allure 2 de $pH=f(VB)$ .....	196
Figure 14: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée des savoirs dans le jeu 2 de la séance de TP pour P1 .....	199
Figure 15: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 2 de la séance de TP pour P1 .....	199
Figure 16: illustration montrant l'émergence de la partie sensible de la sonde dans la solution .....	202
Figure 17: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 3 de la séance de TP pour P1 .....	205
Figure 18: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 3 de la séance de TP pour P1 .....	205
Figure 19: courbe de titrage acide fort base forte .....	207
Figure 20: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 5 de la séance de TP pour P1 .....	208
Figure 21: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 5 de la séance de TP pour P1 .....	208
Figure 22: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 6 de la séance de TP pour P1 .....	212
Figure 23: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 6 de la séance de TP pour P1 .....	212
Figure 24 : équation de titrage d'un acide fort par une base forte .....	215
Figure 25 : tableau d'avancement acide fort - base forte.....	216
Figure 26: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 7 de la séance de TP pour P1 .....	217
Figure 27: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 7 de la séance de TP pour P1 .....	217
Figure 28 : effet de la dilution sur le point d'équivalence .....	221
Figure 29 : effet de dilution sur la courbe de titrage acide fort - base forte .....	222
Figure 30: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 8 de la séance de TP pour P1 .....	223
Figure 31: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 8 de la séance de TP pour P1 .....	223

Figure 32: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans la séance de cours pour P1 .....	230
Figure 33: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans la séance de TP1 pour P1 .....	230
Figure 34: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans la séance de cours pour P1 .....	231
Figure 35: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans la séance de TP1 pour P1 .....	231
Figure 36: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 1 de la séance de TP1 pour P2 .....	245
Figure 37: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 1 de la séance de TP1 pour P2 .....	246
Figure 38: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 2 de la séance de TP1 pour P2 .....	250
Figure 39: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 2 de la séance de TP1 pour P2 .....	250
Figure 40: les 4 grandeurs dans la réaction AF BF .....	252
Figure 41: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 3 de la séance de TP1 pour P2 .....	254
Figure 42: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 3 de la séance de TP1 pour P2 .....	254
Figure 43 : courbe $pH=f(VB)$ tracée par une élève .....	257
Figure 44 : évolution du pH au cours de titrage de HCl par NaOH .....	257
Figure 45: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 5 de la séance de TP1 pour P2 .....	258
Figure 46: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 5 de la séance de TP1 pour P2 .....	258
Figure 47: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 6 de la séance de TP1 pour P2 .....	260
Figure 48: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 6 de la séance de TP1 pour P2 .....	260
Figure 49 : détermination du point d'équivalence à l'aide de la méthode des tangentes ....	262
Figure 50: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 7 de la séance de TP1 pour P2 .....	267
Figure 51: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 7 de la séance de TP1 pour P2 .....	267
Figure 52: allure de la courbe de dosage d'un acide fort par une base forte .....	268
Figure 53: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 8 de la séance de TP1 pour P2 .....	269
Figure 54: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 8 de la séance de TP1 pour P2 .....	270

Figure 55: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans le jeu 9 de la séance de TP1 pour P2 .....	272
Figure 56: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans le jeu 9 de la séance de TP1 pour P2 .....	272
Figure 57: évolution des descripteurs en lien avec l'avancée du savoir dans la séance de TP1 pour P2 .....	274
Figure 58: évolution des descripteurs en lien avec la communication dans la séance de TP1 pour P2 .....	274
Figure 59: extrait de synopsis de la séance de TP1 du P1 relatif au jeu 7.TP1.P1 .....	285
Figure 60: extrait de synopsis de la séance de TP1 du P2 relatif au jeu 7.TP1.P2 .....	285
Figure 61: Pourcentage de la durée du jeu où les modalités correspondantes dans les descripteurs communication sont constatées dans le Jeu 7.TP1.P1 .....	287
Figure 62: Pourcentage de la durée du jeu où les modalités correspondantes dans les descripteurs communication sont constatées dans le Jeu 7.TP1.P2 .....	287
Figure 63: extrait de synopsis de la séance de TP1 du P1 relatif au jeu 8.TP1.P1 .....	289
Figure 64: extrait de synopsis de la séance de TP1 du P2 relatif au jeu 9.TP1.P2 .....	289
Figure 65: Pourcentage de la durée du jeu où les modalités correspondantes dans les descripteurs communication sont constatées dans le Jeu 8.TP1.P1 .....	291
Figure 66: Pourcentage de la durée du jeu où les modalités correspondantes dans les descripteurs communication sont constatées dans le Jeu 9.TP1.P2 .....	291

