



HAL
open science

L'impact des contenus d'enseignement sur les adolescents : l'enseignement de l'atome en collège et lycée : vers une didactique instrumentale

Marion Dubosq

► **To cite this version:**

Marion Dubosq. L'impact des contenus d'enseignement sur les adolescents : l'enseignement de l'atome en collège et lycée : vers une didactique instrumentale. Education. Université de Lyon, 2017. Français. NNT : 2017LYSE1182 . tel-01795543

HAL Id: tel-01795543

<https://theses.hal.science/tel-01795543>

Submitted on 18 May 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.



N°d'ordre NNT :
2017LYSE1182

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON
opérée au sein de
l'Université Claude Bernard Lyon 1

Ecole Doctorale N° accréditation ED 485
(EPIC)

Spécialité de doctorat : SCIENCES DE L'ÉDUCATION
Discipline : DIDACTIQUE DES SCIENCES PHYSIQUES

Soutenue publiquement le 27 septembre 2017, par :
MARION DUBOSQ

Titre de la thèse
L'impact des contenus d'enseignement
sur les adolescents : l'enseignement de
l'atome en collège et lycée. Vers une
didactique instrumentale.

Devant le jury composé de :

Poplimont, Christine Professeur, Université d'Aix Marseille Présidente

Poplimont, Christine Professeur, Université d'Aix Marseille, Rapporteur
Snauwaert Philippe Professeur, Université de Namur, Rapporteur
Munier Valérie Maitresse de Conférences HDR, Université de Montpellier Examinatrice

Mougniotte, Alain Professeur, Université Lyon 1, Directeur de thèse
Caumeil, Jean Guy Maître de conférences, Université Lyon 1, Co-directeur de thèse

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

Président de l'Université

M. le Professeur Frédéric FLEURY

Président du Conseil Académique

M. le Professeur Hamda BEN HADID

Vice-président du Conseil d'Administration

M. le Professeur Didier REVEL

Vice-président du Conseil Formation et Vie Universitaire

M. le Professeur Philippe CHEVALIER

Vice-président de la Commission Recherche

M. Fabrice VALLÉE

Directrice Générale des Services

Mme Dominique MARCHAND

COMPOSANTES SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est – Claude Bernard

Directeur : M. le Professeur G.RODE

Faculté de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud – Charles Mérieux

Directeur : Mme la Professeure C. BUFILLON

Faculté d'Odontologie

Directeur : M. le Professeur D. BOURGEOIS

Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

Directeur : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA

Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation

Directeur : M. X. PERROT

Département de formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine

Directeur : Mme la Professeure A-M. SCHOTT

COMPOSANTES ET DEPARTEMENTS DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Faculté des Sciences et Technologies

Directeur : M. F. DE MARCHI

Département Biologie

Directeur : M. le Professeur F. THEVENARD

Département Chimie Biochimie

Directeur : Mme C. FELIX

Département GEP

Directeur : M. Hassan HAMMOURI

Département Informatique

Directeur : M. le Professeur S. AKKOUCHE

Département Mathématiques

Directeur : M. le Professeur G. TOMANOV

Département Mécanique

Directeur : M. le Professeur H. BEN HADID

Département Physique

Directeur : M. le Professeur J-C PLENET

UFR Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Directeur : M. Y. VANPOULLE

Observatoire des Sciences de l'Univers de Lyon

Directeur : M. B. GUIDERDONI

Polytech Lyon

Directeur : M. le Professeur E. PERRIN

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique

Directeur : M. G. PIGNAULT

Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1

Directeur : M. le Professeur C. VITON

Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education

Directeur : M. le Professeur A. MOUGNIOTTE

Institut de Science Financière et d'Assurances

Directeur : M. N. LEBOISNE

RESUMÉ

Cette thèse est fondée sur la nécessité de répondre aux difficultés d'enseigner les sciences en prenant en compte la singularité de l'élève et en donnant du sens aux apprentissages. Aujourd'hui, la ou les didactique (s) ne réponde (nt) que partiellement à cette problématique. Pour preuve, il existe toujours une catégorie d'élèves en difficulté voire en échec scolaire. Nous proposons ici une didactique instrumentale actualisée qui propose de répondre à cette situation. Celle-ci prend appui sur la théorie instrumentale de Vygotski qui mentionne que le développement culturel tire le développement biologique, que l'élève se construit par les concepts et que le langage est un des premiers instruments psychologiques qui instrumente la pensée. Partant d'un projet interdisciplinaire en sciences physiques et éducation physique et sportive, avec comme thème le concept d'atome, nous proposons de mettre en œuvre cette nouvelle didactique, en nous appuyant sur l'analyse des conceptions de 660 élèves de la 5^{ème} à la terminale S sur l'objet considéré, en travaillant dans une Zone de Plus Proche Développement (ZPPD). L'activité maîtresse a été minutieusement choisie de façon à être adaptée et adaptable à l'ensemble des élèves, en identifiant les transformations des niveaux de savoir d'un élève, dans la cognomorphose et la cognogénèse, au cours de son apprentissage. Quatre expérimentations en collège et lycée ont été menées et ont permis de rendre compte des modes de pensée des élèves à chaque étape de l'apprentissage. Elles ont montré la pertinence de l'utilisation d'une carte conceptuelle, désignée d'étayage par Bruner, spécialement conçue et adaptée à des élèves des cycles 3 et 4 du collège et du lycée.

Cette thèse, qui utilise pour étayer ses propres conclusions, des expérimentations et des méthodes liées directement aux principes de la didactique instrumentale qu'elle veut promouvoir, en plus de sa volonté de faire progresser la recherche dans ce domaine précis, a pour vocation d'apporter une réelle utilité professionnelle pour les enseignants de sciences.

TITRE en anglais : The impact of teaching content on adolescents: the teaching of the atom in secondary school. Towards an instrumental didactic.

ABSTRACT :

This dissertation is based on the need to respond to the difficulties of teaching science by taking into account the singularity of the learner, but also by giving sense to learning. Nowadays, didactic(s) only partially respond(s) to this problem. Evidence of it is that there are always a number of learners in difficulty or even failure at school. What we suggest is an updated instrumental didactic as a response to that situation.

It is based on Vygotski's instrumental theory, which mentions that cultural development enriches biological development, and that learners construct themselves via concepts, and that language is one of the first psychological instruments that organizes human thought.

Starting from an interdisciplinary project in Physical Sciences and Physical Education, with the concept of atom as a theme, we propose to implement that new didactic, based on the analysis of the conceptions of 660 secondary school goers from 1st year to 7th year (math mention) on the object of learning, working within their Zone of proximal development (ZPD).

The main activity was carefully selected so as to be adapted and adaptable to any learner. To make it so we identified the changing levels of a student's knowledge in cognomorphosis and cognogenesis during their learning. Four experiments both in lower and higher secondary school were carried out and enabled us to account for the modes of thought of the students at each stage of the learning. They have shown the relevance of the use of a mind map, designed as a scaffolding device by Bruner, and specially designed towards learners in first and second year of lower secondary school as well as the higher secondary school.

This dissertation, which, to back up its very own conclusions, uses experiments and methods directly related to the principles of the instrumental didactic that it wishes to promote. Besides it has for vocation to promote research in that specific field, and bring a real professional usefulness to science teachers.

DISCIPLINE : Didactique des Sciences Physiques

MOTS-CLEFS : Théorie instrumentale. Lev Vygotski. Zone de plus proche développement. Etayage. Concept. Atome. Langage. Carte conceptuelle.

KEYWORDS : Instrumental theory. Lev Vygotski. Zone of proximal development. Scaffolding. Concept. Atom. Language. Concept map.

INTITULE ET ADRESSE DE L'U.F.R. OU DU LABORATOIRE :

Laboratoire ECP (Éducation Cultures Politiques) EA 4571, ISPEF, Université Lyon 2, 86 rue Pasteur 69002 Lyon

A mon père, Monsieur François Dubosq, décédé au cours de cette thèse.

REMERCIEMENTS

Je remercie particulièrement

Monsieur Alain Mougnotte pour la confiance qu'il m'a toujours témoignée : il m'a laissé toute l'autonomie souhaitée en faisant preuve de bienveillance. Je retiens les bonnes conditions de travail qu'il a pu me procurer pour réaliser ce travail.

M Jean Guy Caumeil pour m'avoir donnée envie de faire de la recherche, pour son écoute, son accompagnement et ses encouragements tout au long de ces cinq années de recherches. Ces échanges furent pour moi de vrais moments de satisfactions intellectuelles partagées.

Mme Christine Poplimont et M Philippe Snauwaert d'avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse ainsi que Mme Valérie Munier pour l'intérêt qu'elle porte à ma recherche en acceptant de faire partie de mon jury. C'est un honneur pour moi.

Monsieur Philippe Meirieu qui au début de ma carrière a su me montrer la voie vers ce cheminement de pensée et de la confiance qu'il a su m'accorder en me confiant différentes responsabilités durant les années où il fut directeur de l'IUFM.

Les enseignants en sciences physiques du lycée Edouard Herriot, les professeurs stagiaires et les anciens professeurs stagiaires devenus titulaires qui ont accepté de faire passer des questionnaires dans leur établissement.

Mesdames Elizabé et Semoun, Messieurs Metzler et Olivier, enseignants qui m'ont aidée à mener mes expérimentations dans leurs établissements scolaires respectifs ainsi que leurs chefs d'établissement qui m'ont ouvert les portes des classes avec enthousiasme.

Les élèves rencontrés au cours de ces expérimentations, sans eux rien n'aurait pu aboutir.

Monsieur Mohamed Soudani pour les entretiens qu'il a bien voulu m'accorder, les conseils qu'il m'a prodigués pour valoriser cette voie de recherche et son aide logistique à la fin de cette thèse.

Messieurs Georges Gardet, Hugues Chabot pour leur aide scientifique.

Messieurs Christian Alin, Dominique Berger pour m'avoir donné des conseils au moment de l'écriture de cette thèse.

Madame Gaëlle Arpin-Gonnet, Monsieur Jean Claude Boulu, Mme Viviane Coeurdray, Mme Valérie Lempereur de Sigoyer pour la relecture des différentes parties de cette thèse.

Monsieur Eddy Sebahi pour l'aide apportée dans la traduction en anglais du résumé.

Monsieur Robert Cantiani pour sa grande patience dans la relecture de la bibliographie.

Mademoiselle Antonine Gard, ma fille, pour son aide technique précieuse et la relecture des annexes.

Mademoiselle Marine Gard, ma fille, pour son soutien moral.

Mme Christiane Dubosq, ma mère, pour sa patience et son aide dans la logistique des vacances studieuses.

Et à toutes celles et tous ceux qui ont croisé mon chemin, plus particulièrement mes collègues de l'ESPE qui durant ces années, m'ont toujours encouragée.

TABLE DES MATIÈRES

RESUMÉ.....	3
ABSTRACT	4
REMERCIEMENTS.....	6
AVANT-PROPOS : MON PARCOURS DE RECHERCHE, MON CHEMINEMENT PERSONNEL....	14
INTRODUCTION	19
1. <i>La place des sciences dans notre société.</i>	19
2. <i>Les conséquences dans l'enseignement des sciences à l'école.</i>	19
3. <i>Ma propre analyse sur l'enseignement des sciences.</i>	20
PARTIE 1 : CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	25
Chapitre 1 : Le concept d'atome.....	25
1. <i>Un concept nécessaire dans la construction de l'individu.</i>	25
2. <i>Les difficultés rencontrées par l'élève et par l'enseignant sur ce concept.</i>	25
2.1. Les difficultés de l'élève quant à la compréhension de ce concept.....	25
2.2. Les difficultés de l'enseignant à enseigner ce concept.....	26
3. <i>L'activité de modélisation de la structure atomique de la matière chez les scientifiques.</i>	26
3.1. La notion et ses fonctions.....	27
3.2. Les catégories de modèles.....	27
3.3. L'activité de modélisation.....	28
3.3.1. Pour le scientifique.....	28
3.3.2. Pour les élèves.....	28
3.4. Un bref historique du concept.....	29
3.4.1. Les premières intuitions scientifiques.....	29
3.4.2. Leucippe de Milet et Démocrite : fondateurs de l'atomisme.....	30
3.4.3. Épicure (moins 341-270 av. J.-C.).....	31
3.4.4. L'alchimie du Moyen -Age.....	31
3.4.5. Les scientifiques des Lumières (XVIIe – XVIIIe siècle).....	31
3.4.6. Le grand retour de l'atome (XIXe et XXe siècle) : Albert Einstein, le libérateur, qui accorde toute la communauté scientifique.....	32
3.5. Les différents modèles rencontrés de l'atome.....	34
3.5.1. Le modèle de Démocrite.....	34
3.5.2. Le modèle de Dalton.....	35
3.5.3. Le modèle de Thomson.....	35
3.5.4. Le modèle planétaire de Ernest Rutherford.....	36
3.5.5. Le modèle planétaire quantique de Niels Bohr.....	37
3.5.6. Le modèle quantique (modèle de Schrödinger).....	38
3.5.7. Le modèle standard de la physique des particules.....	39
Chapitre 2 : Les programmes et les activités sur le concept d'atome.....	42
1. <i>Les programmes des classes étudiées dans notre expérimentation.</i>	42
1.1. Les programmes à l'école primaire.....	42
1.2. Les programmes de collège en vigueur en 2014 2015 au moment de notre étude.....	42
1.2.1. La classe de cinquième.....	42
1.2.2. La classe de quatrième.....	42
1.2.3. La classe de troisième.....	43
1.3. Les programmes de lycée en vigueur pendant notre étude de 2014 2015 et à ce jour année scolaire 2016 /2017.....	44
1.3.1. La classe de Seconde.....	44
1.3.2. La classe de Première S.....	45
1.3.3. La classe de Première L ou ES.....	46
1.3.4. La classe de Terminale S.....	47
1.4. Le socle commun des connaissances, de compétences et de culture en collège.....	48
1.5. Les nouveaux programmes mis en place en sept 2016.....	49
1.5.1. Le cycle 2 à l'école primaire.....	50

1.5.2. Le cycle 3 à l'école primaire et au collège.....	50
1.5.3. Le cycle 4 au collège.....	51
1.5.4. Récapitulatif: qu'est ce qui change en 2016 ?	51
2. Etude de l'ordre de présentation des concepts concernant notre objet d'étude dans les programmes de collège entre 1977 et 2016.	52
3. Les activités proposées aux élèves sur le concept d'atome.	54
3.1. Approche de niveau 1.....	55
3.2. Approche de niveau 2.....	56
3.3. Approche de niveau 3.....	57
4. L'importance du modèle.	58
PARTIE 2 : LE CADRE THÉORIQUE.	59
Chapitre 3 : la didactique et la pédagogie	59
1. Les différences.....	59
2. Postures du duo « didactique pédagogie ».....	61
2.1. Didactique et pédagogie du côté des Sciences humaines.....	61
2.2. Didactique et pédagogie du côté des Sciences de l'Éducation.....	61
2.3. Didactique et pédagogie : entités discontinues ?	62
Chapitre 4 : l'évolution des références dans les théories de l'apprentissage : de la théorie piagétienne à l'anthropologie.....	64
1. La théorie de Jean Piaget.....	64
2. La théorie de Yves Chevallard : La transposition didactique.....	66
3. La théorie des situations didactiques (TSD) de Guy Brousseau.....	67
4. La théorie anthropologique du didactique de Yves Chevallard (TAD).....	68
5. Apparition d'un dialogue entre les didactiques disciplinaires.....	69
6. La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD).....	70
7. La théorie écologique de Urie Bronfenbrenner.....	71
Chapitre 5 : le projet de recherche. Ma question de recherche	74
Chapitre 6 : les théories de développement. Mon choix : vers la théorie instrumentale de Vygotski.....	76
1. La théorie de Sigmund Freud.....	76
2. Le béhaviorisme.....	77
3. La théorie de développement de Piaget.....	78
4. Mon choix : pourquoi la théorie instrumentale de Lev Vygotski ?.....	78
4.1. 1 ^{er} argument : un développement constructiviste social.	79
4.2. 2 ^{ème} argument : La construction cognitive s'effectue (entre autres) par les concepts.....	79
4.3. 3 ^{ème} argument : une théorie qui donne, au pédagogue, des analyseurs et des outils.	80
4.4. Les ouvertures de la théorie de Vygotski.....	80
Chapitre 7 : la théorie instrumentale de Vygotski : une théorie modélisante qui apporte des analyseurs et des outils.....	82
1. Pourquoi une théorie modélisante ?.....	82
2. Un double développement : le développement culturel précède et tire le développement biologique.....	82
3. Les objets de la culture : des artefacts.....	84
3.1. Le langage.....	85
3.2. La construction par les concepts : du concept quotidien au concept scientifique.....	86
4. La Zone de Plus Proche Développement (ZPPD).....	88
4.1. Modèle 2 de la théorie instrumentale de Vygotski.....	88
4.2. La définition.....	88
4.3. Origine du terme.....	89
4.4. Le fonctionnement de la ZPPD	89
4.5. L'utilisation de la ZPPD pour le pédagogue	90
4.6. La ZPPD : un analyseur	90
4.7. Récapitulatif de notre cheminement.....	90
Chapitre 8 : trois analyseurs indissociables : la zone de proche développement, la cognogénèse et la cognomorphose.....	92

1.	<i>Vers un 3^{ème} modèle.</i>	92
2.	<i>La cognogénèse.</i>	93
2.1.	La définition.	93
2.2.	Trois modes de pensée.	93
2.2.1.	La pensée par TAS.	93
2.2.2.	La pensée par COMPLEXES.	94
2.2.3.	La pensée par CONCEPTS.	95
2.3.	L'analyseur pour le pédagogue.	95
3.	<i>La cognomorphose.</i>	96
3.1.	La définition.	96
3.2.	Le gain développemental et les activités maîtresses au sein de la ZPPD.	96
3.3.	Le Modèle de la performance assistée.	96
3.4.	Le modèle complet de la cognomorphose au cours de la cognogénèse au sein de la ZPPD.	98
3.5.	Présentation des trois zones dans la cognomorphose : ZPPD, ZLM et ZAP	99
3.6.	Les différentes étapes du développement du langage dans la ZPPD.	99
3.7.	Le sens et signification, médiateurs de la pensée et du langage.	100
3.8.	La notion d'étayage chez Bruner.	101
3.8.1.	Définition.	101
3.8.2.	Les 6 fonctions d'étayage de Bruner.	102
3.8.3.	Les phases successives de l'étayage de Bruner.	102
3.8.4.	Les interactions peuvent contribuer à l'étayage.	103
Chapitre 9 : les outils dans la médiation : les médiateurs		104
1.	<i>Définition.</i>	104
2.	<i>Les médiateurs internes.</i>	104
3.	<i>Les médiateurs externes.</i>	104
4.	<i>Leur utilisation selon Leont'Ve.</i>	104
5.	<i>Le choix d'un médiateur externe.</i>	105
5.1.	Notre objectif.	105
5.2.	Nos besoins.	106
5.3.	Le Corpus.	106
5.3.1.	La carte conceptuelle.	106
5.3.1.1.	Historique.	106
5.3.1.2.	Objectifs.	107
5.3.1.3.	Composition.	107
5.3.1.4.	Utilisation.	107
5.3.1.5.	Evolution.	108
5.3.2.	La trame conceptuelle.	108
5.3.2.1.	Historique.	108
5.3.2.2.	Objectifs.	108
5.3.2.3.	Composition.	109
5.3.2.4.	Utilisation.	109
5.3.3.	Le réseau conceptuel ou modèle conceptuel.	109
5.3.3.1.	Historique.	109
5.3.3.2.	Objectifs.	109
5.3.3.3.	Composition.	109
5.3.3.4.	Utilisation.	109
5.3.4.	La carte heuristique ou carte mentale.	110
5.3.4.1.	Historique.	110
5.3.4.2.	Objectifs.	110
5.3.4.3.	Composition.	110
5.3.4.4.	Utilisation.	110
6.	<i>Discussion sur la construction du médiateur externe parmi le corpus précité.</i>	111
7.	<i>Méthode utilisée pour la construction du médiateur externe.</i>	111
8.	<i>Présentation des cartes conceptuelles élaborées.</i>	112
8.1.	Limites de cet outil.	114
8.2.	Quelques applications.	114
9.	<i>Conclusion : vers une didactique instrumentale.</i>	115

PARTIE 3 : HYPOTHÈSES DE RECHERCHE ET DE TRAVAIL. MÉTHODOLOGIE.....116

Chapitre 10 : hypothèse de recherche, hypothèses de travail.....	116
1. <i>Hypothèse de recherche</i>	116
2. <i>1^{ère} hypothèse de travail</i>	116
3. <i>2^{ème} hypothèse de travail</i>	117
Chapitre 11 : méthodologie de la recherche.....	118
1. <i>La démarche</i>	118
2. <i>Le dispositif de recherche</i>	118
3. <i>Sélection et articulation des données à analyser au sein du dispositif global</i>	119
3.1. Un corpus principal.....	119
3.2. Un corpus secondaire.....	119
3.3. Production d'une analyse argumentée.....	120
3.4. Recueil des données.....	121
3.5. La méthode.....	122
3.5.1. Avec les enseignants.....	122
3.5.2. Avec les élèves.....	122
3.5.3. Avec les cartes conceptuelles.....	122
3.5.4. Avec le dispositif mis en place dans la classe pour les expériences 2, 3 et 4.....	123
3.6. Le processus de traitement.....	123
3.6.1. Les questionnaires.....	123
3.6.2. Les enregistrements.....	123
3.6.3. Découpages du discours : du savoir quotidien au savoir scientifique en passant par le savoir empirique.....	124