# Table des matières

Dédicaces.....	3
Remerciements.....	4
Sommaire.....	6
Introduction.....	9
Chapitre 1 - Action didactique : analyse et compréhension .....	12
I - Les pratiques enseignantes .....	12
I.1 - Analyse des pratiques enseignantes : une diversité d’approches.....	13
I.1.1 - Modèle processus – produit .....	13
I.1.2 - Modèle cognitiviste .....	14
I.1.3 - Modèle situationniste.....	14
I.1.4 - Vers un modèle fédérateur.....	15
I.2 - Analyse des pratiques enseignantes : intérêt et objectifs.....	16
I.3 - En guise de conclusion : de l’analyse des pratiques à l’analyse de l’action didactique.....	17
II - Théorie de l’action conjointe en didactique (TACD) .....	17
II.1 - Situation didactique .....	18
II.2 - Institution .....	19
II.3 - Action didactique .....	21
II.3.1 - Action didactique conjointe.....	22
II.3.2 - Transactions didactiques .....	23
II.3.3 - Action didactique : continuités et discontinuités.....	25
II.3.4 - L’action didactique : jeu et enjeux .....	27
II.3.4.1 Le jeu en tant que modèle caractérisant l’action.....	27
II.3.4.2 Le jeu didactique : caractéristiques principales .....	28
II.4 - En guise de conclusion : vers une modélisation de l’action didactique.....	30
III - Vers une description de l’action didactique .....	30
III.1 - Grammaire de l’action didactique.....	31
III.2 - Doublet contrat – milieu .....	31
III.2.1 - Contrat didactique.....	31
III.2.2 - Le milieu .....	35
III.2.3 - Contrat – milieu .....	37
III.3 - Triplet de genèses .....	39
III.3.1 - La mésogénèse .....	39
III.3.2 - La chronogénèse.....	40
III.3.3 - La topogénèse .....	41
III.3.4 - En guise de conclusion : un triplet solidaire.....	42
III.4 - Quadruplet de types de stratégies professorales .....	42
III.4.1 - Définition du jeu .....	43
III.4.2 - Dévolution du jeu .....	44
III.4.3 - Régulation du jeu.....	44
III.4.4 - Institutionnalisation du jeu.....	45
III.5 - En guise de conclusion : de l’analyse de l’action à l’analyse de statut de la référence commune.....	46
IV - Vers une compréhension de l’action didactique .....	47

IV.1 -	Difficulté de comprendre l'action didactique .....	47
IV.2 -	La Construction du jeu .....	48
IV.3 -	Déterminants de l'action didactique.....	49
IV.3.1 -	Action adressée .....	51
IV.3.2 -	Rapport à un objet de savoir .....	52
IV.3.3 -	Epistémologie pratique.....	55
IV.3.3.1	Epistémologie pratique : une multitude définitions .....	55
IV.3.3.2	Epistémologie pratique identifiée à un « potentiel » des théories implicites.....	57
V -	Etude de travaux antérieurs relatifs à la TACD .....	58
V.1 -	Etude de Venturini & Tiberghien (2012) .....	59
V.2 -	Etude de Tiberghien & Malkoun (2007) .....	60
V.3 -	Etude de Seck (2008) .....	60
V.4 -	Etude de Cross (2010) .....	61
V.5 -	Etude d'Hervé et al. (2013) .....	62
V.6 -	En guise de conclusion .....	63
Chapitre 2 - La variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base : étude épistémologique, didactique et institutionnelle.....		64
I -	Les réactions acido-basiques : étude épistémologique .....	64
I.1 -	Abrégé historique des notions d'acide et de base .....	65
I.1.1 -	Les acides et les bases : point de vue alchimiste .....	65
I.1.2 -	Les acides et les bases : évolution d'une chimie nouvelle .....	66
I.1.2.1	Théorie d'Arrhenius (1859 – 1927) .....	67
I.1.2.2	Théorie de Bronsted-Lowry .....	68
I.1.2.2.1	Les fondements de la théorie de Bronsted – Lowry.....	68
I.1.2.2.2	Equivalence de la théorie d'Arrhenius et de Bronsted en solution aqueuse ...	70
I.1.2.3	Théorie de Lewis .....	71
I.1.2.4	Autres théories des acides et des bases : Oxoacide – solvoacide .....	72
I.1.2.5	Acidité selon Franklin-Gutman (solvoacidité) .....	72
I.1.2.6	Théorie de Lux – Flod .....	73
I.1.2.7	Vers une théorie plus générale : la théorie d'Usanovich .....	74
I.1.2.8	Théorie des acides et des bases dures et molles (Hard and Soft Acid and Base : théorie HSAB) .....	74
I.1.3 -	Conclusion .....	75
I.2 -	Mesure de l'acidité d'une solution en milieu aqueux .....	76
I.2.1 -	Aperçu historique .....	76
I.2.1.1	Les expressions du pH introduites par Sorensen .....	77
I.2.1.2	L'activité d'un ion .....	78
I.2.2 -	Méthode de mesure du pH.....	80
I.2.2.1	Méthodes électrochimiques .....	80
I.2.2.1.1	L'électrode à hydrogène .....	80
I.2.2.1.2	Mesure potentiométrique .....	80
I.2.3 -	Méthodes optiques.....	82
I.2.3.1	Colorimétrie .....	82
I.2.3.2	Papiers pH.....	82
I.2.3.3	Photométrie.....	83
I.3 -	pH des solutions acides et basiques en milieu aqueux.....	83
I.3.1 -	Equilibre acido-basique .....	83
I.3.2 -	Dissociation de l'eau pure.....	84
I.3.3 -	pH d'une solution d'acide fort .....	85

I.3.4 -	pH d'une solution de base forte .....	85
I.3.5 -	pH d'une solution d'acide faible .....	86
I.3.6 -	pH d'une solution de base faible .....	87
I.4 -	Les titrages acidobasiques .....	87
I.4.1 -	Généralités sur les titrages acido-basiques.....	88
I.4.2 -	Indicateurs colorés de pH .....	90
I.4.3 -	Détermination du point d'équivalence .....	91
I.4.3.1	Méthode colorimétrique .....	91
I.4.3.2	Méthode des tangentes.....	91
I.4.3.3	Méthode de Gran .....	92
I.4.3.4	La méthode de la dérivée .....	92
I.4.4 -	Solutions tampons .....	92
I.4.5 -	Courbes de titrage acido-basique .....	92
I.4.5.1	Titration d'un acide fort par une base forte .....	93
I.4.5.2	Titration d'un acide faible par une base forte .....	94
I.4.5.3	Titration d'une base faible par un acide fort .....	96
I.5 -	En guise de conclusion .....	97
II -	Variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base : étude didactique.....	98
II.1 -	Revue de travaux sur les difficultés des élèves lors de l'apprentissage de titrage acido-basique .....	98
II.1.1 -	Equation de réaction d'un titrage acide – base .....	99
II.1.2 -	pH des solutions acides et basiques dans l'eau .....	99
II.1.3 -	Neutralisation dans un titrage .....	100
II.1.4 -	Evolution du pH au cours d'un titrage acido-basique : courbes de $\text{pH}=\text{f}(\text{V})$ .....	100
II.1.5 -	Indicateurs colorés .....	101
II.1.6 -	En guise de conclusion.....	101
II.2 -	Difficultés d'enseignement des acides et des bases .....	102
II.3 -	Relations entre données empiriques, représentations graphiques, symboliques et contenus théoriques .....	103
II.4 -	En guise de conclusion .....	105
III -	Variation du pH au cours d'une réaction entre un acide et une base : étude institutionnelle .....	107
III.1 -	Système éducatif tunisien .....	107
III.2 -	Attentes institutionnelles relatives à l'enseignement des sciences physiques et chimiques .....	108
III.3 -	Analyse du programme officiel et du contenu à enseigner .....	109
III.3.1 -	La structuration des programmes.....	110
III.3.2 -	Le contenu à enseigner .....	111
III.3.2.1	Le pH dans l'enseignement de chimie au secondaire .....	111
III.3.2.2	Les acides et les bases en classe de deuxième année .....	111
III.3.2.3	Les acides et les bases en classe de troisième année scientifique .....	113
III.3.2.4	Les acides et les bases en classe de quatrième année scientifique .....	113
III.3.2.4.1	Les contenus du programme .....	113
III.3.2.4.2	Mise en œuvre dans le manuel officiel .....	115
III.4 -	En guise de conclusion .....	117
Chapitre 3 -	Problématique et questions de recherche .....	120
Chapitre 4 -	Cadre méthodologique .....	124
I -	Principes généraux .....	124