PARTIE 4 : EXPERIMENTATIONS ET ANALYSE126

Chapitre 12 : étude des conceptions de l'atome perçues par des collégiens et lycéens. Analyse de l'enquête.....	126
1. <i>La démarche</i>	126
2. <i>Présentation de l'outil de recueil des données</i>	127
2.1. La conception du questionnaire.....	127
2.2. Analyse a priori du questionnaire.....	129
3. <i>Recueil des données et analyse</i>	131
3.1. Question 1.....	132
3.2. Question 2.....	133
3.2.1. Classe de 5 ^{ème}	134
3.2.2. Classe de 4 ^{ème}	134
3.2.3. Classe de 3 ^{ème}	135
3.2.4. Classe de Seconde.....	137
3.2.5. Classe de Première et Terminale S.....	138
3.3. Question 3 :.....	141
3.3.1. Au collège.....	143
3.3.2. Au lycée.....	144
3.3.3. Les limites de cette question.....	144
3.4. Question 4.....	144
3.5. Question 5.....	145
4. <i>Conclusion : profil des types de pensée des élèves de la 5^{ème} à la terminale S</i>	146
Chapitre 13 : Création d'une activité maîtresse interdisciplinaire (EPS-SPC) sur le thème de l'atome en classe de première L.....	148
1. <i>Présentation</i>	148
2. <i>Recueil des données</i>	149
3. <i>Analyse des données</i>	150
3.1. Analyse du vocabulaire.....	150
3.2. Analyse des modèles.....	152
3.3. Analyse des schémas.....	153
4. <i>Conclusion de l'expérimentation 1</i>	153

Chapitre 14 : création d'une séquence d'enseignement interdisciplinaire (EPS-SPC) sur le thème de l'atome en classe de seconde (option danse) avec comme médiateur externe les cartes conceptuelles.....	156
1. <i>Présentation</i>	156
1.1. Repérage des concepts communs.....	157
1.2. Contenu de chaque séance.....	157
1.3. Le corpus.....	158
2. <i>Résultats et analyse</i>	158
2.1. Découpage 1 à l'échelle macroscopique.....	158
2.2. Découpage 2 à l'échelle mésoscopique.....	161
2.3. Découpage 3 à l'échelle microscopique.....	165
3. <i>Conclusion de l'expérimentation 2</i>	166
Chapitre 15 : création d'une séquence d'enseignement interdisciplinaire (EPS- SPC) sur le thème de l'atome en classe de troisième (cycle danse) avec comme médiateur externe les cartes conceptuelles.....	167
1. <i>Présentation</i>	167
1.1. Contenu de chaque séance.....	168
1.2. Le corpus.....	168
2. <i>Résultats et analyse</i>	169
2.1. Découpage 1 à l'échelle macroscopique.....	169
2.2. Découpage 2 à l'échelle mésoscopique.....	172
2.3. Découpage 3 à l'échelle microscopique.....	176
3. <i>Conclusion expérimentation 3</i>	177
Chapitre 16 : Création d'une séance de travaux dirigés en classe de troisième sur le thème de l'atome avec l'aide du médiateur externe les cartes conceptuelles.....	178
1. <i>Présentation de la séance</i>	178
1.1. Contenu de la séance.....	178
1.2. Le corpus.....	179
2. <i>Résultats et analyse</i>	179
2.1. Découpage 1 à l'échelle macroscopique et découpage 2 à l'échelle mésoscopique.....	179
2.2. Découpage 3.....	182
3. <i>Conclusion expérimentation 4</i>	183
4. <i>Synthèse de nos résultats d'expérimentation</i>	183
4.1. L'activité maîtresse et la construction du médiateur interne par les médiateurs externes....	184
4.2. Les types de pensée.....	186
PARTIE 5 : DISCUSSION ET PERSPECTIVES.....	188
Chapitre 17 : Discussion et perspectives en termes de recherche.....	188
1. <i>Vers une didactique instrumentale</i>	188
1.1. L'étude des obstacles et des conceptions alternatives.....	188
1.2. Le discours en tant qu'analyseur et outil pour faire progresser l'élève.....	191
2. <i>L'évolution de la didactique vers une didactique instrumentale</i>	193
3. <i>Nos perspectives en termes de recherche : Une évaluation dynamique et positive</i>	193
CONCLUSION ET PERSPECTIVES EN TERMES DE FORMATION	195
BIBLIOGRAPHIE	200
TABLES DES ILLUSTRATIONS	216
Table des tableaux.....	216
Table des figures	217
INDEX DES AUTEURS	219
GLOSSAIRE.....	222

La rencontre avec L. Vygotski¹

« L'homme vit de la nature, signifie : la nature est son corps avec lequel il doit maintenir un processus constant pour ne pas mourir. Dire que la vie physique et intellectuelle de l'homme est indissolublement liée à la nature ne signifie pas autre chose sinon que la nature est indissolublement liée avec elle-même, car l'homme est une partie de la nature. »² En maîtrisant la nature, nous nous maîtrisons aussi nous mêmes. « natura parendo vincitur »³

La main et l'intelligence humaines, privées des outils nécessaires et des auxiliaires, restent assez impuissantes ; inversement, ce qui renforce leur puissance, ce sont les outils et les auxiliaires offerts par la culture. « Nec manus, nisi intellectus, sibi permissus, multam valent: instrumentis et auxiliibus res perficitur »⁴

« Mais si vient le temps où l'on ne concevra plus le développement de l'esprit comme un voyage solitaire où chacun suit son propre chemin, où l'on ne vénérera plus la culture pour ses seuls trésors (la "haute" culture comme on dit) mais où l'on valorisera le fait qu'elle propose une trousse à outils composée de procédures permettant d'atteindre un niveau supérieur alors on découvrira Vygotski ».⁵ « L'apprentissage donne naissance chez l'enfant à toute une série de développements internes qui ne lui sont accessibles que dans le cadre de la communication avec l'adulte et la collaboration avec les camarades, mais qui une fois intériorisés, deviendront une conquête propre de l'enfant [...] »⁶

¹ Texte de citations correspondant au cheminement de ma thèse.

² Marx K.

³ Vygotski L.

⁴ Bacon F.

⁵ Bruner.

⁶ Vygotski L.

AVANT-PROPOS : MON PARCOURS DE RECHERCHE, MON CHEMINEMENT PERSONNEL.

La décision que j'ai prise de produire une thèse sur un sujet alliant la recherche en sciences de l'éducation et la didactique de la physique est étroitement liée à mon parcours professionnel et à son évolution singulière. De poste d'enseignante en sciences physiques en poste de professeur chargée de missions spécifiques autour des sciences, mon action professionnelle a guidé ma réflexion théorique et pratique, me conduisant aujourd'hui à produire un travail qui se veut en même temps œuvre théorique sur mon sujet de thèse et production utile aux enseignants dans leur pratique didactique et pédagogique. Trente ans de carrière dans l'enseignement des sciences physiques, trente ans de passion à expliquer les Sciences, m'incitent aujourd'hui à produire une thèse en Sciences de l'éducation. Mon travail entend reprendre le cheminement de ma pensée sur l'enseignement des Sciences au cours de toutes ces années. Six prémisses résument le cheminement de ma pensée, au travers de mon parcours personnel. Les réflexions didactiques et pédagogiques construites progressivement dans mon parcours professionnel me conduiront à formaliser le questionnement de ma thèse.

Prémisse 1 : cette thèse a pour objet, de répondre aux préoccupations du pédagogue qui souhaite mener ses élèves à la réussite scolaire et professionnelle. Le but ultime, pour tout pédagogue, dans une carrière d'enseignant, est de lutter contre l'échec scolaire et d'assurer la réussite de chacun de ses élèves.

J'ai eu la chance de débiter ma carrière dans un collège situé à la campagne, loin des tumultes de la grande ville, dans un milieu socialement hétérogène, certes, mais, où les élèves étaient, de manière évidente et quasi permanente à l'époque, respectueux de l'enseignant. Cette première expérience, qui a duré dix ans, m'a permis d'acquérir une relative assurance dans le domaine de la gestion de classe, mais également dans le domaine pédagogique. J'ai pris conscience rapidement de la difficulté à enseigner les sciences et j'ai pu relever les différents obstacles d'apprentissage rencontrés par les élèves.

Cette époque m'a fait prendre conscience que l'apport de la culture générale, et en l'espèce l'apport spécifique de la culture scientifique, était essentiel dans le cursus d'un élève et que si, la famille ne pouvait l'apporter facilement, l'École se devait de pallier ce manque. Convaincue de cette nécessité, j'ai élaboré des projets pédagogiques, pluridisciplinaires avec mes collègues. Plus tard, arrivant dans l'académie de Lyon, et nommée en collège ZEP⁷, je me suis sentie mieux outillée et mieux préparée pour mener à bien mon enseignement. Mais que veut dire mener à bien son enseignement ? Les premières difficultés surgirent rapidement. Comment promouvoir et mener à bien un bon apprentissage des sciences avec 30 élèves dans une même classe dont un bon tiers, voire plus, se trouve en échec scolaire, et maintenir la classe au même niveau qu'une classe dite « classique » ?

J'ai compris alors, que si je souhaitais mener ces élèves à la réussite, il fallait en premier lieu leur faire aimer les sciences. L'image de la chimie a été dégradée, auprès des néophytes à travers différents domaines d'activités industrielles comme les industries polluantes et

⁷ En réseau d'éducation prioritaire.

l'industrie nucléaire, principalement par les médias qui diffusent des reportages style « film catastrophe ».

Prémisse 2 : La physique est associée à des concepts trop difficiles, étayés par des calculs mathématiques compliqués ayant tendance à inquiéter les élèves. L'élève, avant même de commencer son apprentissage, a une méfiance, parfois même un rejet, dû à la représentation qu'on lui a inculquée des sciences.

Prémisse 3 : Pour finir de contextualiser cette vision, je me suis aperçue que les élèves ne pouvaient pas saisir du sens dans l'enseignement qui leur est proposé. Sens désigné par Perrenoud, qui proscrit le mot motivation souvent employé par les enseignants. Assurément, les élèves ne voient pas l'utilité d'apprendre des concepts difficiles et ne font aucun lien avec leur environnement.

Alors, différentes solutions sont venues à moi, à la fois de manière empirique due à mon expérience d'enseignante et aussi après une solide réflexion pédagogique. Une première solution pouvait se résumer dans la phrase suivante : pourquoi ne pas tenter de faire « *Aimer les Sciences* »? Notons que cette expression est souvent associée à « *rendre ludique* » une activité scientifique ou un cours et de fait, elle est souvent perçue de façon péjorative dans la communauté scientifique. Mais pour le pédagogue, c'est un catalyseur, non seulement utile mais indispensable, qui stimule l'élève à mieux s'inscrire dans un raisonnement et une démarche scientifique.

C'est ainsi promouvoir une image positive et inclusive des Sciences. J'ai alors déployé une quantité importante de dispositifs, dont certains étaient proposés par le rectorat comme les ateliers, les parcours diversifiés, les travaux croisés, devenus par la suite, itinéraires de découverte, la création d'un établissement éco responsable. L'aboutissement fut la reconnaissance de notre établissement par le PASI⁸ comme établissement innovant. Ce dernier point nous a permis de partager notre savoir-faire avec d'autres établissements de l'académie de Lyon. J'ai construit un projet par classe, pour que chaque élève se sente motivé en arrivant dans mon cours. Les élèves de mes classes ont participé à de nombreux concours comme les Exposciences et je me souviens du grand sourire des élèves en revenant avec leurs trophées. J'avais gagné une première bataille : celle de les rendre heureux en faisant des Sciences.

Ces années-là, j'ai été sollicitée par mes inspecteurs et le rectorat, qui m'ont confié le poste de professeur relais⁹ au centre de culture scientifique, technique et industrielle de Lyon. J'ai pu rencontrer des chercheurs dans tous les domaines et, à chaque projet pédagogique, j'ai pu construire des séquences d'enseignement dans mes classes avec un chercheur. Nous avons pu coproduire, mettre en œuvre et évaluer conjointement toutes nos activités.

Prémisse 4: C'est certainement, pendant cette période, que j'ai découvert l'importance de la recherche dans l'enseignement. La place de la recherche fondamentale en physique et chimie dans les cours est essentielle pour donner du sens à mon enseignement. Mais, dans le même temps, les recherches en Sciences de l'Éducation et en didactique, m'ont permis de mieux construire et de mieux vivre ces séquences d'enseignement.

Ce besoin de toujours trouver une solution aux difficultés de mes élèves m'a questionnée et c'est ainsi que j'ai pris conscience qu'il était nécessaire de prendre appui dans

⁸ Pôle Académique de Soutien à l'Innovation.

⁹ Professeur qui aide les enseignants à monter des projets pédagogiques dans leur classe.

ma pratique pédagogique sur une didactique enrichie, renouvelée en permanence, actualisée au regard des travaux de recherche de ma discipline. Cette prise de conscience a fortement orienté ma pratique et donné de nouvelles dimensions à mes évolutions professionnelles récentes.

Lorsque j'ai débuté ma carrière, je n'avais aucune formation de base quant à la didactique de ma discipline. J'ai compris en arrivant dans l'Académie de Lyon, que pendant dix ans, j'avais fait de la didactique sans le savoir, un peu comme M Jourdain faisait de la prose sans le savoir dans le Bourgeois Gentilhomme. La pédagogue que j'étais devenue, devait absolument s'emparer de la recherche et approfondir ses connaissances en didactique pour avancer dans son enseignement et dans la réussite de ses élèves.

J'ai alors pendant vingt ans, poursuivi ma carrière en me formant et en devenant formatrice à l'IUFM. J'ai demandé ma mutation en collège REP¹⁰, puis au lycée, dans un lycée qualifié de prestigieux du centre-ville, avec un public d'élèves différent du public rencontré en collège ZEP. Parallèlement, mon travail a évolué et, d'intervenante extérieure, à quart temps puis à temps partagé, je suis devenue depuis cinq ans, professeur à temps plein à l'ESPE.

J'ai pu ainsi vivre de très nombreuses situations qui m'ont demandé une adaptation permanente aux élèves qui étaient dans mes classes en fonction de leur âge, de leur niveau et de leur culture personnelle, héritée de classes sociales aux profils très différents. L'adaptation professionnelle concerne aussi mon évolution dans les établissements aux histoires et aux mémoires singulières et très identifiables, aux réputations solidement établies, dans un sens ou dans un autre, allant du collège aux élèves en difficulté qu'il faut maintenir à tout prix dans un cursus scolaire, au lycée du centre-ville attentif à ses résultats d'examens et au nombre de ses étudiants réussissant en classes préparatoires.

Il y a cinq ans, j'ai souhaité préparer un master 2 intitulé «Formation de formateurs», pour asseoir cette formation et surtout, me permettre une analyse réflexive sur mes pratiques et sur celles des autres formateurs.

Pendant toutes ces années, j'ai appris, construit mes bases et mon expérience, pour me présenter aujourd'hui comme une enseignante qui a une expertise reconnue de l'enseignement des sciences. Dans cette thèse, je me présente également comme une pédagogue. Une pédagogue qui a toujours souhaité réduire l'échec scolaire, assurer la réussite de chacun de ses élèves, qui en a fait sa priorité tout au long de sa carrière et qui poursuivra ce graal jusqu'à la fin.

Il est évident qu'aujourd'hui encore, l'enseignement des sciences reste toujours une difficulté pour les enseignants. Les problématiques développées dans mon action tout au long de ces années n'ont pas toujours trouvé des aboutissants.

Il me fallait donc trouver des points d'appui dans les recherches sur le système éducatif français, comparé à d'autres systèmes éducatifs, et ainsi pointer, les difficultés essentielles repérées dans notre système, pour proposer modestement des solutions dans ma discipline au regard de ces constats.

Prémisse 5: Mon expérience m'a amenée à réfléchir aux concepts les plus difficiles à enseigner en Sciences afin d'engendrer une réflexion particulière sur leurs constructions cognitives. Le concept d'atome, en fait partie, parmi bien d'autres. Il a souvent retenu mon attention, pour au moins deux points fondamentaux : premièrement ce concept est à mes yeux, essentiel dans la construction de l'individu. La transformation cognitive d'un individu dépend de l'appropriation de concepts et l'atome est un concept qui donne accès à l'explication de nombreux phénomènes. Deuxièmement, l'enseignement de l'atome et ses modèles, proposé très souvent par rupture épistémologique et sous forme d'activité documentaire, ne m'a jamais

¹⁰ Réseau d'Education Prioritaire.

vraiment convenue, ni convaincue quant à sa bonne appropriation. Les résultats attendus ne sont pas probants. Ma recherche décèlera que des obstacles épistémologiques de l'élève viennent quelquefois incrémenter les obstacles didactiques de l'enseignant.

Les difficultés de l'enseignement des sciences sont également observées dans plusieurs enquêtes. Elles viennent appuyer mon point de vue : l'aboutissement de l'enquête PISA, publiée en 2016 montrait des résultats stables depuis 2006 pour les élèves de 15 ans en Sciences. En revanche, l'enquête TIMSS¹¹ était nettement plus alarmante, puisqu'elle montrait une chute du niveau de nos élèves de terminale S. Il est cependant difficile de comparer ces deux résultats, puisque le premier mesure des compétences et le second, des connaissances rapportées au programme en vigueur. Mais ces deux rapports ont un point en commun, fondamental. Ils mettent tout deux l'accent sur la grande difficulté voire l'incapacité du système scolaire français, à faire progresser les élèves en difficulté. Notre enseignement semble faciliter uniquement la production d'une élite. C'est un constat très alarmant pour notre communauté éducative.

Un autre critère alarmant était avancé. Le faible pourcentage de filles, continuant après le baccalauréat, des études scientifiques, venait ponctuer et augmenter cet échec. Malgré un travail considérable des didacticiens, les solutions sont donc loin d'être trouvées.

Ces deux constats alarmants, incapacité de faire réussir nos élèves en difficulté et inégalité de traitement entre les garçons et les filles, ont en réalité, pendant toute mon activité et tous mes travaux, joué le rôle d'une ombre portée permanente sur ma réflexion. Bâtir une réflexion théorique et pratique dans une discipline qui n'aurait pas pour horizon de modifier ces situations en réalité inacceptables, conduiraient inéluctablement le didacticien et le pédagogue à ne pas assumer sa mission première. Cette mission est au beau sens du terme politique. Elle est de permettre à chaque élève d'acquérir solidement des connaissances et des compétences, de s'insérer comme un citoyen actif dans une société démocratique, avec la possibilité de trouver son épanouissement personnel et sa voie professionnelle, dans un monde en pleine mutation. Ce monde nouveau, aux évolutions extrêmement rapides, qui bouleverse le rapport au travail, qui remplace progressivement le salarié par l'auto-entrepreneur, qui inventera dans les vingt ans à venir une infinité de métiers nouveaux, suppose, si l'on veut faire face aux nouvelles réalités, une évolution forte de nos propres métiers de l'éducation.

Prémisse 6 : Mon but dans cette thèse n'est pas de rester sur les chemins battus de la didactique traditionnelle, qui a montré ses limites. Cette didactique traditionnelle s'intéresse à un élève moyen, s'adresse à un collectif classe considéré comme homogène et normé. Elle ne recherche pas la compréhension des singularités de chaque élève, leur capacité personnelle singulière à apprendre de façon différenciée. Elle ne construit pas suffisamment de pratiques pédagogiques qui tiennent compte de ces spécificités. Elle se condamne à ne pas traiter les réels problèmes rencontrés et à ne promouvoir presque mécaniquement que la réussite d'élèves venant de milieux sociaux déjà favorisés.

Je rejoins Avanzini et Mougnotte (2012) qui définissent les pédagogies personnalisées en « *une pratique destinée à promouvoir la singularité et l'universalité du potentiel de chacun*¹² ». Nous souhaitons une didactique qui prendrait en compte la singularité des élèves, leur capacité très personnelle d'acquérir connaissances et compétences, nous conduirait à d'autres voies qui transformeraient la didactique plus traditionnelle en une didactique plus

¹¹ Trends In Mathematics and Science Study.

¹² Avanzini, Mougnotte A (2012) p 123.

instrumentale pour l'enseignement des Sciences. L'objectif n'est pas de révolutionner par une initiative individuelle la didactique d'une discipline. Il est plutôt d'utiliser le travail de chaque enseignant, de chaque chercheur et le travail collectif construit à partir de théories de la didactique instrumentale, afin d'obtenir des résultats qui sont en mesure de faire réussir une très grande majorité de nos élèves.

INTRODUCTION

1. La place des sciences dans notre société.

L'accès à la science pour tous a généré des évolutions révolutionnaires qui ont ébranlé les fondements philosophiques de toute notre société contemporaine. Nos sociétés pré-industrielles, largement fondées sur des principes religieux, et sur des croyances et des vérités révélées, se sont vues confrontées à des sociétés industrielles fondées aujourd'hui sur la primauté de la communication, basées sur des connaissances scientifiques et des vérités prouvées par l'expérience scientifique.

Les progrès de la science comme ceux des communications mondiales, les images de la Terre par satellite, ainsi que la fascination des gens pour mieux comprendre leurs origines, sont venus circonscrire les échelles spatiales et temporelles. La science permet à chacun, d'expliquer le monde dans lequel il vit et de fait, permet à tous, de mieux comprendre les cultures des autres pays de la planète. Cette meilleure appropriation des cultures du monde par la diffusion rapide et facile des informations et des connaissances, favorise les rapprochements entre les hommes. Elle favorise aussi une meilleure compréhension de cultures différentes. Cette compréhension dégage progressivement aujourd'hui des principes d'universalité ressentis par des peuples venant de cultures diverses, principes universalistes auxquels nous sommes attachés.