II - Enseignants observés, classes et établissements concernés .....	126
III - Recueil des données.....	127
III.1 - Les séances d'enseignement.....	127
III.2 - Les entretiens avec les enseignants .....	129
III.2.1 - L'entretien ante protocole.....	130
III.2.2 - L'entretien ante séance .....	131
III.2.3 - L'entretien post séance .....	131
III.2.4 - En résumé.....	131
III.2.4.1 Les données collectées pour P1 :.....	131
III.2.4.2 Les données collectées pour P2.....	132
IV - Réduction des données .....	132
IV.1 - Transcription .....	133
IV.2 - Structuration de la séance : granularité de plus en plus fine .....	134
IV.2.1 - Une variété d'échelles temporelles .....	134
IV.2.2 - Structuration en jeux (niveau N et épisodes de niveau N-1).....	134
IV.2.3 - Structuration thématique : savoir reconstruit .....	135
IV.3 - Construction du synopsis .....	135
V - Traitement des données .....	136
V.1 - Les données traitées .....	136
V.1.1 - Les données traitées relatives au professeur P1.....	137
V.1.1.1 Les données relatives à la séance de cours de P1 intitulée « Variation du pH au cours de la réaction entre un monoacide et une monobase » .....	137
V.1.1.2 Analyse de la séance de travaux pratiques TP1 intitulée « dosage d'un acide fort par une base forte » pour le professeur P1 .....	138
V.1.2 - Les données traitées relatives à P2.....	139
V.2 - Méthode de traitement des données .....	140
V.2.1 - Principes généraux du traitement des données .....	140
V.2.2 - Analyse « manuelle » des jeux et des épisodes N-1.....	141
V.2.2.1 Définitions « opérationnelle » des descripteurs liées au volet « avancée du savoir ».....	141
V.2.2.2 Opérationnalisation des descripteurs en lien au volet « stratégies professorales ».....	142
V.2.2.3 Opérationnalisation des descripteurs en lien au volet « échanges communicationnels » .....	143
V.2.3 - L'apport du logiciel Transana dans l'analyse.....	143
V.2.3.1 Principe de fonctionnement de Transana .....	144
V.2.4 - Illustration du traitement des données .....	145
V.2.4.1 Présentation du jeu .....	145
V.2.4.2 Analyse d'un épisode de niveau N-1 : épisode 7.3 de P2.....	146
V.2.4.2.1 Transcription de l'épisode 7.3 « Formaliser le calcul de la concentration inconnue de l'acide à partir des coordonnées du point d'équivalence déterminées sur sa courbe ».....	146
V.2.4.2.2 Narration didactique de l'épisode 7.3 .....	147
V.2.4.2.3 Analyse didactique de l'épisode 7.3 .....	148
V.2.4.2.4 Résumé de l'analyse de l'épisode 7.3 .....	151
V.2.4.3 Analyse du jeu de niveau N (jeu 7).....	152
VI - Résumé de la méthodologie.....	158
VI.1 - Données analysées .....	158
VI.2 - Traitement des données .....	158
Chapitre 5 - Résultats et discussion .....	159