Aujourd'hui chacun, avec son tél portable, via le net, peut accéder à la connaissance. La vitesse et la facilité donne à chaque individu l'impression d'accéder à « la » vérité scientifique ce qui bien entendu est un leurre. Si toutes les connaissances arrivent par internet, elles ne permettent pas pour autant d'obtenir *la vérité scientifique*, puisque celle-ci n'est pas figée et se situe plutôt dans un processus remis en cause à chaque instant. Mais le danger n'est-il pas de définir la construction de l'individu par une simple accumulation de connaissances et non dans sa possibilité à trouver des démarches scientifiques pour résoudre un problème et s'inscrire dans des concepts qui nous aident à nous construire intellectuellement. L'éducation Nationale se soucie de cette problématique et nous observons les répercussions sur l'enseignement des sciences.

2. Les conséquences dans l'enseignement des sciences à l'école.

Nous référençons ici quelques éléments pertinents, pour notre démarche, dans l'enseignement des sciences de la maternelle au baccalauréat.

- A l'école maternelle¹³, science et langage sont associés dans le but d'atteindre une certaine objectivité des élèves.
- A l'école élémentaire, les étapes des démarches d'investigation sont introduites ; au cycle 2, l'enseignant pose des hypothèses et l'élève réalise des expériences dans le seul but d'observer. Au cycle 3, l'élève réalise des expériences pour prouver et apporte ainsi une réponse avec une justification à une question.
- Le collège initie aux démarches d'investigation à partir du cycle 4 et les paramètres de l'expérience vont rentrer en ligne de compte. Le socle commun donne une nouvelle dimension aux sciences comme la contribution des SPC à la formation du citoyen de demain.

¹³ Références aux nouveaux programmes dans le 1er degré du 26 novembre 2015 sur la maîtrise de la langue.

- Au lycée, en seconde, les démarches d'investigation sont poursuivies. Les situations problèmes et les tâches complexes sont également étudiées, favorisant l'autonomie des élèves. Au fur et à mesure de son parcours, l'élève apprend de nouvelles techniques expérimentales. En terminale S, les épreuves du bac évaluent la démarche expérimentalement et l'argumentaire sur un écrit.

Mais que remarque-t-on ?

A l'école primaire, l'enfant est curieux et pose de nombreuses questions jusqu'en 5^{ème}. A partir de la 4^{ème}, le désir est moindre. En seconde, où une première orientation doit s'opérer, l'enseignant de Sciences Physiques ne fait plus l'unanimité. Passée la terminale S, et l'obligation de trouver une voie personnelle d'orientation après le baccalauréat, les élèves partent vers d'autres filières qui n'ont rien de scientifiques surtout pour les filles.

Le constat est là, depuis deux décennies, la désaffection des étudiants dans les filières scientifiques est ressentie et particulièrement en physique.

On peut se poser la question de ce manque de motivation, qui n'est pas du désintérêt. Il trouve essentiellement sa source dans la non compréhension du sens des apprentissages. Oui, l'École apporte des méthodes, une multitude de connaissances, mais les contenus disciplinaires, tels qu'ils sont présentés, donne-t-il un sens aux apprentissages de l'élève et permet-il de le construire ?

3. Ma propre analyse sur l'enseignement des sciences.

Les filières scientifiques ont pris peu à peu la première place, au regard notamment des filières littéraires. En lycée, le Bac S ouvre aujourd'hui presque toutes les portes pour l'enseignement supérieur. La réforme de 2008 des lycées qui devait remettre à pied d'égalité toutes les filières n'a pas changé le point de vue de la société face au bac S. La filière S est toujours autant demandée.

Ayant une expérience dans l'enseignement au collège et au lycée, celle-ci m'a permis de constater une évolution fulgurante quant aux résultats au baccalauréat. Nous sommes passés en une cinquantaine d'année d'un taux de réussite de 30% à un taux de 93%. Notre École est devenue l'École de la réussite. De même, il n'est plus question de redoublement. Tous les élèves passent au niveau supérieur en fin de seconde ou sont réorientés. Ceci n'est pas sans conséquence, les contenus des enseignements ainsi que les procédures didactiques ont changé. Mais ce que je trouve d'alarmant c'est que nous nous posons la question de l'élève dans ses études et dans ses apprentissages, mais beaucoup moins dans son devenir professionnel et son insertion.

Les initiateurs des réformes de notre institution, qui ont traversé la fin du 20^{ème} siècle et début du 21^{ème} siècle, ont défini le centre du système scolaire, soit axé autour de l'élève, soit axé autour du pôle savoir. En 1989 l'élève est placé « au centre du système éducatif », en 1995 le savoir passe « au cœur du système éducatif ». Puis les réformes de 2005 et 2016 statuent sur l'association et la complémentarité des deux volets.

Parallèlement, toute forme d'éducation ou d'enseignement est confrontée à un défi majeur, celui de faire apprendre les mêmes contenus, de faire acquérir des compétences similaires à des élèves qui sont, par nature ou compte tenu de leurs apprentissages précédents, bien différents. Au fur et à mesure de ces évolutions, apparaît le paradoxe de l'éducation moderne : L'école doit éduquer par le savoir en transmettant des connaissances dans un cadre institutionnel, réglementaire et contraignant mais également elle a pour mission de construire

un individu en développant son libre arbitre et de son esprit critique ce que Caumeil appelle l'épistémo-anthropologie. La figure de ce paradoxe apparent est l'établissement du socle commun de connaissances, de compétences et de culture. Dans l'apport de connaissances, le souci des enseignants sera toujours de donner à l'élève un raisonnement plus distancié, au travers de situations-problèmes, qu'on peut appeler l'esprit critique, qui lui permet de se forger un jugement plus personnel sur des faits, en étant capable de plus de grande réflexion et de meilleure analyse sur les situations scientifiques rencontrées. Les compétences acquises au fur et à mesure des cycles de manière programmée, favorisent l'acquisition d'un libre arbitre, qui conduit l'élève à une meilleure capacité de jugement personnel, à une réflexion qui intègre le principe de liberté personnelle dans l'acquisition progressive d'une plus grande culture scientifique que l'élève s'approprie.

Depuis la massification de l'enseignement secondaire, les enjeux de l'enseignement des sciences se sont déplacés. Il ne s'agit plus seulement de former des scientifiques, mais de fournir une culture scientifique à tout citoyen. On ne se soucie plus aujourd'hui de la seule connaissance scientifique, mais davantage de la culture scientifique. Ce qui implique que donner du sens en sciences, c'est enseigner les démarches et les contenus avec les bons outils, et placer la science dans l'intégralité de la culture humaine. La culture des savoirs scientifiques et la culture des sciences humaines ne s'opposent pas, bien au contraire, mais peuvent se côtoyer et s'interpénétrer. Toutes ces réformes impliquent sans arrêt des changements dans les pratiques des enseignants. On s'aperçoit que la préoccupation première de l'enseignant est de répondre au « *comment apprendre* ».

Au cours de mes années d'enseignement, j'ai observé un changement dans le comportement des adolescents. Ils sont eux-mêmes en pleine mutation, ils ont des nouveaux comportements dans la vie, mais aussi dans leur rapport aux savoirs scientifiques. La facilité à obtenir des réponses par internet en est un. Leur question n'est pas du même ordre que l'enseignant, ils se demandent « *pourquoi apprendre* ».

Nous observons que la plupart des pédagogies qui vont être utilisées dans ces réformes par les enseignants sont basées sur des théories du développement cognitif qui veulent répondre à la question suivante : comment l'enfant apprend. Mais plus rare, hélas, est la question du pourquoi. Il nous faut donc considérer dans les apprentissages, à la fois, le « *comment* » l'élève se développe, mais également le « *pourquoi* ». Ce « *pourquoi* » s'inscrit dans une didactique, que nous avons qualifiée dans cette thèse, de didactique instrumentale. Elle s'éloigne de la didactique traditionnelle qui ne prend pas en compte certains éléments soulevés. Cette didactique, basée sur la théorie instrumentale de Vygotski, ne met ni l'élève ni le savoir au centre du système éducatif. C'est la rencontre des deux, savoir et élève, qui est l'élément le plus pertinent et le plus déterminant pour Vygotski. C'est de cette dialectique entre le développement de l'enfant et le savoir scolaire que naît la didactique instrumentale. C'est en analysant les transformations cognitives au cours de l'acquisition d'un concept, en convoquant le concept de Zone de Plus Proche développement de Vygotski auquel nous associerons des analyseurs et des outils, que nous comprendrons mieux ce que l'École peut apporter dans la construction cognitive de l'individu. Nos propositions répondront à la notion de sens des apprentissages et permettront d'agir sur l'impact des contenus d'enseignement.

Notre recherche s'inscrivant en didactique des sciences physiques, nous avons choisi comme objet d'étude l'atome, concept choisi pour les difficultés qu'ils génèrent dans l'enseignement des sciences. Cette recherche s'appuiera sur des expérimentations scientifiques conduites dans quatre classes de niveau différent (2 classes de troisième, une classe de seconde et une classe de première L) et sur un questionnaire renseigné par 660 élèves inscrits dans des collèges et lycées de l'académie de Lyon.

Dans une première partie, nous analyserons l'avancée du modèle atomiste¹⁴ au cours du temps et les démarches adoptées par les scientifiques. Cet éclairage nous donnera des indications sur le cheminement possible de la pensée des élèves. Nous pourrions ainsi mieux comparer les approches des uns et des autres sur ce concept. Dans le même but, nous serons amenés à expliciter les différents modèles de l'atome, d'un point de vue épistémologique. Nous poursuivrons en convoquant les programmes de sciences physiques¹⁵ de la classe de 5^{ème} à la terminale S, afin de rendre compte de l'enseignement de l'atome au cours de ces différentes années d'étude, puis différencierons les types d'activités proposés aux élèves.

La deuxième partie, nous donnera un éclairage¹⁶ sur les termes didactique et pédagogie, termes employés respectivement par le chercheur et l'enseignant. Puis les termes du « *sens des apprentissages* » et « *d'impact* » introduits dans notre sujet, nous conduiront aux théories de l'apprentissage¹⁷. C'est sur cette base que nous formulerons notre question de recherche¹⁸ : En quoi les contenus d'enseignement transforment-ils la structure cognitive de l'élève ?

Les théories de l'apprentissage qui sous-tendent les didactiques actuelles (essentiellement la théorie piagétienne) ne peuvent que partiellement répondre à notre question de recherche parce qu'elles ne s'intéressent pas à l'Élève singulier, celui qui doit requérir toute notre attention. Nous aurons donc recours à une autre théorie du développement¹⁹.

Notre choix se portera sur la théorie instrumentale de Vygotski²⁰, qui se caractérise par son double développement (développement biologique et culturel) et la construction de la pensée par les concepts. Elle procure des analyseurs et des outils au pédagogue, comme la zone de plus proche développement avec la cognogénèse et la cognomorphose²¹, les objets de la culture comme le langage et les médiateurs internes et externes²². Nous procéderons à la construction d'un médiateur externe selon Bruner, en vue de consolider le médiateur interne, l'atome. Ce médiateur externe est une carte conceptuelle. Elle a été élaborée pour les classes de la 5^{ème} à la terminale S.

¹⁴ Chapitre 1.

¹⁵ Chapitre 2.

¹⁶ Chapitre 3.

¹⁷ Chapitre 4.

¹⁸ Chapitre 5.

¹⁹ Chapitre 6.

²⁰ Chapitre 7.

²¹ Chapitre 8.

²² Chapitre 9.

Nous résumons ainsi notre cadre théorique : dans les parties 1 et 2, nous avons convoqué 5 types de théories que nous avons regroupées dans le tableau ci-dessous :

Types de théories	Exemples	Auteurs
Pédagogiques.	Les programmes. Le collège unique. Les nouveaux programmes de collège (2016). Les compétences du socle commun de connaissances, de compétences et de culture (2015). Les références dans le domaine de la psychologie appliquée à l'Éducation. Les cartes conceptuelles.	Ministère de l'Éducation Nationale. Bruner, Léont'ev, Wallon Novak.
Didactiques.	La théorie de développement TSD ²³ . La transposition didactique et TAD ²⁴ . TACD ²⁵ Théorie écologique.	Piaget. Brousseau. Chevallard. Sensevy. Bronfenbrenner.
Epistémologie des sciences .	Histoire de l'atome. Les modèles de l'atome.	Cotardièrre (de La). Pullman. Radvanyi.
Instrumentale. ²⁶	Théorie du développement de l'enfant et de l'adolescent.	Vygotski.
Anthropologique.	Anthropologie des savoirs scolaires. L'épistémo-anthropologie.	Develay. Caumeil.

Tableau 1. Les différentes théories étudiées au cours de la recherche.

C'est sur cette base que nous formulerons, dans la partie 3, notre hypothèse de recherche et nos hypothèses de travail²⁷ qui résulte de la construction cognitive des élèves sur le concept d'atome et du renforcement que nous pouvons y apporter. Puis nous présenterons la méthodologie²⁸ retenue pour répondre à notre question de recherche et validerons nos hypothèses. Nous produirons enfin une analyse argumentée sur notre cheminement.

La partie 4, retracera l'analyse²⁹ à priori et à posteriori d'un questionnaire autour des conceptions de l'atome proposé à 660 élèves de la classe de 5^{ème} à la Terminale S. Ce questionnaire permettra d'étudier la construction cognitive des élèves sur le concept d'atome. Nous pourrions déterminer les types de pensée des élèves par niveau de classe sur le concept d'atome. De cette analyse, découleront quatre expérimentations auprès d'élèves de collège et

²³ Théorie des Situations Didactiques.

²⁴ Théorie Anthropologique du Didactique.

²⁵ Théorie de l'Action Conjointe en Didactique.

²⁶ Nous avons choisi de la placer à part même si elle se revendique théorie pédagogique.

²⁷ Chapitre 10.

²⁸ Chapitre 11.

²⁹ Chapitre 12.

lycée, qui permettront de répondre à nos hypothèses de travail en mesurant la construction du médiateur interne, l'atome, de chaque élève et en utilisant des médiateurs externes appropriés, principalement la carte conceptuelle.

*L'expérimentation 1*³⁰ Test auprès de première L, va permettre de repérer les difficultés autour d'une activité maîtresse et de mettre en évidence la faiblesse du médiateur interne, l'atome.

*L'expérimentation 2*³¹ auprès de seconde, aura pour objectif de circonscrire l'activité maîtresse par la mise en place d'un étayage adapté à chaque élève.

*L'expérimentation 3*³² reprendra l'expérimentation précédente en changeant de niveau de classe (en classe de 3^{ème}) dans le but de conforter les résultats précédents.

Enfin, *l'expérimentation 4*³³ validera notre médiateur externe comme étant le principal étayage de l'activité maîtresse.

Cette partie s'achèvera sur une synthèse des résultats.

Notre discussion, en partie 5, sera axée sur la pertinence du choix de notre cadre théorique et des outils et analyseurs choisis. Elle donnera lieu à la proposition d'une didactique instrumentale. Puis nous évoquerons nos perspectives en termes de recherche et des conséquences de nos résultats sur la formation des enseignants.

³⁰ Chapitre 13.

³¹ Chapitre 14.

³² Chapitre 15.

³³ Chapitre 16.

PARTIE 1 : CONTEXTE DE LA RECHERCHE.

Chapitre 1 : Le concept d'atome.

1. Un concept nécessaire dans la construction de l'individu.

Nous avons avancé que le concept d'atome était un concept difficile à enseigner mais également fondamental dans la construction de l'élève. En effet, il permet d'expliquer la matière, d'expliquer tout ce qui nous entoure et d'entrevoir les fondements scientifiques probables de notre origine. Il fait partie intégrante de nous. C'est donc un concept nécessaire pour comprendre notre propre identité et le monde dans lequel nous vivons ; je le qualifierai d'universel car il me paraît essentiel que chacun puisse se l'approprier pour se construire pleinement. La construction cognitive de l'individu ne peut être totalement achevée, sans le passage incontournable de la compréhension de ce concept. Partant de cette hypothèse, nous montrons immédiatement l'importance de la construction et de la qualité de l'enseignement de ce concept, qui débute au collège. Deux autres constats viennent appuyer ce choix :

- Demander à une personne λ dans la rue de vous donner la définition d'un atome, vous serez surpris de constater le peu et le manque de contenu des réponses.
- Les résultats du questionnaire général que j'ai proposé au chapitre 12, à des élèves de 5^{ème} à la Terminale S, viennent ponctuer ces remarques, en mettant en évidence que les collégiens et les élèves de seconde de lycée n'intègrent pas les modèles de l'atome.

2. Les difficultés rencontrées par l'élève et par l'enseignant sur ce concept.

2.1. Les difficultés de l'élève quant à la compréhension de ce concept.

La difficulté réside dans le fait que l'atome est une entité abstraite et invisible. Les microscopes perfectionnés ne donnent que des représentations, des images, et l'enseignant ne dispose que de modèles explicatifs. Il faudrait avoir le matériel d'un grand laboratoire pour rendre cet atome plus concret, mais nous le savons tous, l'Éducation nationale ne peut être aussi bien outillée. De fait, dans tête de l'élève, l'atome est-il vraiment réel ?

Dans les programmes, l'atome fait partie du monde microscopique et permet d'expliquer le monde macroscopique. Pour un élève, comprendre le monde microscopique avant le monde macroscopique ne relève pas d'une évidence, et le passage inverse, même s'il apporte davantage de sens, n'est guère mieux intégré.

Les représentations des apprenants, sont issues «du sens commun». Alors, quoi de plus déroutant et de peu probant pour un élève qu'un cours reposant uniquement sur des modèles ! Cet enjeu didactique, néanmoins essentiel, que l'on retrouve dans tous les programmes, peut devenir un obstacle. La notion de modèle n'est en général pas exposée. Celui-ci est utilisé directement dans un but explicatif. Plusieurs modèles sont avancés, et l'élève doit s'y reconnaître, comme faire la distinction entre modèle particulière et modèle moléculaire ? Est-ce vraiment possible si l'élève n'a pas un accompagnement spécifique ? Généralement, l'enseignant jongle avec finesse d'un monde³⁴ à l'autre, les programmes et les activités, détaillés au chapitre 2, le révèlent. Dans ce cas précis, j'avance qu'il faut comprendre tour à

³⁴ Monde macroscopique et microscopique

tour le concept de modèle et le concept d'atome, avant d'expliquer les phénomènes observables à l'échelle macroscopique et qu'un élève de 5^{ème} est capable de le comprendre.

Nous ne détaillerons pas ici les obstacles épistémologiques rencontrés par les élèves, ils seront soulevés lors de nos expérimentations dans la partie 4.

Des difficultés à comprendre le concept, résulte également une absence de sens : trente ans d'expérience m'ont permis d'observer que l'atome reste un concept « *qui ne sert à rien* » aux yeux du collégiens.

A l'instar des élèves, l'enseignant, lui non plus, n'a pas tâche facile.

2.2. Les difficultés de l'enseignant à enseigner ce concept.

Dans un enseignement dit « *classique* », le professeur a recours aux expérimentations. « *L'expérience* » sur laquelle il s'appuie très souvent, permet de démontrer et prouver à l'élève une loi ou un principe. De même, par tâtonnement, l'élève construit une démarche expérimentale qui lui permet également d'aboutir au résultat attendu. En toute état de cause, la démarche empirique permet de convaincre l'élève. Je serais tentée de résumer sa position ainsi « *J'ai conçu, j'ai vu, je suis convaincu* ». Cette formulation peut apparaître comme réductrice, mais elle me semble traduire ce qui se passe en réalité dans les classes. Cette démarche empirique peut amener l'élève à des conclusions définitives trop hâtives. Il se prive d'esprit critique et d'une bonne compréhension scientifique.

Avec l'atome, l'enseignant en collège s'appuie sur des modèles qu'il ne peut démontrer ni par des expériences, ni par des calculs. Il devrait utiliser l'histoire des sciences et montrer le cheminement difficile et contredit, du raisonnement des différents savants. Mais très souvent, l'enseignement des modèles de l'atome³⁵ se fait par rupture. Le nouveau modèle est présenté sans lien avec le précédent. A aucun moment, la démarche d'investigation employée par le scientifique n'est décrite.

Pour les élèves, l'attrait est relatif et la compréhension difficile. Donner du sens à l'élève, sur ce concept d'atome, devient alors délicat, voire complexe. Ce sens ne peut s'acquérir qu'à partir d'une culture et de sa vision de la réalité. L'enseignant se trouve devant un paradoxe.

C'est, pour toutes ces raisons, que j'ai choisi comme objet d'étude, l'atome. Il est donc important maintenant de comprendre, comment s'est établie la construction épistémologique du concept d'atome ainsi que ses modèles. En effet, nous pourrions la comparer à celle des élèves au cours de leurs scolarités. Ces indications nous permettront de mieux appréhender et comprendre les transformations cognitives de l'élève sur ce concept.

3. L'activité de modélisation de la structure atomique de la matière chez les scientifiques.

Dans cette partie, nous expliciterons ce que nous entendons par modèle et activité de modélisation, puis nous ferons un bref historique de l'histoire de l'atome en explicitant la connaissance ambiante de chaque scientifique et les démarches adoptées. Démarches que nous comparerons à des démarches d'investigation avec une question, des hypothèses, un protocole pour valider ces dernières. Puis nous incrémenterons les différents modèles apparus au cours du temps, qui seront pour la plupart étudiés en classe.

³⁵ Décrit au chapitre 2.

Le pédagogue a besoin de modèles pour mieux faire comprendre un concept à ses élèves. Cette modélisation fait partie intégrante de la démarche scientifique. Mais comment définissons-nous un modèle ? De même, comment définissons-nous l'activité de modélisation ?