I - Résultats .....	159
I.1 - Analyse de l'action conjointe pour le professeur P1 .....	160
I.1.1 - Analyse de la séance de cours intitulée « Variation du pH au cours de la réaction entre un monoacide et une monobase » pour le professeur P1 .....	160
I.1.1.1 Synopsis de la séance de cours pour le professeur P1 .....	160
I.1.1.2 Analyse de jeux didactiques de la séance du cours pour le professeur P1 .....	163
I.1.1.2.1 Analyse du Jeu 1 : « Rappeler les définitions de dosage et équivalence » .....	163
I.1.1.2.1.1 Narration didactique .....	163
I.1.1.2.1.2 Analyse didactique .....	163
I.1.1.2.1.3 En résumé .....	168
I.1.1.2.2 Analyse du jeu 2 : « Indiquer les caractéristiques d'un indicateur coloré et les associer au choix d'un indicateur coloré pour un dosage » .....	169
I.1.1.2.2.1 Narration didactique .....	169
I.1.1.2.2.2 Analyse didactique .....	169
I.1.1.2.2.3 En résumé .....	174
I.1.1.2.3 Analyse du jeu 3 : « Identifier les éléments matériels et réactionnels nécessaires à la réalisation d'un dosage acidobasique » .....	175
I.1.1.2.3.1 Narration didactique .....	175
I.1.1.2.3.2 Analyse didactique .....	175
I.1.1.2.3.3 En résumé .....	178
I.1.1.2.4 Analyse du jeu 4 : « Conclure sur les caractères rapide et exothermique d'un dosage d'acide fort par une base forte à partir d'une expérience réalisée par P2 » .....	178
I.1.1.2.4.1 Narration didactique .....	178
I.1.1.2.4.2 Analyse didactique .....	179
I.1.1.2.4.3 En résumé .....	182
I.1.1.2.5 Analyse du jeu 5 : « Conclure sur les caractères rapide, total et exothermique de la réaction entre un acide fort et une base forte à partir des données expérimentales et de la constante d'équilibre » .....	183
I.1.1.2.5.1 Narration didactique .....	183
I.1.1.2.5.2 Analyse didactique .....	183
I.1.1.2.5.3 En résumé .....	188
I.1.2 - Analyse de la séance de travaux pratiques TP1 de P1, intitulée « Variation du pH d'une solution d'un monoacide fort par ajout progressif d'une solution de monobase forte » .....	189
I.1.2.1 Synopsis de la séance de TP1 du professeur P1 .....	189
I.1.2.2 Analyse de jeux didactiques de la séance de TP1 pour le professeur P1 .....	192
I.1.2.2.1 Analyse du jeu 1 : « Se rappeler les nécessités matérielles et réactionnelles pour un dosage entre un acide fort et une base forte » .....	192
I.1.2.2.1.1 Narration didactique .....	192
I.1.2.2.1.2 Analyse didactique .....	192
I.1.2.2.1.3 En résumé .....	195
I.1.2.2.2 Analyse du jeu 2 : « Proposer l'allure de la courbe $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_\text{B})$ et discuter collectivement les propriétés » .....	196
I.1.2.2.2.1 Narration didactique .....	196
I.1.2.2.2.2 Analyse didactique .....	196
I.1.2.2.2.3 En résumé .....	199
I.1.2.2.3 Analyse du jeu 3 : « Se rendre compte du mode opératoire à utiliser pour le dosage » .....	199
I.1.2.2.3.1 Narration didactique .....	199
I.1.2.2.3.2 Analyse didactique .....	200
I.1.2.2.3.3 En résumé .....	205