3.1. La notion et ses fonctions.

La notion de modèle, selon une étude de S. Bachelard (1983), est apparue au début du siècle dernier par un article "Model", publié par l'Encyclopaedia Britannica en 1902. Auparavant les encyclopédistes du XVIIIe siècle désignaient cette notion par système. Il est difficile de trouver une définition précise du modèle ; Johsua et Dupin (1989) mentionnent que « *la définition du terme n'est donc pas établie et il n'est pas sûr qu'un consensus même approché existe à ce propos parmi les utilisateurs* ». Duhem (1906) en fait une description en mentionnant : « *Cette image visible et palpable de lois abstraites que l'esprit (du scientifique) ne pourrait saisir sans le secours du modèle* ». S. Bachelard (1983) cite Mach en précisant un « *modèle parlant aux yeux* ». Cette expression, remplie de symbolisme, retranscrit la tâche du pédagogue. Nous complétons notre définition : un modèle est basé sur deux principes, la similarité c'est un modèle de quelque chose, et l'utilité, c'est le modèle pour quelque chose. Le modèle de l'atome ressemble à l'atome, particule microscopique invisible à l'œil nu et, grâce à lui, nous comprenons comment est faite la matière.

Walliser (1997) identifie trois fonctions principales du modèle à savoir : représenter ce qui permet une meilleure visualisation, expliquer et prévoir. S. Bachelard (1983) propose de reconnaître le modèle dans sa complexité et comme il n'a rien de réel, elle le définit ainsi : « *il n'est rien d'autre que sa fonction : modèle de, modèle pour, il renvoie à autre chose que lui même et sa fonction est une fonction de délégation. Le modèle est un intermédiaire.* »³⁶ Cette notion d'intermédiaire est reprise, par Walliser (1977) qui conçoit le modèle comme « *un médiateur entre un champ théorique dont il est une interprétation et un champ empirique dont il est une synthèse* » et par Bécu-Robinault (1997) qui définit le modèle comme intermédiaire relationnel entre la théorie et le monde des choses. C'est donc un outil de la science et un instrument pour la pédagogie. Nous pourrions parler de méta-modèle.

Ma synthèse se résume ainsi : un modèle résulte d'une ou plusieurs théories. C'est un ensemble de connaissances, abstraites qui emploient des concepts. Celui-ci est évolutif et est décrit avec un champ de validité précis. Il peut se retrouver invalide lorsqu'un nouveau modèle, plus affiné vient le destituer.

3.2. Les catégories de modèles.

En sciences, nous rencontrons plusieurs types de modèles. Les modèles « *images* » comme le modèle planétaire de l'atome. Ils reproduisent une copie agrandie d'objets non perceptibles. Les modèles « *descriptifs* », comme le système solaire. Sous forme de maquettes par exemple, ils représentent des objets tels que nous les percevons. Les modèles « *analogiques* », comme le paquet de pâtes pour définir la mole. Ils établissent une ressemblance partielle entre deux réalités, la première venant aider la seconde. Les modèles « *symboliques* », qui traduisent une situation physique dans un langage qui peut être multi catégoriel comme iconique tels que les symboles, les cartes conceptuelles, les tableaux, les diagrammes, les courbes (l'énergie cinétique en fonction de sa masse et de sa vitesse au carré)

³⁶ Le Moigne J.L (1987) disponible sur <http://archive.mcxapc.org/docs/ateliers/lemoign2.pdf>.

ou logico- mathématiques($E_c = \frac{1}{2} mv^2$). Tous sont considérés comme des artefacts au sens vygotskien.

3.3. L'activité de modélisation.

3.3.1. Pour le scientifique.

La tâche centrale du chercheur, quel que soit son domaine, est pour Bunge (1975) l'activité de modélisation qui consiste à décrire, interpréter et prévoir les phénomènes du monde sensible. Il va ainsi construire des théories qui vont au cours des années évoluer, être modifiées, voire disparaître. La recherche consiste en une mise en relations entre données empiriques et théories par le modèle.

Walliser (1977) propose un processus de modélisation défini comme suit :

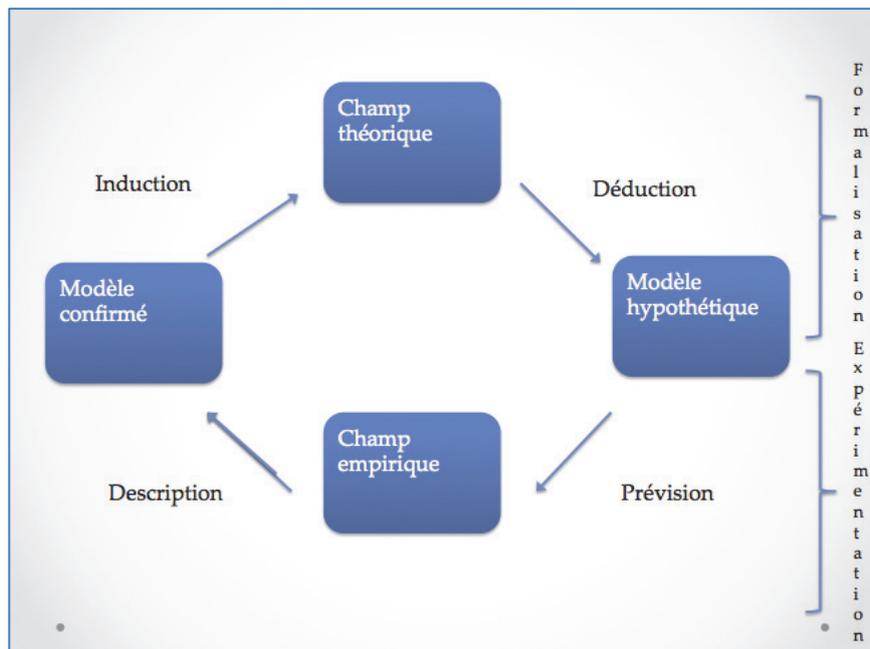


Figure 1. Dynamique de la modélisation selon Walliser.

3.3.2. Pour les élèves.

L'activité de modélisation des scientifiques est fondamentalement différente de celle des élèves. Les modèles élaborés en classe sont basés sur des savoirs reconnus par la communauté scientifique. Ils ont subi des transpositions didactiques. Le fait, de passer d'un modèle à un autre, montre la construction des savoirs au cours des années scolaires, et par voie de conséquence, ils nous informent sur la construction cognitive de l'élève. Il sera donc pour nous nécessaire de convoquer tous les modèles étudiés durant le collège et le lycée.

Bécu Robinault (1997)³⁷ considère cinq niveaux de modélisation, dont les activités des élèves peuvent relever, répartis dans le monde des théories et le monde des choses.

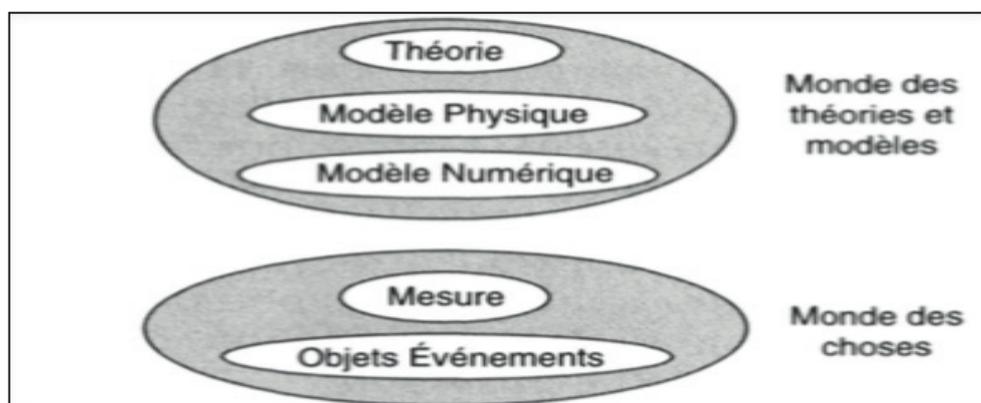


Figure 2. Place des aspects quantitatifs dans la description des deux mondes en relation.

Elle considère que « la construction, par un apprenant, du sens d'un concept, [...] se fait en partie à travers les mises en relation que l'apprenant construit entre les différents niveaux de modélisation³⁸ ».

Nous ne serons pas sans revenir sur la construction du concept et principalement du concept d'atome, avec ses modèles et ses différents niveaux de modélisation, notamment, lorsque nous aborderons l'étude des activités réalisées en classe. Notre première étape consiste à retracer les démarches utilisées par les chercheurs pour aboutir au modèle atomistique.

3.4. Un bref historique du concept.

Nous allons retracer, comment est née la pensée atomistique et mettre l'accent particulièrement sur les démarches adoptées par les scientifiques à chaque époque. Nous pourrions très souvent entrevoir les différentes étapes d'une démarche d'investigation. Cette partie a permis de mieux comprendre certaines démarches d'élèves notamment ceux en difficulté, dans nos expérimentations et ainsi les amener à modifier leur cheminement..

3.4.1. Les premières intuitions scientifiques.

L'homme a, de tout temps, essayé d'abstraire et de modéliser, afin d'agir sur le monde. Avant l'écriture, nous avons des traces des premières intuitions scientifiques. Elles se retrouvent dans l'utilisation de techniques qui dénotent des interrogations et des pensées théoriques. Sciences et techniques ont toujours fonctionné ensemble, en interactions permanentes, se nourrissant l'une de l'autre.

Dès la préhistoire, les pratiques utilisées préfigurent l'appréhension scientifique du monde. Nos ancêtres croyaient aux esprits, initiaient et établissaient des rites afin d'influencer, d'orienter les phénomènes naturels. Philippe de la Cotardière (2012) compare le rôle des esprits à la théorie scientifique mais s'empresse d'ajouter qu'il ne faut pas comparer l'animisme avec une connaissance scientifique. Les traces de cette époque ne nous permettent pas de déduire systématiquement les savoirs et les représentations mentales de nos ancêtres.

³⁷ Bécu-Robinault (1997), cité par Géraldine Boivin-Delpieu (2016).

³⁸ Bécu-Robinault (1997).

L'idée atomiste a connu de nombreux soubresauts dans l'histoire de la pensée scientifique. Elle est apparue en Grèce antique comme une méditation philosophique. Il a fallu vingt siècles pour aboutir à la validation du concept d'atome. De nombreuses controverses scientifiques eurent lieu durant ces années, tant d'un point de vue religieux qu'épistémologique.

Avant de débiter l'épistémologie de l'atome, j'ai trace qu'en Inde antique, quelques doctrines atomiques sont apparues, associées à différents systèmes théologiques dont le bouddhisme. Les auteurs et les traces sont difficiles à trouver, mais semblent avoir des similitudes avec les théories des fondateurs ci-dessous. Les connaissances et les théories ont pu se propager par mécénat et par les conquêtes comme celle d'Alexandre le Grand.

3.4.2. Leucippe de Milet et Démocrite : fondateurs de l'atomisme.

Entre le VII^e av. J.-C. et le IV^e av. J.-C. naît le mouvement présocratique avec Thalès, Pythagore, Parménide, Démocrite...qui recherchent activement des explications rationnelles sur le monde qui les entoure, sans pour cela faire appel aux dieux comme leurs prédécesseurs. L'événement qui va permettre ce travail collectif est la fondation de l'école de Milet par Thalès. Ils définissent les substances principales et les principes qui fondent chaque forme créée dans la nature comme le feu, l'eau, l'air, la terre, « *l'apeiron* »³⁹ désigné par Anaximandre.

Nous devons le mot « *atome* » à Leucippe de Milet en 420 av. J.-C. Il vient du grec « *a-tomos* » et signifie « *insécable* ». Ce nouveau mot est né pour donner sens à son intuition première, en particulier à son modèle de discontinuité de la matière. Il adopte deux concepts : le plein et le vide. Il vient compléter la pensée de son disciple, Démocrite d'Abdère, qui définissait la matière composée de corpuscules invisibles, indivisibles, pleins⁴⁰, de formes variées, en mouvement permanent, entourés de vide donc « *éternels* » et dotés de qualités idéales. S'interrogeant sur la cohésion des corps, il ajoute des crochets aux atomes.

Ce courant de pensée atomiste se résume ainsi : C'est sous l'action des atomes et du vide que les choses s'accroissent ou se séparent. Les atomes, se déplacent dans tout l'univers, rentrent en collision quelquefois et s'associent selon leurs formes. L'association d'atomes est appelée réunion d'atomes. Ils sont maintenus ensemble jusqu'à ce qu'une force plus forte de l'extérieur vienne les séparer. Ces atomes sont la base de tous les composés. Pour les auteurs, ils finissent leur vie dans le vide infini.

Ces théories ne peuvent être qualifiées de « *Physique* » au sens actuel. Elles reposent sur des intuitions philosophiques. Aucune donnée empirique à l'époque ne peut valider celles-ci, mais elles montrent une réelle aspiration scientifique avec le but d'expliquer des phénomènes et des mécanismes complexes. Elles seront reconnues dans l'histoire des sciences comme étant l'édifice qui a permis la compréhension du monde. En tant que pédagogue, nous devons tenir compte de cette intuition première qui peut surgir chez nos élèves et donc avoir une incidence sur notre enseignement. Leur attitude philosophique, à travers cette intuition première, même peu consciente, peut être la même que celle des premiers penseurs de ces questions scientifiques.

G. Bachelard nous rappelle que c'est en se posant des problèmes que l'on avance. Il précise que :

« C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit ».

³⁹Appelé ainsi par Anaximandre, il signifie illimité, indéfini et indéterminé, il désigne à la fois le principe et l'élément de tout ce qui existe.

⁴⁰ Pas de vide à l'intérieur.

3.4.3. Épicure (moins 341-270 av. J.-C.).

Fondateur de l'épicurisme, une doctrine matérialiste et atomiste, Épicure reprend les idées formulées par Leucippe et Démocrite et introduit « *l'hypothèse du clinamen* ⁴¹ ». La démarche scientifique est visible ici. A partir des connaissances précédentes, Epicure se pose des questions au sujet du concept de la matière et ne trouve de réponse dans le modèle précédent ; c'est ainsi qu'une nouvelle doctrine va naître, elle explique, que tout ce qui est créé, provient de la déclinaison des atomes dans leur chute vers le bas et également des chocs relatifs entre eux. Cette dernière ne remporte pas tous les suffrages et rapidement est supplantée par la philosophie socratique et stoïcienne promulguées par Platon et Aristote. Ce dernier prend comme base la théorie des quatre éléments d'Empédocle⁴² et ajoute « *l'éther* ».

La théorie d'Épicure, ne convenant pas non plus à l'église, restera dans l'ombre jusqu'aux données expérimentales de Dalton qui démontreront que les gaz sont constitués d'atomes en mouvement. La destruction de la bibliothèque d'Alexandrie empêchera également cette théorie d'être de nouveau discutée.

3.4.4. L'alchimie du Moyen – Âge.

L'alchimie est née des progrès de la métallurgie et des manquements de la théorie des quatre éléments qui ne peut expliquer en totalité la diversité de la matière. L'activité des alchimistes restait confidentielle et paraissait aux yeux de certains de la sorcellerie, car basée sur une démarche mélangeant ésotérisme et occultisme. Cette démarche établissait des liens symboliques qui unissaient le microcosme au macrocosme⁴³. La planète Saturne faisait référence au plomb, car elle apparaît jaune « plombée ».

Leur objectif était de transmuter des métaux « *vils* » en métaux « *nobles* ». Il faudra attendre la physique contemporaine pour réaliser cette transformation.

Malgré ce côté mystique, nous retiendrons des alchimistes qu'ils sont les annonceurs de la chimie car ils développèrent l'observation, l'expérimentation, la mesure et la classification des éléments.

3.4.5. Les scientifiques des Lumières (XVIIe – XVIIIe siècle).

Si Galilée, Gassendi, Boyle et Newton rejoignent la théorie atomique pour la « *moderniser* ». Newton émettait des hypothèses spéculatives sur la constitution de la matière mais elles n'étaient pas accompagnées de démonstrations mathématiques. Pour lui, les particules étaient identiques pour tous les corps et en petit nombre.

« Il y avait un premier arrangement de particules primaires donnant des particules de première composition, ces dernières étant arrangées pour donner des particules de seconde composition et ainsi de suite jusqu'à la nième composition. Ces architectures emboîtées et hiérarchisées donnaient ses particularités à l'espèce chimique considérée⁴⁴ ».

Cette théorie sera disqualifiée par deux scientifiques : Descartes et Leibniz. Il faudra attendre le français Gassendi⁴⁵, qui, lui, va oser s'opposer à la thèse qui rejette le vide et, de fait, introduire les premiers indicateurs de la validation de la théorie atomiste. Torricelli et Pascal viendront entériner cette théorie avec des données empiriques sur l'existence du vide et

⁴¹ Pullman (1995) p 55.

⁴² L'eau, la terre, le feu et l'air.

⁴³ Monde des planètes.

⁴⁴ Scheidecker-Chevallier M (2001) disponible sur :

http://media.eduscol.education.fr/file/Formation_continue_enseignants/91/9/uescience_histoireT1_acte_111919.pdf p57.

⁴⁵ Gassendi P (1592-1655) cité par Grivopoulos K (2014) p 93.

sur la pression de l'air. Cependant Gassendi apportera une définition de l'atome, avec une conception mécaniste⁴⁶. Pour lui⁴⁷, un objet pointu contiendrait des atomes pointus et les atomes ronds seront davantage dans les corps fluides et doux. De plus, il ne peut pas imaginer « *le caractère éternel des atomes non créés* »⁴⁸, et conforte l'idée que les atomes proviennent de la création de Dieu. Le dogme eucharistique n'est pas encore en danger. Vers la fin du XVI^e siècle, Bruno remet en cause la pensée d'Aristote et « *défend, puisque hylozoïste*⁴⁹, *un atomisme doublé d'un vitalisme*⁵⁰ ». ⁵¹ « *L'atome est centre de vie, il est un point où vient s'insérer l'Âme du monde* »⁵². Ce sont entre autres, ces convictions décrites ci-dessus, qui l'amèneront à être brûlé vif sur un bûcher. A cette même période, le médecin français Magnenus « *calcula et trouva 7,8 . 10¹⁷ atomes dans un grain d'encens de la taille d'un petit pois*⁵³ ». Ce résultat est remarquable car peu différent du nombre d'Avogadro déterminé, un siècle plus tard, par Perrin soit 6, 02.10²³ atomes pour une mole.

Ces quelques siècles ne suffisent pas à bousculer la censure de l'Eglise romaine. Il nous faudra attendre la fin du XVIII^e siècle avec Lavoisier et les siècles suivants pour connaître l'avènement de l'atomisme scientifique.

Encore une fois nous observons cette même démarche en partant de connaissances, les scientifiques se posent d'autres questions et ne trouvant pas de solutions dans les modèles précédents, viennent à créer un nouveau modèle et une nouvelle théorie.

3.4.6. Le grand retour de l'atome (XIX^e et XX^e siècle) : Albert Einstein, le libérateur, qui accorde toute la communauté scientifique.

Les données empiriques vont permettre de faire évoluer les pensées. Les démarches d'investigation engagées vont aboutir par des données expérimentales supplémentaires. Les expérimentations sont menées bon train par des chimistes comme Richter, Proust et Avogadro sur les notions de stœchiométrie, dans les transformations chimiques. Mais c'est Dalton qui va faire un grand pas en avant. Il notait à l'époque les changements météorologiques de sa région et de fait, il fut amené à travailler sur les mélanges gazeux. C'est en menant ses expériences, qu'il va valider que la matière est composée d'atomes de masses différentes qui se combinent selon des proportions simples. Son expérimentation est réalisée sur deux gaz, l'éthylène et le méthane. Dalton découvre que le méthane a exactement deux fois plus d'hydrogène pour une même quantité de carbone. Il assure une reproductibilité des résultats avec d'autres gaz et présente en 1803 « *La théorie* ». Cette dernière permet d'expliquer « *la loi des proportions définies* » de Proust mais également elle introduit « *la loi des proportions multiples*⁵⁴ ». De plus, Dalton apporte une alternative aux travaux de Newton. Pour lui, « *la particule d'hydrogène cessait d'être vue comme le résultat complexe d'une structure interne ordonnée et compliquée mais comme une planète, un petit solide sphérique, une boule de billard* »⁵⁵.

⁴⁶ Obstacle qui « consiste en l'explication des perceptions saisies au niveau macroscopique de la matière, par les propriétés mécaniques de ses constituants venus du niveau atomique et moléculaire » Grivopoulos K (2014) p 104-105.

⁴⁷ Pullman B (1995) p154.

⁴⁸ Grivopoulos K (2014) p 93.

⁴⁹ Doctrine philosophique qui soutient que la matière est douée de vie par elle-même.

⁵⁰ Giordano Bruno a considéré les planètes et l'ensemble des astres comme des organismes vivants.

⁵¹ Cité par Grivopoulos K (2014) p 93.

⁵² Michel P.H. (1960) cité par Grivopoulos K (2014) p 93.

⁵³ Cité par Grivopoulos K (2014) p 94.

⁵⁴ Lorsqu'un corps, comme l'oxygène se combine à un autre corps, comme le carbone, pour donner deux composés différents : le monoxyde de carbone et le dioxyde de carbone, les masses qui réagissent, sont dans des rapports simples, soit 2 pour 1, ce qui renvoie à la notion de formule chimique.

⁵⁵ Scheidecker-Chevallier M (2001) disponible sur :

http://media.eduscol.education.fr/file/Formation_continue_enseignants/91/9/uescience_histoireT1_acte_111919.pdf p 57

La démarche de Dalton correspond également à une démarche d'investigation complète telle qu'on l'enseigne en classe avec ses différentes étapes : la connaissance, les questions de départ, les hypothèses, le protocole expérimental, la validation des hypothèses et l'ouverture vers d'autres champs d'investigation.

A la fin du XIX^e, devant l'accumulation de preuves expérimentales, l'existence des atomes et des molécules est reconnue. Cependant, deux opposants de l'atomisme existent, il s'agit des équivalentistes et des énergétistes. Leurs convictions ne sont pas très précises dans la mesure dans un même « *camp* », des divergences interviennent. Les premiers « *ont le choix entre des équivalents fondés uniquement sur des rapports pondéraux de combinaison, ou bien sur des rapports volumiques, ou bien sur des équivalents de substitution, ou bien ils peuvent opter pour un système mixte adoptant toujours la formule la plus simple* »⁵⁶.

Dans les listes conçues de nombres proportionnels, permettant d'établir des rapports dans les composés, nous retrouvons l'eau, par exemple, qui avait un rapport O/H= 8.

Les énergétistes, plébiscités par Mach⁵⁷, Ostwald et Duhem, s'intéressent uniquement à l'étude des phénomènes de la nature. Leur doctrine ne reconnaît pas les modèles. Seul appui, la logique mathématique, qui va régir les lois expérimentales. Pullman affirme qu'ils refusent « *de considérer comme démarche expérimentale l'étude de la structure [intime] des corps* »⁵⁸. Nous découvrons qu'une même formule peut désigner plusieurs substances.

C'est Cannizzaro, qui souhaitant apporter à ses étudiants un discours clair⁵⁹ sur ces différentes doctrines en 1855, viendra conforter « *l'hypothèse d'Avogadro-Ampère, formulée en 1811 et 1814, [selon laquelle des volumes égaux de gaz quelconques, pris dans les mêmes conditions de température et de pression, contiennent un nombre égal de molécules]* »⁶⁰.

Il la rendra générale en s'appuyant sur des faits sans équivoque. Sur le plan épistémologique, Scheidecker-Chevallier (2001) traduit la pensée de Cannizzaro sur le concept d'atome ainsi : Elle l'entrevoit comme un concept opératoire : « *l'atome est avant tout une quantité mesurable* »⁶¹.

Les divergences entre les équivalentistes et énergétistes, entre chimistes, cependant persistent et se poursuivront. Mais parallèlement, les physiciens vont avoir également besoin du modèle de l'atome pour construire leurs théories. Scheidecker-Chevallier (2001) nous évoque les travaux de Maxwell, Ostwald, Boltzmann et Perrin. Nous ferons ci-dessous un résumé bref afin de mettre à jour les démarches adoptées.

Maxwell part de l'hypothèse que les particules d'un gaz se déplacent à différentes vitesses. Il calcule alors leur distribution statistique. Le principe supplémentaire qu'il apporte, supposé au préalable par Clausius, est que le nombre de molécules dans un volume donné, dans les mêmes conditions de température et de pression est toujours le même pour tous les gaz parfaits. L'hypothèse d'Avogadro-Ampère prend alors toute sa puissance, d'autant qu'elle est entérinée par des physiciens. Maxwell donne également une définition dynamique de la molécule permettant ainsi de la distinguer de l'atome.

Les travaux de Boltzmann, permettent de donner une interprétation du calcul infinitésimal. Scheidecker-Chevallier précise sa position épistémologique, qui est plus

⁵⁶ Scheidecker-Chevallier M (2001) disponible sur : http://media.eduscol.education.fr/file/Formation_continue_enseignants/91/9/uescience_histoireT1_acte_111919.pdf p 65

⁵⁷ Mach E (1883) philosophe et physicien autrichien.

⁵⁸ Pullman B (1995) p 291.

⁵⁹ « il faut leur décrire des méthodes physiques permettant d'accéder aux poids moléculaires et atomiques et enfin les habituer à la notation atomique pour écrire de façon univoque les formules chimiques ». Scheidecker-Chevallier M (2001) disponible sur :

http://media.eduscol.education.fr/file/Formation_continue_enseignants/91/9/uescience_histoireT1_acte_111919.pdf p 66.

⁶⁰ Ibid.

⁶¹ Ibid.

générale. « *Selon lui il n'y a pas d'expérience pure ; les concepts et les théories sont toujours des images mentales*⁶² ». L'atomisme pour Boltzmann n'est pas uniquement une description de l'univers. Pour lui, les concepts mécaniques sont extrêmement utiles aux scientifiques. Il n'arrivera pas cependant à persuader la communauté scientifique. Jean Perrin le fera réhabiliter mais hélas après sa mort⁶³.

De même, grâce à son interprétation du mouvement brownien, Einstein permet à toute la communauté scientifique d'accepter la théorie atomique. Einstein en 1905 écrivait⁶⁴ : « *J'avais pour principal objectif [...] de trouver des faits qui confirmeraient dans toute la mesure du possible l'existence d'atomes de taille finie déterminée [...]* ». Il a donc fallu plusieurs siècles pour que cette théorie, basée à l'origine sur des hypothèses, soit enfin admise. La découverte de l'électron, par Thomson en 1897, premier composant de l'atome, achèvera le XIX^e siècle. Les scientifiques du XX^e siècle découvriront d'autres composants de l'atome, entre autres le noyau et les neutrons, et une série de modèles seront construits.

Actuellement, notre XXI^e siècle, devrait nous réserver encore beaucoup de découvertes. Les nombreux scientifiques regroupés au CERN ne manquent de nous communiquer leurs dernières découvertes comme le boson d'Higgs. Le séminaire, que j'ai effectué au CERN en 2015, m'a convaincue que cette découverte ouvrait de nouveaux horizons, et que nous étions à l'aube de la découverte d'autres particules.

Ayant retracé rapidement l'histoire de l'atome en exposant les démarches adoptées, il nous faut maintenant tenir compte des différents modèles utilisés au cours du temps, modèles que les élèves étudieront au cours de leur scolarité. En effet, le concept d'atome ne peut se détacher de ses modèles. Ces modèles vont également nous permettre de mieux comprendre par la suite la construction cognitive de l'élève quant au concept considéré et de catégoriser leur mode de pensée. Notre but ultime est de mieux comprendre la construction de l'atome chez l'élève à travers les programmes scolaires et les activités réalisées en classe.

3.5. Les différents modèles rencontrés de l'atome.

3.5.1. Le modèle de Démocrite.

Le paragraphe 3.1.2 de ce chapitre retraçant la pensée de Démocrite, nous présenterons ici juste le modèle recueilli dans les ouvrages scolaires et présenté aux élèves à partir de la classe de 4^{ème}. Le modèle est constitué de particules indivisibles (grain de matière, grain de poussière).

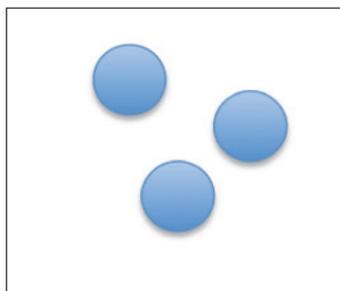


Figure 3. Modèle de Démocrite.

⁶² Ibid., p 68.

⁶³ Mort de Boltzmann en 1906.

⁶⁴ Disponible sur <http://bupdoc.udppc.asso.fr/textes/1981/06341123.pdf>.

3.5.2. Le modèle de Dalton.

Selon le modèle corpusculaire précédent, chaque corps pur est constitué de particules insécables. Nous avons vu que Dalton⁶⁵ avait découvert que les particules d'eau pouvaient se diviser en particules de dihydrogène et de dioxygène. Le modèle corpusculaire ne permet pas d'expliquer les réactions chimiques c'est pourquoi Dalton va créer un nouveau modèle afin d'expliquer les faits observés. Voici les principales caractéristiques du modèle de l'atome selon Dalton relatives à la théorie que nous avons développée ci-dessus⁶⁶.

- La matière est composée de particules microscopiques, invisibles et indivisibles appelées atomes.
- Les atomes d'éléments différents se distinguent par leur masse et leur taille.
- Les atomes peuvent se combiner entre eux avec des proportions simples et forment des composés.
- Les atomes ne peuvent pas être détruits, ils se transportent d'un composé à l'autre lors des réactions chimiques.

Le schéma suivant est extrait de l'œuvre de Dalton intitulée « A new system of chemical philosophy »⁶⁷ parue en 1808.

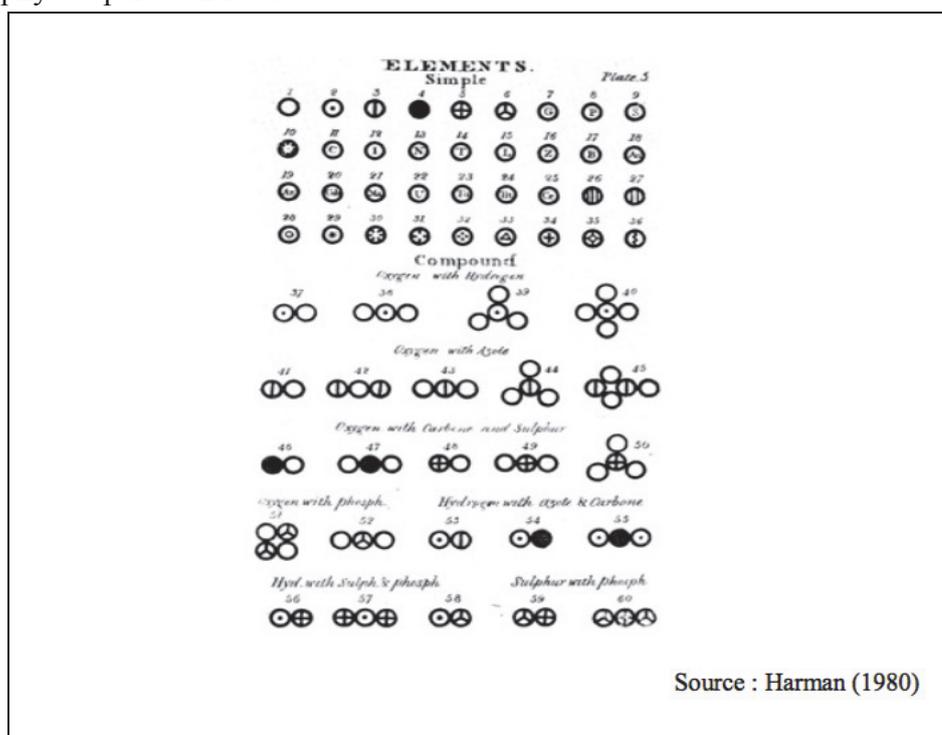


Figure 4. Représentation daltonienne des atomes et des molécules.

3.5.3. Le modèle de Thomson.

Thomson publie en 1897 les résultats de ces expériences. Scheidecker-Chevallier⁶⁸ nous retrace sa démarche ainsi : il définit les rayons cathodiques comme des corpuscules chargés

⁶⁵ Paragraphe 3.2.6

⁶⁶ Ibid.

⁶⁷ Grivopoulos K p 96.

⁶⁸ Scheidecker-Chevallier M (2001) disponible sur :

http://media.eduscol.education.fr/file/Formation_continue_enseignants/91/9/uescience_histoireT1_acte_111919.pdf p 68

d'électricité négative et décrit leurs propriétés. Ces dernières sont pour lui indépendantes de la nature du matériau des électrodes et de la nature du gaz. Il en conclut que ces particules sont les constituants universels de tous les atomes chimiques. Le modèle de Thomson, surnommé Plum Pudding, car ressemblant à un cake avec des raisins, contredit l'idée de l'atome insécable, en effet il fait apparaître des électrons dispersés dans une substance chargée positive. L'oscillation de l'électron est comparée à une masse reliée à deux ressorts. Les figures⁶⁹, ci-dessous, représentent le modèle énoncé en 1897 et celui proposé en 1904.

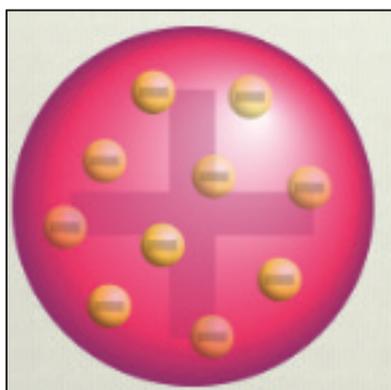


Figure 5. Représentation de l'atome par Thomson en 1897.

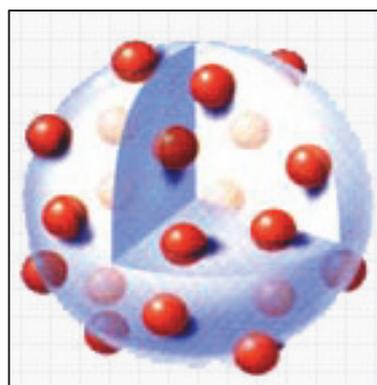


Figure 6. Représentation de l'atome par Thomson en 1904.

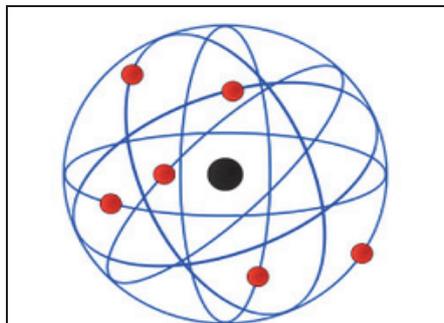
3.5.4. Le modèle planétaire de Ernest Rutherford.

Rutherford, prix Nobel de chimie en 1908, aidé des travaux de Becquerel puis de Curie a démontré que la radioactivité provenait de la désintégration spontanée de certains atomes (particules α et β). Il utilise un faisceau de particules α afin d'analyser la structure atomique, c'est la fameuse « expérience de la feuille d'or ». Cette expérience⁷⁰ remet en cause le modèle précédent car la majorité des particules α n'est pas déviée, quelques-unes, cependant, rebondissent en arrière. Il en déduit que l'atome est constitué d'un centre massif de charge positive et qu'entre les électrons et le noyau, il y a du vide. Son modèle dit « planétaire » fait référence aux planètes qui tournent autour du soleil comme les électrons autour du noyau, sur des orbites de rayons divers, avec des valeurs énergétiques très distinctes. Il est difficile d'expliquer dans ce modèle pourquoi les électrons ne tombent pas sur le noyau, il faut donc admettre que les électrons tournent autour du noyau et que la force centrifuge engendrée équilibre l'effet d'attraction entre les charges.

⁶⁹ Figure 5 disponible sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A8le_atomique_de_Thomson et figure 6 disponible sur <http://www.lachimie.net/images/atomethompson.png> cité dans Carré-Montréjaud H. Sciences Physiques 4^{ème} (2007) p 81.

⁷⁰ Article d'avril 1911 disponible sur : <http://web.ihep.su/dbserve/compas/src/rutherford11/eng.pdf>.

Ci-dessous, nous retrouvons le modèle⁷¹ décrit.



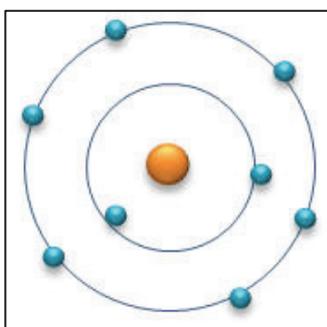
.Figure 7. Représentation lacunaire de la matière modèle planétaire de Rutherford.

3.5.5. Le modèle planétaire quantique de Niels Bohr.

Le modèle de Rutherford présente ses faiblesses et va être bousculé par Bohr. Selon les lois de la physique, un électron tournant autour du noyau devrait émettre de la lumière ou dégager une quelconque énergie. De fait, l'électron se rapprocherait en tournant en spirale du noyau, jusqu'à se détruire complètement. Or les atomes sont stables, hormis les éléments radioactifs. Bohr va provoquer une vraie coupure épistémologique et reformuler les différents concepts de la physique. C'est lui qui va introduire la physique quantique. Il publie en 1913 son modèle atomique basé sur deux axiomes qui rompent avec la physique classique :

- « L'axiome des états stationnaires »⁷².
- « L'axiome du quantum de rayonnement »⁷³

Il en découle que les électrons ont un mouvement circulaire sous l'action des forces de coulomb et qu'un atome ne peut exister que dans une suite discontinue d'états stationnaires. De même, l'énergie est bien déterminée et l'atome n'émet aucun rayonnement. Lorsqu'un atome passe d'un état stationnaire à un autre, le quantum d'énergie ΔE qu'il gagne ou qu'il perd est absorbé ou émis sous forme d'une radiation électromagnétique de fréquence ν telle que $\Delta E = h\nu$. Ci-dessous préfigure ce modèle⁷⁴ :



. Figure 8. Représentation du modèle de Bohr pour l'atome d'oxygène.

⁷¹ Disponible sur http://physiquereussite.fr/wp-content/uploads/2015/11/500px-Rutherford_atom-300x300.png

⁷² Correspond à une série discrète de valeurs de l'énergie, $E_n = -13,6\text{eV}/n^2$, N entier $\neq 0$.

⁷³ $E_{\text{atome}}(\text{qui émet ou absorbe}) = E_{\text{final}} - E_{\text{initial}}$ (du processus de transition électronique).

⁷⁴ Disponible sur : http://physique.buil.pagesperso-orange.fr/activ_3e/chimie-3e/histor_atome-3e.pdf

Sommerfeld et Wilson, complètent les travaux de Bohr en tenant compte des orbites elliptiques, ils décriront quantitativement la structure fine des raies spectrales de l'hydrogène.

3.5.6. Le modèle quantique (modèle de Schrödinger).

La mécanique classique est remise en cause par les aspects probabilistes des mesures des particules élémentaires de la physique quantique et le principe d'incertitude d'Heisenberg. La mécanique quantique va se substituer à la mécanique classique en définissant l'électron par son énergie et sa probabilité de présence en un point de l'espace. Schrödinger, puis Heisenberg et Dirac construisent la mécanique ondulatoire à partir des travaux de Louis de Broglie sur l'idée de dualité onde- corpuscule pour les particules.

L'équation de Schrödinger (1926) est une relation fondamentale de la mécanique quantique, adaptée aux particules de masse très faible. Sa résolution permet d'obtenir les valeurs d'énergie accessibles à l'électron et les fonctions mathématiques pouvant régir le comportement de l'électron. Cette équation n'a de solutions que pour certaines valeurs d'énergie appelées énergie propre⁷⁵. Les fonctions associées, appelées orbitales atomiques (OA) ou fonctions propres, permettent d'accéder à la probabilité de présence de l'électron en un point de l'espace. L'électron dans l'atome se trouve dans un nuage diffus qui se situe autour du noyau. Nous remarquons que l'atome ne correspond plus à une forme sphérique comme dans les modèles précédents mais à des orbitales. La forme probabiliste dépend du type de symétrie des orbitales⁷⁶. Sur la figure ci-dessous, le modèle⁷⁷ probabiliste de l'atome. Les régions les plus foncées indiquent une quantité plus importante d'électrons dans l'atome.

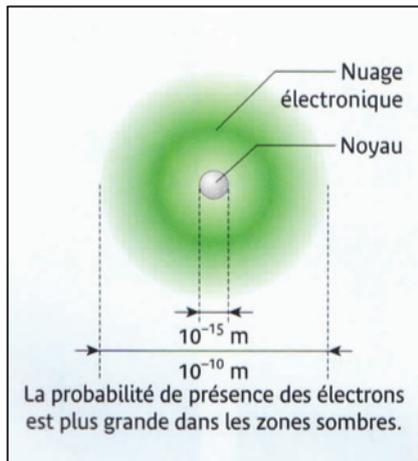


Figure 9. Le modèle quantique de l'atome.

Voici, ci-après, un récapitulatif⁷⁸ de l'évolution du modèle, qui montre que les trois premiers modèles sont construits sur les mêmes bases et se complètent au fur et à mesure. La coupure épistémologique s'observe à partir du modèle de Bohr.

⁷⁵ $E_n = -13,6 / n^2$ (en eV). Nous obtenons le même résultat avec le modèle de Bohr. Annexe 1 courbe représentant les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène

⁷⁶ Annexe 2 : Représentation des orbitales atomiques de type ns et np

⁷⁷ Jourdan J. *Physique Chimie 3^{ème}* (2008) p 31.

⁷⁸ Gauchard P.A disponible sur :

http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/gauchard_pierre_alexis/gauchard_pierre_alexis_p01/gauchard_pierre_alexis_p01.pdf

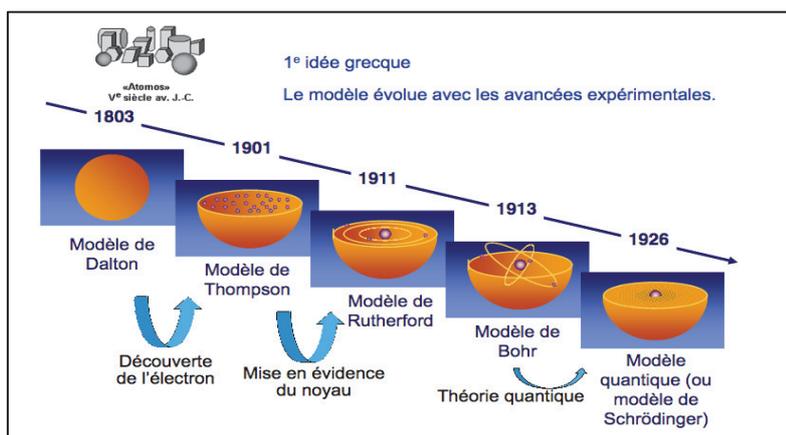


Figure 10. Les grands moments indissociables de ces modèles.