I.1.2.2.4	Jeu 4 : « Réaliser l'expérience du dosage de HCl par NaOH » .....	205
I.1.2.2.5	Analyse du jeu 5 : « Tracer la courbe de la variation de pH de la solution en fonction du volume de NaOH ajouté » .....	206
I.1.2.2.5.1	Narration didactique.....	206
I.1.2.2.5.2	Analyse didactique.....	206
I.1.2.2.5.3	En résumé .....	208
I.1.2.2.6	Analyse du jeu 6 : « Suivre l'interprétation de la courbe de dosage » .....	208
I.1.2.2.6.1	Narration didactique.....	208
I.1.2.2.6.2	Analyse didactique.....	208
I.1.2.2.6.3	En résumé .....	212
I.1.2.2.7	Analyse du jeu 7 : « Exploiter les données expérimentales et théoriques associées au point d'équivalence » .....	212
I.1.2.2.7.1	Narration didactique.....	212
I.1.2.2.7.2	Analyse didactique.....	213
I.1.2.2.7.3	En résumé .....	217
I.1.2.2.8	Analyse du jeu 8 : « Etudier l'effet de la dilution sur les courbes de dosage ».....	218
I.1.2.2.8.1	Narration didactique.....	218
I.1.2.2.8.2	Analyse didactique.....	218
I.1.2.2.8.3	En résumé .....	223
I.1.3 -	En résumé : le récapitulatif des analyses précédentes .....	224
I.1.4 -	Caractéristiques des pratiques du professeur P1.....	232
I.1.4.1	Le professeur construit seul le savoir.....	232
I.1.4.2	Le professeur expose rapidement les savoirs, tant sur un axe logique que quand il s'agit de les approfondir.....	234
I.1.4.3	Le professeur assure une avancée de savoir sans trop de discontinuité .....	234
I.1.4.4	Le statut des savoirs scientifiques reste ambigu dans la classe .....	236
I.1.4.5	Le professeur n'introduit dans le milieu que les objets qui font avancer les savoirs.....	237
I.1.4.6	Le professeur ne fait pas apparaître ses objectifs aux élèves .....	237
I.1.4.7	Le langage quotidien est absent et une place est faite au seul point de vue scientifique .....	237
I.2 -	Analyse de l'action de la professeure P2 .....	239
I.2.1 -	Analyse de la séance de travaux pratiques TP1 intitulée « dosage d'un acide fort par une base forte » .....	239
I.2.1.1	Synopsis de la séance de TP1 pour P2 .....	239
I.2.1.2	Analyse de jeux didactiques de la séance de TP1 pour la professeure P2 .....	242
I.2.1.2.1	Analyse du jeu 1 : « Se rappeler des définitions de l'acide et de la base selon les théories d'Arrhenius et Bronsted et du pH-mètre et des papiers pH comme méthodes pour déterminer le pH d'une solution » .....	242
I.2.1.2.1.1	Narration didactique.....	242
I.2.1.2.1.2	Analyse didactique.....	242
I.2.1.2.1.3	En résumé .....	245
I.2.1.2.2	Analyse du jeu 2 : « Se rendre compte des entités chimiques présentes dans le milieu réactionnel lors de la réaction entre HCl et NaOH à partir des équations d'ionisation de HCl et NaOH » .....	246
I.2.1.2.2.1	Narration didactique.....	246
I.2.1.2.2.2	Analyse didactique.....	247
I.2.1.2.2.3	En résumé .....	250
I.2.1.2.3	Analyse du jeu 3 : « Prendre connaissance de mode opératoire et des grandeurs en jeu pour le dosage HCl par NaOH » .....	250
I.2.1.2.3.1	Narration didactique.....	250