Le modèle de Schrödinger a ouvert des investigations nouvelles. De nombreuses découvertes ont permis une compréhension remarquable de la structure fondamentale de la matière, référencées dans le tableau ci-dessous.

Tableau périodique de Mendeleïev (1869) et 2 ^{ème} version (1871).	Diffraction des rayons X par les cristaux (1912).	Découverte du neutron par Chadwick (1932).
Découverte de la radioactivité par Pierre et Marie Curie (1933).	La fission nucléaire ⁷⁹ (Otto Hahn et Lise Meitner (1938).	Création de la bombe atomique par l'équipe d'Otto Oppenheimer (1945).
Interprétation de la mécanique quantique et vérification par expériences Bell (1964) ; Aspect (1982) ; Tittel (1998).	Les nanotechnologies permettant de manipuler la matière d'un point de vue atomique (1980 avec le microscope à effet tunnel).	

Tableau 2. Découvertes importantes suite au modèle de Schrödinger (modèle quantique).

Nous n'achèverons pas cet historique sans évoquer le modèle standard, qui reprend toutes les particules élémentaires de l'atome. C'est le modèle de référence aujourd'hui mais il n'est pas enseigné au lycée.

3.5.7. Le modèle standard de la physique des particules.

Le modèle standard est différent des précédents, puisqu'il détaille les particules élémentaires dans l'atome et rend compte de leurs masses. Il a valu un prix Nobel en 2013 à Higgs et Englert pour la découverte théorique du mécanisme contribuant à notre compréhension de l'origine de la masse des particules subatomiques. La découverte de la présence du boson d'Higgs par les expériences ATLAS et CMS en 2012 auprès du LHC du CERN est venue conforter ce modèle.

⁷⁹ Disponible sur <http://www.lae.com/site/pages/ladecouvertedelafission.htm>.

L'Univers est fait de douze constituants de base appelés particules fondamentales et gouverné par quatre forces fondamentales. Le modèle standard permet de mieux comprendre comment les douze particules et trois des quatre forces de la nature sont reliées.

Les particules de matière, qui nous entourent sont divisées en deux familles : les quarks et les leptons. « *Chaque groupe compte six particules qui se regroupent en paires ou générations⁸⁰* ». La première génération est constituée des particules les plus légères et stables, les autres générations sont composées de particules les plus lourdes et instables qui se désintègrent rapidement pour passer dans la première génération.

L'Univers est fondé sur quatre forces fondamentales : la force forte, la force faible, la force électromagnétique et la force gravitationnelle. Trois des forces fondamentales sont vérifiées dans l'échange de particules porteuses de force qui appartiennent à la famille des « bosons ». Chaque force correspond à un boson.

Ci-dessous nous retrouvons le boson de chaque force.

Force forte.	Gluon.
Force électromagnétique.	Photon.
Force faible.	Bosons : W et Z.
Force gravitationnelle.	Graviton (à prouver).

Tableau 3. Types de boson correspondant aux forces fondamentales.

Un seul boson n'a pas été encore validé, il s'agit du graviton. En toute logique il devrait exister mais le CERN n'a pas encore réussi à le mettre en évidence.

⁸⁰ Disponible sur <https://home.cern/fr/about>

Voici, ci-dessous, un tableau récapitulatif des particules élémentaires du modèle standard :

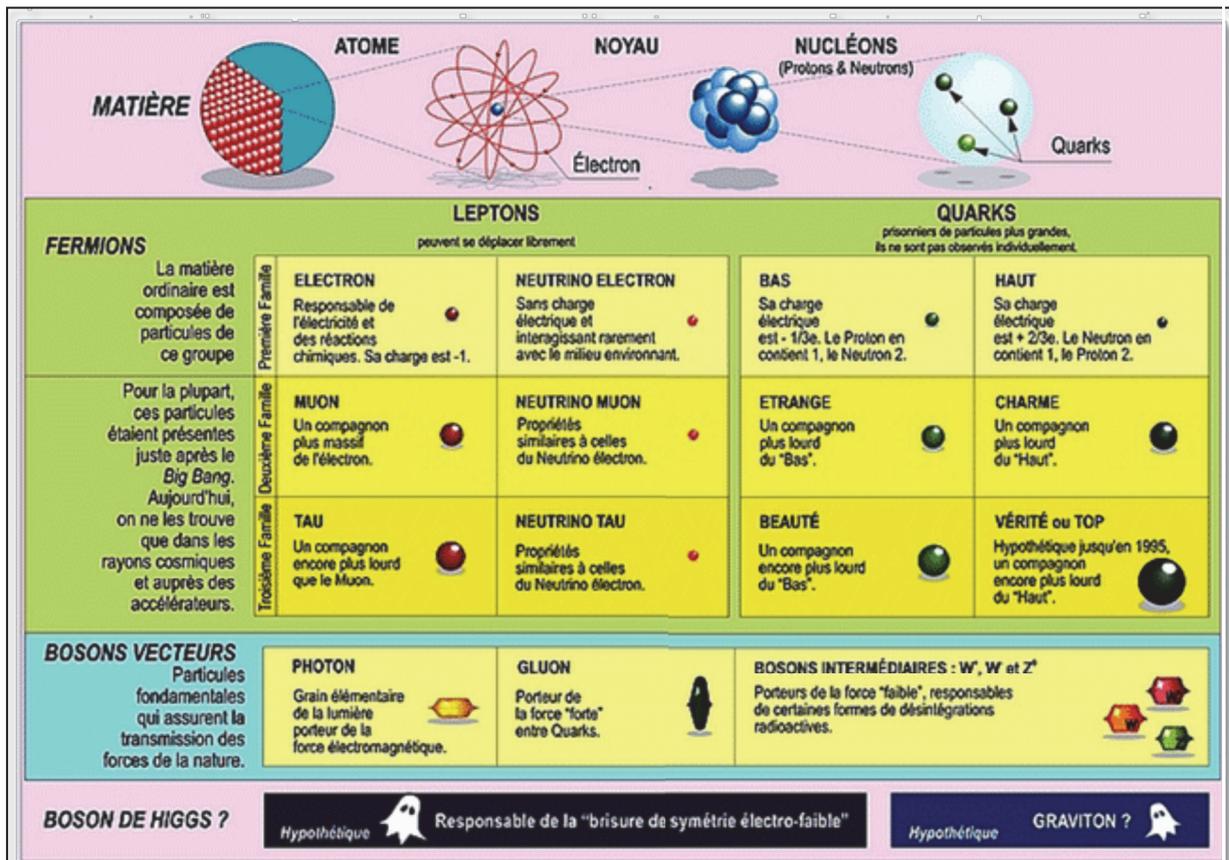


Figure 11. Modèle des particules élémentaires dans le cadre du modèle standard de la physique⁸¹.

Ce bref historique rend compte de l'évolution du modèle de l'atome et surtout de la grande résistance au modèle atomiste. Nous l'enrichissons en annexe 82 d'une étude approfondie en 2004, présentée dans l'actualité chimique où Kaddari et Rafiq (2004) nous dressent un tableau récapitulatif de l'histoire et le concept de l'atome du Ve siècle av. J. C. à 1990. Nous rendons compte ainsi des différentes questions, démarches scientifiques suivies par les scientifiques. Cette étude a permis d'identifier des indicateurs, des marqueurs langagiers afin d'identifier les différents types de pensée des élèves dans nos expérimentations.

Nous allons maintenant analyser les programmes des classes et cibler comment la construction du concept d'atome peut s'effectuer par l'élève. Comment les concepteurs de programme l'ont envisagé de la 6^{ème} à la terminale S Quels modèles sont étudiés en classe et de quelle manière ? A l'issue de cette étude, je choisirai de développer quelques activités utilisées par les enseignants. Nous mettrons ensuite en parallèle cette construction envisagée par les concepteurs et les enseignants et la réelle construction des élèves obtenue dans nos questionnaires.

⁸¹ Tiré d'un diaporama de Laurent Chevalier CEA-Saclay/DRF/Irfu lors de la formation de la fondation main à la pâte décembre 2015 au CERN (Genève).

⁸² Annexe 3. L'histoire de l'atome en tableau (2004).

Chapitre 2 : Les programmes et les activités sur le concept d'atome.

1. Les programmes des classes étudiées dans notre expérimentation.

1.1. Les programmes à l'école primaire.

Le thème de l'atome ne fait pas partie des programmes du premier degré de l'Éducation nationale. Les sujets d'enseignement in situ, comme la matière inerte et ses changements d'état, se réduisent à une description macroscopique des phénomènes tels que l'évaporation, l'ébullition etc... sans entrer dans l'interprétation microscopique. Le modèle corpusculaire de la matière n'est pas abordé.

1.2. Les programmes de collège en vigueur en 2014 2015 au moment de notre étude.

Les programmes de sciences physiques de collège sont décrits dans le bulletin officiel spécial n°6 du 8 août 2008. Nous avons repris, en annexe⁸³, les éléments des programmes de collège concernant le concept d'atome, mais également en lien avec celui-ci, puisque dans cette recherche je serai amenée à concevoir une carte conceptuelle au chapitre 9 partie 2.

1.2.1. La classe de cinquième.

En 5^{ème} le concept d'atome n'est pas abordé. Le programme fait référence à la notion de particule. Seule la molécule d'eau est étudiée. Basée sur l'observation et l'expérimentation, sans modélisation, par le biais de démarche d'investigation, les activités proposées clarifient les notions de mélanges et corps purs. L'approche peut être qualifiée de phénoménologique d'autant que l'étude se poursuit en identifiant les trois états de la matière et leurs changements d'état respectifs. Cette partie permet à la fois, de prolonger les acquis de l'école élémentaire mais également d'enrichir le vocabulaire associé. Ce programme propose une vision uniquement macroscopique et l'aspect microscopique est reporté en classe de 4^{ème}.

1.2.2. La classe de quatrième.

Deux modèles sont proposés. Celui de la molécule et le modèle atomique. Avec le concept de molécule, les états physiques de la matière et les transformations physiques sont expliquées; la notion de molécule est introduite lors de l'étude de l'air et de l'eau, l'élève va devoir distinguer les mélanges des corps purs, expliquer les changements d'état et la conservation de la masse.

Le thème principal de 4^{ème}, l'air, permet d'aborder les combustions et plus généralement les transformations chimiques. Ces dernières sont expliquées par le modèle atomique. Les élèves vont construire leur savoir en partant du principe que les gaz sont composés de molécules. De fait, ils peuvent argumenter quant à la compressibilité des gaz et la diffusion des gaz dans l'air et, par voie de conséquence, à la non compressibilité de l'eau liquide et à la dissolution d'un soluté moléculaire dans l'eau.

Ce va-et-vient entre ces deux composés étudiés que sont, l'air et l'eau, et la décontextualisation qui s'opère de fait, permet d'installer une cohérence sur les différentes propriétés.

⁸³ Annexe 4. Parties du programme de collège en lien avec le concept d'atome (5^{ème}, 4^{ème} et 3^{ème}).

Notons que l'enseignement du modèle particulaire est introduit afin d'interpréter la compressibilité des gaz, sous forme d'une activité documentaire sur l'histoire du « *modèle moléculaire* ». L'enseignant doit alors guider l'élève dans la réalisation de la combustion du carbone et cette voie doit aboutir à un questionnement sur les réactifs et les produits et induire l'idée de transformation chimique. Ce réarrangement de l'atome (sans description de la structure interne) pour former de nouvelles molécules est souvent présenté par l'enseignant à l'aide de maquettes en trois dimensions, dont la manipulation consiste en assemblage et désassemblage des atomes, qui visualise plus aisément la réorganisation, sans pour cela l'assimiler au mécanisme réactionnel. L'élève doit être capable d'interpréter une transformation chimique avec le modèle approprié. Lorsque l'élève atteint la capacité de noter par des symboles les atomes et par des formules chimiques les molécules, l'enseignant poursuit en expliquant les différentes étapes d'ajustement d'une équation de réaction moléculaires. Le principe de la conservation de la masse est de fait introduit.

Les commentaires⁸⁴ sur ce programme précisent à l'enseignant que les concepts de molécule et d'atome initialement imaginés pour rendre compte de propriétés macroscopiques de la matière ont dorénavant le statut d'objets microscopiques. Les connaissances à ce jour permettent de se représenter ces objets microscopiques par des emboitements successifs tels des poupées gigognes. Il est donc suggéré à l'enseignant de limiter, à chaque niveau d'enseignement, son explication en utilisant le modèle qui est au plus juste pour interpréter les phénomènes en cours. Ainsi les molécules, seront introduites, comme des assemblages d'atomes, jusqu'au chapitre des réactions chimiques. L'histoire des sciences est vivement conseillée lors des activités en classe. Par la suite, il est préférable de recourir aux modèles moléculaires compacts, plus fidèles que des structures microscopiques.

1.2.3. La classe de troisième.

C'est dans cette classe que le concept d'atome est avancé. Dans le thème « Conduction électrique et structure de la matière », le courant électrique s'interprète comme un déplacement d'électrons dans les métaux. Par la suite il est expliqué que le passage du courant est dû à une migration d'ions dans les solutions aqueuses. L'élève saura distinguer que « tous les solides ne conduisent pas le courant » et par voie de conséquence saura « *valider ou invalider une hypothèse sur le caractère conducteur ou isolant d'un solide* ⁸⁵ ». C'est ainsi, qu'est introduit une description plus élaborée de la structure de l'atome avec son noyau, sans détail précis sur sa composition, ses électrons et sa structure lacunaire. L'élève est invité au cours d'une activité, à « *extraire d'un document des informations relatives aux dimensions de l'atome et du noyau* ⁸⁶ » mais la mémorisation des ordres de grandeur n'est pas exigible.

En 3^{ème}, le modèle planétaire est celui retenu : un noyau autour duquel gravitent un ou plusieurs électrons sans référence à des orbites privilégiées. L'élève doit savoir que ce modèle n'est pas définitif. Il en rencontrera d'autres plus complets qui lui permettront d'interpréter d'autres phénomènes. Il importe qu'il retienne les caractéristiques suivantes : la charge positive du noyau et sa masse concentrée dans celui-ci, la charge négative du cortège électronique et les dimensions de l'atome.

⁸⁴ Pour accompagner la mise en œuvre des programmes, la Dgesc (Direction Générale de l'Enseignement Scolaire) fournit aux enseignants des ressources d'accompagnement qui peuvent être considérés comme des appuis dans l'élaboration des activités de la classe, tout en respectant le principe de liberté pédagogique.

⁸⁵ Bulletin officiel spécial du n°6 du 8 août 2008 de l'Éducation Nationale, classe de 3^{ème}.

⁸⁶ Ibid.

Les commentaires de ce programme suggèrent à nouveau à l'enseignant d'utiliser une approche historique dans la présentation du modèle de l'atome, notamment pour montrer que ces découvertes sont le fruit d'un travail sur des années par une communauté scientifique. Mais la construction du modèle, lui-même, de l'atome, par l'élève de collège, n'est pas le reflet de la construction historique. Ce qui est à la fois normal, puisque le contexte de l'élève est bien différent de l'époque où la guerre atomistique existait. Mais néanmoins, cette épistémologie aurait pu être une base de travail⁸⁷ dans l'exploitation du cheminement cognitif de l'élève. Il n'en est rien. L'approche est descendante, partant du macroscopique pour aller au microscopique, L'élève fait appel au modèle le plus simple pour la compréhension des phénomènes observables. Ce modèle se complexifie au fur et à mesure des besoins. Le but avancé est de donner du sens, mais je pense que d'autres solutions peuvent être envisagées et nous ne manquerons pas de les évoquer lors de l'analyse des activités.

Notre étude, s'élaborant de la 5^{ème} à la Terminale S, nous poursuivons par les instructions pédagogiques des différents bulletins officiels concernant l'enseignement de l'atome au lycée d'enseignement général.

1.3. Les programmes de lycée en vigueur pendant notre étude de 2014 2015 et à ce jour année scolaire 2016 /2017.

1.3.1. La classe de Seconde.

Les programmes de sciences physiques sont décrits dans le bulletin officiel spécial n°4 du 29/04/2010. La réforme du lycée en 2010 est marquée par une innovation pédagogique, l'enseignement des Sciences n'est plus structuré de manière classique, mais est abordé par une entrée thématique. Trois thèmes, ont été choisis. Ils ne « *relèvent pas de la discipline mais d'un champ d'application [...] favorisant le passage d'une question et / ou interprétation du point de vue de la physique ou de la chimie à une question et/ou interprétation qui vient de la vie quotidienne ou professionnelle et inversement*⁸⁸ ». Ne plus parcelliser le savoir dans un milieu de cloisonnement disciplinaire a pour objectif de faire disparaître certains obstacles des élèves, liés par exemple au savoir de l'atome. En effet, la chimie est associée à la science qui étudie les phénomènes chimiques, avec des changements dans la nature même du corps, et à contrario la physique montre que, lors des changements d'état, le corps ne change pas de nature.

Les thèmes choisis dans ce programme, que sont la santé, la pratique du sport et l'univers, développent l'intérêt des élèves pour les sciences, tout en conservant un fil conducteur cohérent des notions enseignées. La construction de certaines notions est spiralaire comme « *savoir qu'une solution peut contenir des molécules ou des ions* ».

La décontextualisation permet à l'enseignant, de s'assurer de la bonne compréhension et du sens donné par l'élève. Ce réinvestissement assure, en cas de non acquisition du concept, la possibilité d'une remédiation.

L'atome est abordé dans deux thèmes, la santé et l'Univers, tandis que les notions qui découlent du concept considéré comme la masse molaire atomique et la mole sont traitées dans le thème de la pratique du sport. Le BO n'oblige pas les enseignants à débiter leur enseignement par le thème de la santé, mais par simplification, nous optons pour ce choix. L'objectif de ce thème est de montrer et d'expliquer le rôle des sciences physiques et chimiques dans les domaines du diagnostic médical et des médicaments. Les résultats des analyses

⁸⁷ Nous reviendrons sur ce point de vue dans la présentation d'une activité de Brehelin et Guedj (2007) au paragraphe 3.3. de ce même chapitre.

⁸⁸Tiberghien (2011) p197.

médicales proposées permettent d'introduire la notion d'espèce chimique et des « *considérations sur la constitution et la structure de la matière*⁸⁹ ».

En annexe,⁹⁰ nous avons repris les éléments spécifiques du programme correspondant au concept d'atome. Comme précédemment, nous avons relevé tout ce qui est lié au concept considéré, ceci pour la réalisation d'une carte conceptuelle au chapitre 9 paragraphe 8. Les parties évoquées plusieurs fois au cours des différents thèmes, sont également relevées en annexe⁹¹.

Nous remarquons que le concept d'atome joue un rôle essentiel en classe de seconde. Il est abordé autour de thèmes de la vie courante, ceci pour le rendre le plus concret possible. Dans la partie santé, les élèves apprennent plus précisément sa composition, ses liens avec d'autres concepts comme l'élément et l'ion, ainsi que les règles, comme celle du duet et de l'octet, et enfin les applications qui en découlent, comme la classification périodique de Mendeleïev. Le modèle construit avec les élèves est le modèle de Bohr.

La chimie organique est introduite dans le thème du sport. L'élaboration de nouveaux matériaux, à des fins d'amélioration de confort et de performance, permet de découvrir de nouvelles molécules. Dans cette partie, les notions de solution, solvant, soluté, mole, systèmes et réactions chimiques, sont de nouveau possibles à évoquer.

Dans la partie Univers, l'objectif est de fonder chez l'élève, l'idée d'unité structurale fondée sur l'universalité des lois et des atomes. L'étude des grandes structures cosmiques et de la structure de la matière au niveau microscopique montre encore l'importance du concept d'atome sur ce niveau scolaire. Le programme de cette partie insiste sur la structure lacunaire de l'atome et l'analyse des spectres de lumière des étoiles. Le modèle de l'atome peut être à nouveau présenté aux élèves.

Ce niveau est pour moi la clé de la compréhension du modèle de l'atome. Les liens s'établissement entre les deux mondes, et ces différentes thématiques assurent la transférabilité et l'appropriation des connaissances.

Le modèle de l'atome a évolué, pour rendre compte de l'existence d'espèces atomiques, ioniques ou moléculaires spécifiques à chaque élément qui conduira à l'introduction des couches électroniques et des règles du duet et de l'octet.

1.3.2. La classe de Première S.

Les programmes de sciences physiques sont décrits dans le bulletin officiel spécial N° 9 du 30 septembre 2010. La classe de première fait partie du cycle terminal. Afin de conforter le choix d'orientation de l'élève, le programme a pour vocation de construire progressivement « *un corpus de connaissances et de méthodes scientifiques de base de la discipline*⁹² » en incorporant les grandes étapes de la démarche scientifique qui sont : « *l'observation, la modélisation et l'action sur le réel* ». Trois actions apparaissent dans la démarche demandée aux élèves: observer, comprendre et agir.

Le thème du nucléaire détient une grande partie du programme. Par rapport à notre objet d'étude, nous retrouvons entre autres, le concept de photon et son énergie, les formules de Lewis et la géométrie des molécules et les particules subatomiques. Pour une meilleure information, nous avons extrait du BO et mis en annexe⁹³ les contenus et compétences attendues

⁸⁹ Bulletin officiel spécial n°4 du 29/04/2010.

⁹⁰ Annexe 5. Parties du programme de seconde en lien avec le concept d'atome.

⁹¹ Annexe 6. Notions reprises plusieurs fois du programme de seconde en lien avec le concept d'atome.

⁹² Bulletin officiel spécial n° 9 du 30 septembre 2010 de l'Éducation Nationale.

⁹³ Annexe 7. Parties du programme de première S en lien avec le concept d'atome.

convenant à notre objet d'étude. Nous reprenons ci-dessous les éléments importants de ce programme.

Le thème de l'atome ne fait pas partie de ce programme. Cependant, quelques éléments de la physique nucléaire requièrent des connaissances dans le domaine considéré. Dans la partie « *Comprendre* » et plus précisément « *Lois et modèles* », « *les particules subatomiques* » permettent d'illustrer que la matière, à différentes échelles, présente une stabilité dans ses structures. Lors des réactions nucléaires, l'élève est amené à comprendre que cette stabilité est remise en cause.

L'étude des différentes activités proposées aux élèves, à la fin de ce chapitre, nous indiquera plus précisément la réalité des liens possibles avec l'atome pour les différentes parties du programme.

En première S, même si le thème de l'atome ne fait pas partie du programme, le modèle va se complexifier. Les élèves sont à ce stade capables de comprendre le modèle quantique lors de l'analyse des spectres d'émission de raies. L'élève, ainsi, poursuit sa démarche de compréhension en tissant des liens entre les deux mondes.

1.3.3. La classe de Première L ou ES.

Les programmes de Sciences Physiques sont décrits dans le bulletin officiel spécial N° 9 du 30 septembre 2010. Trois grandes parties sont proposées à l'enseignant : « *Représentation visuelle* » et « *Nourrir l'humanité* » qui sont deux thèmes communs aux disciplines sciences physiques et sciences de la vie et de la terre, et un thème spécifique à chaque discipline, « *Le défi énergétique* » pour les SPC et « *Féminin – Masculin* » pour les SVT .

En annexe⁹⁴, nous avons répertorié les parties du programme en lien avec le concept d'atome. Le thème de l'atome n'est pas vraiment explicité dans ce programme. Cependant le choix d'orientation des élèves en première L ou ES nous donne des indications quant au niveau en SPC. L'enseignant reprend souvent dans ses cours, les notions et concepts antérieurs, nécessaires aux parties du programme qu'il va traiter. La partie « *Activités humaines et besoins en énergie* » introduit le concept d'énergie nucléaire et ne peut être déconnecté du concept d'atome. La partie suivante « *Utilisation des ressources énergétiques disponibles* », et plus particulièrement l'introduction aux réactions nucléaires, nécessite implicitement un apport de connaissances sur la structure de l'atome. Les concepts « *fission nucléaire, fusion nucléaire* » sont étudiés au travers de nouveaux termes comme « *centrale nucléaire, réaction nucléaire et combustible nucléaire* ». Dans la partie « *Optimisation de la gestion et de l'utilisation de l'énergie* », le concept d'atome ainsi que la connaissance des isotopes sont nécessaires pour appréhender les risques de la radioactivité.

Les élèves, dans les TPE⁹⁵ travaillent également sur le thème de l'énergie nucléaire.

Le programme de première ES, L permet de renforcer les connaissances atomistiques des élèves et, de fait, de s'assurer de la bonne appropriation.

⁹⁴ Annexe 8. Parties du programme de première L et ES en lien avec le concept d'atome.

⁹⁵ Travaux de pratique encadrés.

1.3.4. La classe de Terminale S.

Le programme de sciences physiques est décrit dans le bulletin officiel spécial N° 8 du 13 octobre 2011. Il s'appuie sur trois grandes parties : Observer, comprendre et agir. Comme pour les autres niveaux, en annexe⁹⁶, nous avons répertorié les parties du programme en lien avec le concept d'atome.

Le concept d'atome ne fait pas partie du programme, mais revient de manière récurrente. Les bases sont fortement sollicitées.

Dans la partie « Observer », les élèves vont, comprendre que les ondes et les particules sont supports d'informations et apprendre à les détecter et les caractériser. Des spectres réalisés et exploités, ils vont identifier des atomes et des molécules. L'étude du photon qui se comporte, soit comme une onde, soit comme une particule, selon l'expérience proposée, va introduire dans ce programme des éléments de mécanique quantique en particulier la notion de dualité corpuscule-onde. Cette dernière est précisée dans la présentation des programmes de la manière suivante⁹⁷ :

« [...] elle ne doit pas décrire la nature intrinsèque du photon lui-même, qui n'est ni une onde, ni une particule, mais l'archétype d'un objet quantique, appelée parfois "quanton" par les scientifiques ».

De même, l'atome, au sein du programme, est mentionné⁹⁸ par :

« Les photons associés aux ondes électromagnétiques, les particules élémentaires (électrons, protons, neutrinos, etc.) ou composites (noyaux, atomes, molécules) sont, à côté des ondes électromagnétiques et mécaniques, des supports précieux d'information ».

Dans la partie « Lois et Modèles », l'élève devra connaître l'ordre de grandeur des valeurs des masses d'un nucléon, du noyau, de l'électron et de l'atome. Dans le chapitre « Temps, mouvement et évolution », l'exploitation d'informations relatives à la mesure du temps permet de justifier l'évolution de la définition de la seconde et l'utilisation des horloges atomiques. En outre, les horloges atomiques embarquées sont convoquées pour confirmer expérimentalement le phénomène de dilatation des durées dans le cadre de la relativité restreinte.

La chimie organique abordée dans « Structure et transformation de la matière » ainsi que la partie consacrée aux techniques d'analyses spectrales, permet de revoir l'atome et sa constitution. Lors de la représentation spatiale des molécules, les atomes de carbone sont mentionnés dans la discussion du phénomène d'isomérisation. De même l'élève doit prévoir la polarité d'une molécule à partir des électronégativités des différents atomes qui la constituent et de sa géométrie. Dans toute cette partie, l'élève revoit :

- la règle de « l'octet » et du « duet » qui permet de décrire les liaisons que peut établir un atome (C, N, O, H) avec les atomes voisins ;
- la représentation de Lewis de quelques molécules ;
- la mise en relation entre la formule de Lewis et la géométrie de quelques molécules.

Quelques prérequis relatifs au concept considéré, sont néanmoins indispensables à la bonne compréhension de cette partie comme :

- toute charge électrique peut s'exprimer en fonction de la charge élémentaire e ⁹⁹;
- l'utilisation de la représentation symbolique ${}^A_Z X$ d'un noyau ;
- reconnaître les isotopes ;

⁹⁶ Annexe 9. Parties du programme de terminale S en lien avec le concept d'atome.

⁹⁷ Bulletin officiel spécial N° 8 du 13 octobre 2011 de l'Éducation Nationale p 4.

⁹⁸ Bulletin officiel spécial N° 8 du 13 octobre 2011 de l'Éducation Nationale p 2.

⁹⁹ $e = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

- savoir exploiter des informations sur la radioactivité naturelle et artificielle ;
- Utiliser les lois de conservation dans le cadre de l'écriture d'une réaction nucléaire.

Par la suite, les élèves vont découvrir de manière très détaillée dans la partie « *Energie, matière et rayonnement* » que : « *Les résultats des observations à très petite échelle fournissent des représentations au moyen d'images (il faudra être prudent sur la signification du terme « visualiser ») des atomes et des molécules* »¹⁰⁰.

Ce qui permet « *de remonter aux dimensions et à la structure de la matière à ce niveau d'organisation* »¹⁰¹.

Les auteurs du programme montrent le paradoxe entre une mesure comme « *l'énergie des niveaux quantiques stables qui peut être connue avec une précision exceptionnelle (de l'ordre de 10-13 par exemple pour le premier niveau d'énergie de l'atome d'hydrogène)* » et « *l'observation (vidéo) de la réalisation progressive de la figure d'interférences obtenue en émettant le rayonnement photon par photon, ou la matière particule par particule* » qui « *souligne l'étrangeté éventuelle des phénomènes quantiques pour le sens commun* » et caractérise une vision probabiliste. De même, dans cette partie, les auteurs veulent établir un lien entre l'échelle microscopique (atomique ou moléculaire) et l'échelle macroscopique, et donner une interprétation microscopique de l'énergie interne d'un système macroscopique, en termes d'énergie cinétique et d'énergie potentielle d'interaction des différents constituants.

Nous observons que pour un programme qui n'a pas dans ses objectifs le concept d'atome, il est demandé de nombreux prérequis sur celui-ci et que le va-et-vient entre le monde macroscopique et microscopique est là pour développer du sens scientifique sur ces notions chez l'élève.

Lors de cette thèse, de nouveaux programmes en collège sont entrés en vigueur en septembre 2016, ainsi qu'un nouveau socle commun de connaissances, de compétences et de culture en septembre 2015. Il nous semble essentiel, pour la suite de notre recherche de bien connaître leurs contenus. Présentent-ils la même construction de l'atome que le programme précédent ? Quelles différences et similitudes ? Nous évoquons également ci-dessous le nouveau socle commun de connaissances, de compétences et de culture, qui à contrario du précédent, a été conçu une année avant les nouveaux programmes de collège, afin qu'in fine, ces derniers soient réfléchis en corrélation avec les enjeux fondamentaux de celui-ci.

1.1. Le socle commun des connaissances, de compétences et de culture en collège.

Le socle commun des connaissances, de compétences et de culture est décrit dans le bulletin officiel N° 17 du 23 avril 2015. En annexe¹⁰², nous avons indexé le socle avec ses domaines et son préambule attendant. Il est venu remplacer le précédent intitulé socle commun de connaissances et de compétences au 1^{er} septembre 2015. Il couvre la totalité de l'enseignement en école élémentaire et en collège. « *Parlant de la scolarité, les auteurs précisent qu'elle « donne aux élèves une culture commune, fondée sur les connaissances et compétences indispensables qui leur permettra de s'épanouir personnellement de développer leur sociabilité, de réussir la suite de leur parcours de formation, de s'insérer dans la société où ils vivront et de participer, comme citoyens, à son évolution* ».

¹⁰⁰ Bulletin officiel spécial N° 8 du 13 octobre 2011 de l'Éducation nationale p 3.

¹⁰¹ Ibid., p 4.

¹⁰² Annexe 10. Socle commun de connaissances, de compétences et de culture.

Ce socle est la base de travail des enseignants et de tous les acteurs du système éducatif. Ci-dessous, nous nous attacherons à quelques éléments pertinents pour notre recherche :

« Il forme le jugement et l'esprit critique, à partir d'éléments ordonnés de connaissances rationnelle du monde [...] il favorise un développement de la personne en interaction avec le monde qui l'entoure ; il favorise les capacités de compréhension et de création, les capacités d'imagination et d'action [...] il donne aux élèves les moyens de s'engager dans les activités scolaires, d'agir, d'échanger avec autrui, de conquérir leur autonomie et d'exercer ainsi progressivement leur liberté... »

Ce socle n'oppose pas compétences et connaissances, bien au contraire. Son acquisition rend nécessaire la prise en compte, dans le déroulement de l'enseignement, des représentations des élèves pour les mettre en perspective, et ainsi développer et faire progresser leur compréhension du monde. Une acquisition progressive des compétences se déroule durant les cycles¹⁰³ 2, 3 et 4. La maîtrise de ce socle doit être réfléchi à l'instar des attendus et des objectifs des programmes et est évaluée en fin de cycle. Cinq domaines de formation, fixant les enjeux de l'enseignement, sont proposés :

Domaine	Nom
1	Les langages pour penser et communiquer.
2	Les méthodes et outils pour apprendre.
3	La formation de la personne et du citoyen.
4	Les systèmes naturels et les systèmes techniques.
5	Les représentations du monde et l'activité humaine.

Tableau 4. Domaines de formation du socle de connaissances, de compétences et de culture.

Nous reviendrons sur ce socle qui s'intègre très naturellement à notre problématique qui prend en compte l'élève en difficulté, en vue d'une didactique instrumentale.

1.2. Les nouveaux programmes mis en place en sept 2016.

Étant donné que ces programmes ont été créés après les expérimentations de cette thèse, ils seront sujet à discussion et serviront d'appui dans notre proposition de didactique instrumentale. En fin de présentation, nous ferons un comparatif avec les programmes précédents.

Les programmes de sciences physiques sont décrits dans le bulletin officiel N° 48 du 24 décembre 2015 qui est venu compléter, voire modifier, le bulletin spécial officiel N° 11 du 26 novembre 2015. La scolarité, de l'école maternelle à la fin du collège, est organisée en quatre cycles pédagogiques :

- le cycle 1, *cycle des apprentissages premiers*, en petite section, moyenne section et grande section d'école maternelle ;
- le cycle 2, *cycle des apprentissages fondamentaux*, en cours préparatoire, cours élémentaire première année et cours élémentaire deuxième année d'école élémentaire ;
- le cycle 3, *cycle de consolidation*, en cours moyen première année, cours moyen deuxième année d'école élémentaire et en classe de sixième, au collège ;
- le cycle 4, *cycle des approfondissements*, en classes de cinquième, de quatrième et de troisième, au collège.

¹⁰³ Cycle 2 des apprentissages fondamentaux, cycle 3 de consolidation, cycle 4 des approfondissements.

Le collège s’intègre, à la fois dans le cycle 3 avec la classe de 6ème qui doit construire une progression et une cohérence avec les classes de CM1 et CM2, et dans le cycle 4 avec les classes de 5^{ème}, 4^{ème} et 3^{ème}. Tous les programmes sont modifiés en même temps. Ceux ci reposent sur une nouvelle conception. Ce n’est plus la simple juxtaposition de programmes disciplinaires annuels, imposant à l’enseignant des démarches, des contenus, des progressions visant un élève d’un point de vue général. Ils s’inscrivent dans un projet global, s’adressant à « l’Élève », et sont plus attentifs à la totalité de son expérience d’apprentissage. Ce projet définit les cycles d’étude précités et englobe le socle de connaissances, de compétences et de culture. Les programmes renseignent sur les enjeux et les objectifs de formation de chaque cycle, mettant en valeur l’apport des différents champs disciplinaires à l’apprentissage des cinq domaines de formation du socle commun. Ils mettent en valeur également les niveaux de maîtrise attendus à la fin du cycle, les connaissances et les compétences à acquérir par champ disciplinaire ou discipline. Dans le bulletin officiel, nous trouvons les attendus de fin de cycle ainsi que les connaissances et compétences associées, qui donnent des indications sur le socle par rapport au programme. Ces dernières permettent également de mieux construire son enseignement d’un point de vue didactique. Les indications pédagogiques se trouvent dans la colonne des exemples de situations d’activités et de ressources pour l’élève. Enfin, des repères de progressivité permettent de définir une gradation des apprentissages dans le temps. Cette réforme se caractérise également par l’apparition des enseignements de pratiques interdisciplinaires (EPI) qui permettent de croiser les acquis disciplinaires et de leur donner du sens en cohérence avec les nouveaux socles et programmes.

En annexe¹⁰⁴, nous avons répertorié, pour chacun des cycles, les notions communes à notre objet d’étude.

1.2.1. Le cycle 2 à l’école primaire.

Au cours du cycle 2, l’élève a « *exploré, observé, expérimenté, questionné le monde qui l’entoure* »¹⁰⁵. Il a appris à identifier les trois états de la matière et à observer des changements d’état. L’eau est prise comme exemple car courante dans la vie quotidienne. L’observation se situe dans le monde macroscopique et notre objet d’étude n’est pas traité.

1.2.2. Le cycle 3 à l’école primaire et au collège.

Le cycle 3 englobe les SVT, les SPC et les mathématiques dans un enseignement appelé l’enseignement des Sciences et de la Technologie. Nous reprenons les objectifs du programme¹⁰⁶ de ce cycle indiqué dans le BO sous forme du tableau ci- dessous :

Faire acquérir aux élèves une culture scientifique et technique.	Apprendre à adopter une approche rationnelle du monde.
Apprendre progressivement à mener une tâche complexe.	Mener une démarche de projet.

Tableau 5. Objectifs du programme du cycle 3.

¹⁰⁴ Annexes 11 et 12. Parties sur le concept d’atome cycle 3 et 4.

¹⁰⁵ Bulletin officiel spécial n°48 du 24 décembre 2015 de l’Éducation Nationale (p 185).

¹⁰⁶ Ibid., (p 94).

Le découpage de ce programme s'organise en quatre thèmes principaux : « *Matière, mouvement, énergie, information ; Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent; Matériaux et objets techniques ; La planète Terre, les êtres vivants dans leur environnement* ».

Les repères de progressivité nous indiquent qu'entre les cycles 2 et 3, l'élève a parcouru les notions d'état physique et de changement d'état, ainsi que les notions de mélange et de constituants d'un mélange, d'un point de vue macroscopique. Au cours du cycle 3, les mêmes notions sont parcourues, mais avec comme objectif la généralisation et l'abstraction. Il est donc conseillé de privilégier la démarche consistant à partir du concret et des représentations de l'élève.

1.2.3. Le cycle 4 au collège.

Quatre thèmes interdépendants scindent ce cycle tout en faisant « *l'objet d'approches croisées, complémentaires et fréquentes*¹⁰⁷ » : L'organisation et transformations de la matière, mouvement et interactions, l'énergie et ses conversions, et des signaux pour observer et communiquer. Le cycle 4 va approfondir ce qui a été enseigné en cycle 3, en introduisant les modèles de description microscopique de la matière et de ses transformations, ainsi que le langage scientifique attendant. Les mesures quantitatives sur la conservation de la masse, la non conservation du volume et la proportionnalité entre masse et volume, miscibilité et solubilité, viennent renforcer ce qui a été étudié précédemment. La grandeur masse volumique, qui est nouvelle par rapport aux anciens programmes, peut être introduite dès la 5^{ème} pour discuter de sa valeur, cependant le calcul ne s'effectuera qu'en classe de 4^{ème}. Nous pouvons relever quelques préconisations en lien avec notre objet d'étude comme :

- les activités proposées, qui permettent d'introduire des exemples de transformations, sont liées à l'histoire des sciences et à des situations de la vie courante. L'introduction des équations de réaction, modèles des transformations chimiques, peuvent être introduites dès la classe de 4^{ème} ;
- le tableau périodique, notion qui n'apparaissait pas dans l'ancien programme, a pour objectifs de classer et repérer des atomes constitutifs de la matière. L'acquisition de l'élément chimique n'est pas requise, mais néanmoins, la justification de la place de l'atome dans la classification périodique implique l'étude du numéro atomique, ce qui sous-entend sa parfaite connaissance ;
- la constitution de l'atome, dans son intégralité, sera enseignée préférentiellement en classe de 3^{ème}. Les notions, protons, neutrons et nucléons, exclus de l'ancien programme, sont cette fois introduites.

1.2.4. Récapitulatif: qu'est ce qui change en 2016 ?

L'innovation réside dans la construction curriculaire de l'apprentissage, puisque cette réforme laisse entière liberté à l'enseignant pour élaborer sa progression sur le cycle. C'est une immense amélioration car, selon le public, les obstacles rencontrés et l'évaluation diagnostique sur un concept donné, l'enseignant va pouvoir concevoir sa séquence d'enseignement comme il l'entend.

De plus la démarche est spiralaire, ce qui sous-entend que la démarche d'apprentissage prévoit qu'une même notion soit étudiée à divers moments, dans plusieurs contextes et avec des niveaux de difficulté différents. Cependant, des progressions et des préconisations ont été proposées par l'inspection académique pour les enseignants qui le souhaiteraient. Les objectifs

¹⁰⁷ Bulletin officiel spécial N°48 du 24 décembre 2015 de l'Éducation Nationale (p 329).

étant ciblés par cycle, l'élève devrait s'affranchir de ses difficultés en ayant davantage de temps pour s'approprier les concepts.

L'introduction des EPI oblige les équipes disciplinaires et interdisciplinaires à travailler ensemble, dans le but d'amener de la cohérence et du sens aux apprentissages. Néanmoins, la dérive de reproduire par souci de facilité, le schéma des itinéraires de découverte n'est pas à négliger. Des activités, mises bout à bout, sont souvent dépourvues de sens et ne relèvent que d'une production finale. Dans cette thèse, je proposerai un outil qui permettra de construire, pour un cycle donné, le cheminement d'un concept. Cet outil pourra être intégré dans une progression ou dans l'élaboration d'un EPI.

D'un point de vue notionnel et conceptuel, nous notons peu de changement. Le modèle de l'atome est peu à peu construit avec les élèves selon les besoins. Les atomes ne seront pas introduits immédiatement pour décrire les différents états de la matière, ni même pour comprendre la conservation de la masse, en revanche, ce modèle sera employé à propos des notions de réactifs et produits dans une transformation chimique. Il sera ensuite complété de la structure interne de l'atome en vue de circonscrire les charges des ions.

Après cette observation des programmes actuels relatifs à notre objet d'étude, il nous semble intéressant de retracer l'évolution de la construction de l'atome au cours des programmes de collège, de 1977 à nos jours, et la construction didactique attenante. Nous pourrions alors proposer notre choix quant à la construction de ce concept qui tiendra compte de la didactique instrumentale que nous souhaitons mettre en place.

2. Étude de l'ordre de présentation des concepts concernant notre objet d'étude dans les programmes de collège entre 1977 et 2016.

Je me suis intéressée à l'ordre d'introduction des concepts d'atome, de molécule et d'ion ainsi qu'à la présentation de leurs modèles dans les programmes. D. Brehelin et M. Guedj¹⁰⁸ (2007) ont dressé un tableau mettant à jour l'ordre d'apparition de ces concepts au collège pour les programmes de 1977, 1985, 1993, 1997 et 2006. M'appuyant sur les progressions proposées par le ministère de l'Éducation nationale, j'ai complété ce tableau en y ajoutant une colonne relative aux programmes de 2016.

¹⁰⁸Annexe 13. Évolution dans l'ordre de présentation des concepts, symboles et modèles et des classes dans lesquelles ils apparaissent selon Brehelin D, Guedj (2007) p132 -133.