I.2.1.2.3.2	Analyse didactique.....	251
I.2.1.2.3.3	En résumé .....	254
I.2.1.2.4	Jeu 4 : Réaliser l'expérience du dosage de HCl par NaOH.....	254
I.2.1.2.5	Analyse du jeu 5 : « Tracer la courbe de variation $\text{pH}=\text{f}(\text{V}_B)$ à partir des données expérimentales » .....	255
I.2.1.2.5.1	Narration didactique.....	255
I.2.1.2.5.2	Analyse didactique.....	256
I.2.1.2.5.3	En résumé .....	258
I.2.1.2.6	Analyse du jeu 6 : « Suivre l'interprétation de la courbe de dosage » .....	258
I.2.1.2.6.1	Narration didactique.....	258
I.2.1.2.6.2	Analyse didactique.....	259
I.2.1.2.6.3	En résumé .....	260
I.2.1.2.7	Analyse du jeu 7 : « Calculer la concentration inconnue de l'acide fort et déduire la nature de la solution à l'équivalence à partir de la détermination des coordonnées du point d'équivalence » .....	261
I.2.1.2.7.1	Narration didactique.....	261
I.2.1.2.7.2	Analyse didactique.....	261
I.2.1.2.7.3	En résumé .....	267
I.2.1.2.8	Analyse du jeu 8 : « Réaliser que l'interprétation précédente AF BF s'applique au cas d'un dosage d'une base forte par un acide fort » .....	267
I.2.1.2.8.1	Narration didactique.....	267
I.2.1.2.8.2	Analyse didactique.....	268
I.2.1.2.8.3	En résumé .....	269
I.2.1.2.9	Analyse du jeu 9 : « Percevoir l'effet de la dilution sur les courbes de dosage ».....	270
I.2.1.2.9.1	Narration didactique.....	270
I.2.1.2.9.2	Analyse didactique.....	270
I.2.1.2.9.3	En résumé .....	272
I.2.2 -	En résumé : le récapitulatif des analyses précédentes .....	272
I.2.3 -	Caractéristiques des pratiques observées de la professeure P2 .....	277
I.2.3.1	La professeure fait avancer le savoir rapidement .....	277
I.2.3.2	La professeure est guidée par la fiche TP pour faire avancer les savoirs .....	277
I.2.3.3	La professeure P2 donne une visibilité réduite des enjeux des activités proposées.....	278
I.2.3.4	La professeure maintient les élèves dans des échanges de nature autoritative.....	278
I.2.3.5	La professeure expose linéairement les savoirs avec une densité épistémique faible.....	278
I.2.3.6	La professeure fait avancer les savoirs fréquemment avec des discontinuités ..	279
I.3 -	Comparaison des caractéristiques de l'action de deux enseignants.....	283
I.3.1 -	Les caractéristiques principales : éléments génériques et spécifiques .....	283
I.3.2 -	Comparaison des caractéristiques de deux enseignants dans deux thèmes identiques.....	284
I.3.2.1	Comparaison de l'action didactique de deux professeurs au cours du thème « le point d'équivalence » .....	284
I.3.2.1.1	Présentation du thème « le point d'équivalence » .....	284
I.3.2.1.2	Durées des différentes modalités des descripteurs en lien avec la communication.....	285
I.3.2.1.3	Prépondérance de mots clés relatifs aux descripteurs en lien avec la communication.....	286
I.3.2.1.4	Les continuités et les discontinuités aperçues au cours de l'avancée des savoirs dans le thème « le point d'équivalence » pour les deux enseignants.....	288

I.3.2.2	Comparaison de l'action didactique de deux professeurs au cours du thème « effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage ».....	289
I.3.2.2.1	Présentation du thème « effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage ».....	289
I.3.2.2.2	Durée des différentes modalités des descripteurs en lien avec la communication.....	289
I.3.2.2.3	Les continuités et les discontinuités perçues au cours de l'avancée des savoirs dans le thème « effet de la dilution sur l'allure de la courbe de dosage » pour les deux enseignants .....	292
II -	Compréhension de l'action conjointe et discussion .....	292
II.1 -	Compréhension de l'action didactique : les déterminants de l'action .....	293
II.1.1 -	Un point de vue institutionnel de type « action adressée » .....	293
II.1.2 -	Un point de vue sur l'apprentissage des sciences par les élèves .....	295
II.1.3 -	Un point de vue épistémologique.....	295
II.1.3.1	Un point de vue sur la nature des savoirs : les savoirs scientifiques ne se discutent pas.....	295
II.1.3.2	Un point de vue sur la manière dont les deux professeurs connaissent l'objet de savoir.....	297
II.1.3.2.1	Pour P1 : la réaction du dosage d'un acide par une base n'est possible qu'avec des réactions exothermiques et rapides.....	297
II.1.3.2.2	Pour P2 : la précision que devait avoir l'allure de la courbe du dosage au début de l'expérience n'est pas importante .....	298
II.1.4 -	En résumé.....	299
II.2 -	Discussion : approche réflexive sur l'étude .....	299
II.2.1 -	Approche réflexive sur les résultats de l'étude.....	300
II.2.2 -	Approche réflexive sur le cadre théorique.....	301
II.2.3 -	Approche réflexive sur la méthodologie.....	301
Chapitre 6 -	Conclusion générale.....	303
I -	Conclusion .....	303
II -	Perspectives.....	306
Bibliographie.....		307
Table des illustrations.....		321
Table des matières.....		325



## **Analyse de l'action didactique, de sa continuité et de ses déterminants. Cas de l'enseignement de titrage acide – base en classes de terminales tunisiennes**

### **Résumé**

Notre étude s'inscrit dans le courant de réforme du système éducatif qui affecte la société tunisienne. Elle s'inscrit également dans le courant des analyses des pratiques effectives à des fins compréhensives et celui de la didactique comparée. Elle vise à analyser et comprendre les pratiques ordinaires d'enseignement de la chimie dans deux classes terminales tunisiennes lors de l'enseignement de la variation du pH au cours de la réaction entre un acide et une base. Egalement, elle se focalise sur les continuités et les discontinuités dans l'avancée des savoirs, entre différents registres sémiotiques, entre champ empirique et champ théorique, entre niveaux microscopique et macroscopique. Sur le plan théorique, nous avons combiné des descripteurs empruntés à la théorie de l'action conjointe en didactique et d'autres descripteurs spécifiques des savoirs concernés. Nous avons filmé dans leurs classes deux enseignants l'un expérimenté, et l'autre est quasi-novice dans l'enseignement de ce niveau. Les vidéos ont été retranscrites, structurées, puis analysées. Ces analyses ont permis d'établir que les enseignants observés construisent seuls les savoirs dans la classe et les exposent linéairement, seul l'enseignant expérimenté y revenant dessus pour les approfondir. Par ailleurs, l'action didactique de l'enseignant expérimenté se caractérise par la continuité dans l'avancée du savoir. A l'inverse, l'enseignante novice crée à son insu une multitude de discontinuités dans cette avancée. Pour finir, nous avons inférés certains des déterminants de l'action. Ainsi, l'action des enseignants peut se comprendre en référence à l'institution « classe de terminales » dans laquelle ils enseignent. Elle peut également se comprendre au regard d'un point de vue sur l'apprentissage selon lequel les élèves apprendraient à partir d'un exposé clair, logique et cohérent des savoirs et d'un point de vue sur les savoirs scientifiques selon lequel ces derniers ne se discuteraient pas. Enfin, le rapport qu'ils entretiennent avec l'objet de savoir « dosage AF BF » ne serait pas toujours conforme au rapport de la communauté scientifique à cet objet. Ces éléments pourraient être pris en compte dans la formation des enseignants.

### **Mots clés :**

Didactique de la chimie ; action conjointe ; continuité des savoirs ; titrage acide base ; déterminants de l'action