Ci-dessous, le tableau complet est présenté :

PROGRAMMES SUCCESSIFS						
Date de début d'application	1977	1985	1993	1997	2006	2016
SPC enseignées en classe de	6 ^e , 5 ^e , 4 ^e , 3 ^e	6 ^e , 5 ^e , 4 ^e , 3 ^e	4 ^e , 3 ^e	5 ^e , 4 ^e , 3 ^e	5 ^e , 4 ^e , 3 ^e	6 ^e , 5 ^e , 4 ^e , 3 ^e
Concept, symbole ou modèle introduit						
Élément	5 ^e - 1					4 ^e 7
Modèle particulière	4 ^e - 2	5 ^e -3		5 ^e -1	4 ^e - 1	5 ^e - 1*
1 ^{er} modèle de l'atome (boule)	4 ^e - 3	5 ^e -1	4 ^e - 4	4 ^e - 3	4 ^e - 3	4 ^e -3*
2 ^{ème} modèle de l'atome (structure)	4 ^e - 4	4 ^e - 4	3 ^e - 7	3 ^e - 7	3 ^e - 9	3 ^e 9
Symbole atome	4 ^e - 5	5 ^e - 1	4 ^e - 4	4 ^e - 4	4 ^e - 4	4 ^e 4
Symbole électron	4 ^e - 6	4 ^e - 5	3 ^e - 8	3 ^e - 8	3 ^e - 7	3 ^e -8
Ion	4 ^e - 7	4 ^e - 6	4 ^e - 2	3 ^e - 9	3 ^e - 8	3 ^e 9
Formule ion	4 ^e - 7	4 ^e - 6	4 ^e - 3	3 ^e - 10	3 ^e - 10	3 ^e 11
Équation-bilan ionique	4 ^e - 8	4 ^e - 7	3 ^e - 9	3 ^e - 11		3 ^e 12
Molécule	3 ^e - 9	5 ^e -2	4 ^e - 1	5 ^e -2	4 ^e - 2	5 ^e – 2*
Formule molécule	3 ^e - 9	5 ^e -2	4 ^e - 5	4 ^e - 5	4 ^e - 5	4 ^e 5
Équation-bilan moléculaire	3 ^e - 10	3 ^e - 8	4 ^e - 6	4 ^e - 6	4 ^e - 6	Équation de réaction ¹⁰⁹ dès 4 ^e -6

Tableau 6. Évolution de l'ordre de présentation des concepts, symboles et modèles.

Le premier chiffre correspond à la classe où le concept est présenté, et le deuxième, à l'ordre d'apparition durant la scolarité et le symbole * signifie que l'ordre d'apparition est une suggestion et n'a pas un caractère obligatoire. Cette dernière est basée sur les documents d'accompagnements des nouveaux programmes¹¹⁰ (2016) et n'est pas figée, puisque les apprentissages se réalisent sur un cycle. L'enseignant reste libre de changer cette progression.

Le tableau peut nous interpeller sur les tâtonnements des différents concepteurs de programme quant à l'introduction des différents concepts. Nous observons que le concept « élément », disparu en 1985, réapparaît en 2016, avec la notion de classification périodique. Le modèle particulière a été proposé alternativement en 5^{ème} et en 4^{ème}. En 2016, il est suggéré de nouveau en 5^{ème}. Brehelin et Guedj¹¹¹ nous montrent les fluctuations de l'introduction des concepts selon les programmes, mais également les justifications différentes de l'utilisation des modèles. Ils pointent les difficultés des concepteurs de programme qui ne sont certainement pas sans relation avec la nature des concepts. Nous retiendrons que les programmes de 1977 et 1985 introduisaient « l'enseignement de la chimie sous son aspect microscopique » avec « une logique ascendante », l'atome était le premier concept enseigné, il venait expliquer les phénomènes macroscopiques. De nos jours, les programmes ont une logique inverse, ils partent

¹⁰⁹ Équation bilan n'est plus en vigueur, le terme employé est équation de réaction.

¹¹⁰ Annexe 14. Propositions de progression sur le concept d'atome étudié dans les nouveaux programmes de collège (2016) du cycle 4.

¹¹¹ Brehelin D, Guedj M (2007) p146 147.

des phénomènes macroscopiques et sollicitent les aspects microscopiques dans un deuxième temps, ceci pour donner davantage de sens à l'élève. Le modèle est conçu pour permettre une meilleure compréhension du monde. Je rejoins les auteurs qui se questionnent sur le bien-fondé de cette stratégie didactique. Il est certain que les concepteurs des programmes souhaitent donner du sens aux concepts et aux apprentissages et je les rejoins, mais n'est-il pas possible de partir du modèle, tout en donnant du sens aux savoirs ? Observons l'explicitation du modèle moléculaire et particulaire ; certains programmes favorisent l'amalgame entre molécule et particule, ce qui peut devenir un obstacle didactique pour l'élève. « *Le terme molécule ne remplace pas celui de particule*¹¹² » Brehelin et Guedj font un parallèle avec les philosophes grecs de l'antiquité qui définissent la particule comme « *grain de matière* » ou « *plus petite partie de matière* ». Ce qui engendre le problème central de la « *continuité* » ou « *discontinuité* » de la matière. « *C'est cette particule qui se révélera, selon le cas, au cours de l'histoire, molécule, atome ou ion*¹¹³ ».

A l'instar des pensées de Brehelin et Guedj, il nous semble que l'introduction du modèle particulaire, peut être présenté très naturellement en classe de 5^{ème} en continuité du programme de SVT¹¹⁴ de 6^{ème} qui présente la cellule. Les programmes de 2016 y font référence, en donnant cette ouverture possible à l'enseignant. L'aspect calculatoire n'est pas conditionnel à la bonne compréhension. Les programmes de 2006 sont là pour appuyer cet avis. Ils relatent que l'étude de la matière et ses transformations appartiennent au domaine du raisonnement qualitatif. De plus, d'autres pays, comme l'Allemagne et l'Angleterre, ont de très bons résultats quant à la présentation de ce modèle dès les premières années d'enseignement¹¹⁵. Partant du principe que les élèves s'approprient facilement la notion de particule microscopique, la notion d'homogénéité serait judicieuse à enseigner afin de suivre la démarche d'antan. Elle était évoquée dans les programmes de 1997 au travers de l'aspect de la matière qui dépend de l'échelle d'observation. Ce programme donne « *un exemple simple qui a inspiré les philosophes de l'antiquité [...] celui d'une plage de sable dont le caractère granulaire n'apparaît qu'à l'observation rapprochée. C'est l'extrapolation de cette idée vers le domaine microscopique qui est à l'origine de l'hypothèse atomique* »¹¹⁶

Afin de compléter cette étude des programmes, nous avons collecté des activités sur l'atome, soit créées par des enseignants, soit dans les manuels scolaires, soit proposées dans les documents d'accompagnement, afin de rendre compte de la construction de ce concept et de ses modèles sur le terrain. Nous avons ciblé les difficultés rencontrées par les élèves par rapport aux choix didactiques proposés. Le but est d'identifier les réussites, mais aussi les axes de transformation à prendre en compte dans notre étude.

3. Les activités proposées aux élèves sur le concept d'atome.

Qu'entendons-nous par activités en classe ? Dans les textes officiels, la notion "d'activités" en classe recouvre ce qui est demandé aux élèves de faire, en lien avec les objectifs d'apprentissages. Pour Nicole Delvove¹¹⁷, le concept d'activités « *regroupe l'ensemble des éléments qui définissent la tâche prévue c'est à dire les activités proposées aux élèves en lien avec des objectifs de construction de connaissances et de compétences par ces derniers* ». En psychologie, le concept d'activités correspond à l'ensemble des processus mentaux qu'un individu met en place

¹¹² Ibid., p 148.

¹¹³ Ibid., p 148.

¹¹⁴ Sciences de la Vie et de la Terre.

¹¹⁵ Chomat A, Larcher C, Meheut M (1988) p 143-184.

¹¹⁶ Brehelin D, Guedj M (2007) p 149.

¹¹⁷ Delvové N (2006) disponible sur <http://www.cahiers-pedagogiques.com/Metacognition-et-reussite-des-eleves>.

pour réaliser une tâche. Nous pensons que ces deux définitions doivent être reliées. Nous rejoignons l'auteur précité, qui affirme que les activités construites par l'enseignant doivent prendre en considération les activités mentales, que les élèves mettent en œuvre pour apprendre. « *C'est par la médiation cognitive que l'enseignant donne à l'élève les moyens d'apprendre et donc les clés pour sa réussite scolaire* »¹¹⁸.

Dans notre étude, nous différencierons une activité documentaire, qui demande à l'élève de s'approprier des connaissances dans des documents avant de répondre aux questions, mais qui ne favorise pas vraiment l'élaboration d'un raisonnement, d'une situation-problème ou d'une tâche complexe, qui demandent une démarche scientifique et ainsi permet aux élèves d'être conscients des stratégies d'apprentissages à adopter pour comprendre le monde.

Nous avons collecté différentes activités avec trois approches différentes, en utilisant une granulométrie de plus en plus fine. Nous les avons répertoriés en trois niveaux qui permettent de montrer une gradation entre les approches. *Le premier niveau* a consisté à collecter des activités auprès d'enseignants et dans les manuels scolaires. Celles-ci reflètent une approche où les modèles sont fournis, clé en mains, par l'enseignant. *Le deuxième niveau* a permis de collecter des activités plus élaborées dans les accompagnements de programme, préparées par des didacticiens ou des groupes de chercheurs. Ces derniers proposent un modèle qu'il faut utiliser pour comprendre, par exemple, un changement d'état. Les élèves, en classe font fonctionner ce modèle. Enfin, ayant pu cibler les obstacles des élèves quant à notre objet d'étude, *le troisième niveau* fait référence à des activités pouvant répondre à une remédiation. Ce dernier niveau propose une approche où l'élève construit lui-même un modèle, qu'il va, par la suite, faire fonctionner de manière comparative.

3.1. Approche de niveau 1.

Quel que soit le niveau d'enseignement, nous constatons que l'enseignant prend appui sur l'histoire des sciences pour présenter les différents modèles de l'atome. Très souvent le document s'appuie sur des textes scientifiques trouvés dans les manuels scolaires, relatant l'histoire de l'atome et ses modèles au cours du temps. Après lecture, l'élève fait correspondre le schéma du modèle de l'atome avec le savant qui lui est attribué. L'activité s'achève sur une étude plus approfondie du dernier modèle que doit connaître l'élève. Ce dernier découvre ses caractéristiques et sa structure.

L'histoire des sciences intervient ici uniquement comme support directement exploitable par les élèves. L'histoire des sciences devrait devenir également un outil pour l'enseignant, certains raisonnements des élèves étant proches des scientifiques d'antan. En général, les activités proposées par les enseignants n'ont pas ce dernier statut. De même nous constatons que l'activité cognitive de l'élève est relativement réduite dans ces activités. En effet, les tâches se résument à l'appropriation de documents et au réinvestissement des connaissances. A aucun moment, nous ne trouvons une véritable construction cognitive des modèles et du concept lui-même. En dernier point, les animations proposées aux enseignants reprennent l'évolution du modèle au cours de l'histoire, et les élèves sont alors invités à s'approprier le contenu pour répondre à un questionnaire. Ces activités ne mettent pas réellement l'élève en situation de problématisation.

Dans les nouveaux programmes de collège, la construction des activités est plus moderne que les précédentes, puisqu'elle utilise de nouveaux supports numériques. Cependant, le contenu et le mode d'apprentissage ne sont pas très différents des anciens programmes. En guise d'appui, sur ce que nous venons d'avancer, en annexe, nous avons sélectionné :

¹¹⁸ Barth (1993) p 79.

- des activités¹¹⁹ « élève » produites par les enseignants de collège ou recueillies sur les sites académiques ou encore dans les manuels scolaires juste avant les nouveaux programmes ;
- une activité¹²⁰ numérique dans le cadre de classe inversée (niveau 3^{ème} ou seconde). L'élève prépare un travail personnel de découverte sur l'atome au moyen d'une vidéo «Opale» ;
- une activité¹²¹ proposée dans les accompagnements des nouveaux programmes de collège en fin de cycle 4 ;
- quelques activités¹²² en classe de seconde de lycée, recueillies de la même façon que celles du collège ;
- quelques animations et vidéos¹²³ sur lesquelles l'enseignant peut s'appuyer.

Nous constatons que, même si le rôle de la modélisation est reconnu essentiel, les enseignants proposent peu de réelles activités de modélisation. La construction cognitive est donc limitée. Nous qualifions cette approche de modèle de formation, comme transmissive. A aucun moment, l'élève réfléchit. La démarche ne relève pas d'un raisonnement que l'élève doit réaliser mais plutôt d'un processus 'd'inculcation et d'imposition. Le lieu du savoir se situe chez l'enseignant.

3.2. Approche de niveau 2.

Restant sur notre relative insatisfaction quant à la nature des activités proposées aux élèves, nous avons recherché des activités soumises par des didacticiens où un processus de conceptualisation ou de modélisation est mis en place. Nous avons trouvé dans des documents d'accompagnement (anciens programmes de collège) cinq documents¹²⁴, relatifs au modèle de l'atome. Ces derniers permettent aux élèves de discuter du choix du modèle selon la partie étudiée. C'est déjà une belle avancée qui propose cette fois une approche constructiviste.

Nous avons alors porté notre attention sur quelques préconisations didactiques qualifiées de fondamentales, qui reflètent la construction du concept. Dans la partie « *Introduction d'un modèle particulière* », Martine Méheut propose des activités¹²⁵ plus conceptuelles sur quelques phénomènes physiques, visant les élèves à construire une représentation particulière de la matière dans une démarche de modélisation. D'un point de vue didactique, l'élève doit s'approprier de manière active un modèle simplifié de la matière, la méthode consistant à prendre connaissance du modèle, à l'appliquer à des situations expérimentales définies et à l'adapter à de nouvelles descriptions. Le modèle initial est défini, on représente un gaz comme un ensemble de particules invisibles à l'œil nu et au microscope ayant les propriétés suivantes : une particule ne se coupe pas, garde les mêmes dimensions et la même masse et ne se déforme pas. En créant ce postulat, l'erreur didactique consistant à expliquer une augmentation de volume par le fait de molécules qui grossissent, ou se multiplient, devrait être évitée. Au fur et à mesure des situations expérimentales vécues, l'élève va faire évoluer son modèle.

¹¹⁹ Annexe 15. Activités (1 à 5) proposées aux élèves de collège.

¹²⁰ Annexe 16. Activité (6) proposée dans le cadre d'une classe inversée en 3^{ème} de collège sur l'atome.

¹²¹ Annexe 17. Activité (7) proposée dans le cadre des nouveaux programmes de collège 2016 (fin de cycle).

¹²² Annexe 18. Activités (8 à 14) proposées au lycée en classe de seconde sur le concept d'atome.

¹²³ Annexe 19. Animations sur le modèle de l'atome.

¹²⁴ Annexe 20. Documents (1 à 5) «De l'évolution du modèle moléculaire à la réalité de la molécule».

¹²⁵ Annexe 21. Activités (15 à 19), « Activités proposées dans les programmes (2008) de SPC de collège revisités en octobre 2016 ».

L'enseignant a alors plusieurs possibilités de progression didactique pour la construction du nouveau modèle :

- dans l'étude des gaz, il se repose sur la compressibilité¹²⁶, ce qui amène à l'étude de la dispersion et du vide. Puis l'élève devra reconnaître la conservation du type de particules. Cette première possibilité semble la plus propice à l'introduction du modèle initial ;
- l'élève devra interpréter le fait que l'air est un mélange¹²⁷, ce qui permettra de définir les notions de corps purs et mélanges ;
- l'auteur préconise une expérience de diffusion gazeuse pour une meilleure compréhension du modèle lorsque les particules s'agitent. L'exemple type étant le dioxyde d'azote de couleur orange avec de l'air incolore ;
- l'interprétation de certaines propriétés de l'état solide que l'on oppose à l'état gazeux ;
- l'enseignant peut également interpréter les propriétés de l'état liquide.

La suite donne deux voies didactiques à l'enseignant : soit de représenter des échantillons macroscopiques et d'interpréter les transformations physiques, mais le risque didactique est important de superposer les deux niveaux (macroscopique et moléculaire), soit de représenter de très petits échantillons de matière, ce qui permet de dissocier le niveau des phénomènes observables et celui des particules. L'auteur, que je rejoins, préconise cette deuxième voie.

Ce deuxième niveau permet cette fois une démarche de modélisation et apporte, de fait, une meilleure construction de l'élève. Le modèle de formation n'est plus transmissif mais davantage constructiviste.

Cependant, par expérience, nous constatons que cette démarche de modélisation n'est pas si simple à mettre en place dans une classe. L'auteur part du principe que l'élève a acquis le concept de modèle et qu'il va pouvoir le modifier au fur et à mesure. L'élève va faire évoluer un modèle dont il n'a pas de réalité. Le modèle est un outil, une image mais pas réellement étudié comme un concept en tant que discours.

Même si la dernière stratégie permet une dissociation entre phénomènes observables et celui des particules, les élèves font d'eux-mêmes, dès la connaissance des deux milieux, un amalgame, entre le monde microscopique et macroscopique, dans leurs schémas. Cette conception est renforcée également par les animations suggérées.

Enfin trouver du sens aux concepts et aux apprentissages est quelque peu difficile pour un élève avec ce type d'activités.

3.3. Approche de niveau 3.

Nous avons donc recherché une séquence d'enseignement qui proposerait de définir le concept de modèle avant toute activité de modélisation. Nous en avons trouvé une, ci-dessous, qui s'inspire de l'histoire des sciences dans la revue *Didaskalia* (2007). Son avantage est de répondre à certaines difficultés précitées comme le sens et le but d'un modèle. Brehelin et Guedj (2007) propose une séquence d'enseignement¹²⁸ en trois parties, constituées respectivement de la découverte de la notion de modèle et de deux conceptions antinomiques de la matière dans l'histoire et d'un débat relatif à la controverse de ses deux idées, ce dernier permettant le choix

¹²⁶ Annexe 21. Activité 15.

¹²⁷ Annexe 21. Activité 16.

¹²⁸ Annexe 22. Suggestion d'une séquence « inspirée » par l'histoire des sciences.

du modèle reconnu actuellement. La première partie permet à l'élève, dans une situation décontextualisée, d'élaborer un modèle et de comprendre les différentes étapes de sa construction. Selon l'angle d'approche, chacun va construire un modèle différent et un débat va naître afin de mieux comprendre comment s'établit un modèle et comment les critères vont être déterminants dans la production finale. Cette partie nous paraît essentielle dans la construction de l'élève. Elle met en évidence, qu'un chercheur ne découvre pas un modèle au hasard mais, qu'il existe véritablement, une démarche d'investigation avec des questions, des hypothèses et un protocole de validation des hypothèses. Quand ce prérequis est garanti, l'élève va pouvoir schématiser deux autres modèles autour de l'objet d'étude considéré (le modèle de la matière) à partir de deux idées historiques différentes. Les auteurs utilisent ainsi une approche par analogie modélisante. Ils souhaitent que les élèves fassent le transfert de ce qu'ils viennent de comprendre sur le modèle de l'éléphant (il n'est pas réel, c'est une représentation que chacun donne) sur le monde atomique.

L'autre avantage de cette séquence d'enseignement est d'apporter des solutions à notre souci d'inscription temporelle des concepts étudiés dans les programmes. Elle inscrit ces concepts dans un contexte historique, ce qui n'est jamais évoqué dans les accompagnements des programmes et qui me semble regrettable. Les auteurs la circonscrivent d'arguments pédagogiques et didactiques supplémentaires quant à son bien-fondé. Elle se traduit par :

- Un débat dans la classe et amène chacun à réfléchir, à argumenter ses choix auprès de ses pairs.
- La comparaison du cheminement cognitif de chacun et celui de l'histoire,
- La discussion sur « *le statut de l'erreur, en montrant que la science s'est construite grâce aux tâtonnements successifs, aux erreurs et remises en cause... et la place de l'expérience dans la démarche* ». ¹²⁹

Au regard de toutes ces remarques, c'est ce type d'activité que nous considérons comme complète quant à une réelle construction cognitive de l'élève. Elle rejoint les scientifiques qui délaissent un modèle au profit d'un autre, pour valider leurs hypothèses. Pour le pédagogue, elle répond aux cinq conditions explicitées par Develay (2012) pour apprendre: trouver du sens, acquérir une habileté cognitive, analyser sa stratégie, relier la nouvelle habileté acquise aux autres et s'assurer de la bonne compréhension.

4. L'importance du modèle.

Nous venons d'identifier l'intérêt du modèle aussi bien dans l'évolution historique de l'atome que dans la mise en place des activités de modélisation. La place du modèle a du sens dans :

- l'histoire, nous avons vu les avancées, mais également les ruptures épistémologiques du modèle de l'atome qui entraînent des conséquences sur la science ;
- le travail du didacticien, puisque la manière de modéliser peut être un étayage ou à contrario peut représenter un obstacle ;
- le développement de l'enfant, puisqu'il va intervenir dans la manière dont l'enfant structure sa pensée d'un point de vue conceptuel.

Au regard des remarques ci-dessus et de mon constat de départ quant à la difficulté d'enseigner le concept d'atome, je vais me rapprocher d'aspects plus psychologiques en interrogeant la didactique.

¹²⁹ Brehelin D, Guedj M (2007) p 150.

PARTIE 2 : LE CADRE THÉORIQUE.

Nos questionnements initiaux nécessitent le recours à un cadre théorique qui sera composé en trois parties. Dans le chapitre 3, nous identifierons le cadre de travail et les limites de la didactique et de la pédagogie en rendant compte d'un point de vue épistémologique de leur évolution, tantôt rassemblées tantôt opposées, puis au chapitre 4, nous convoquerons les théories d'apprentissage, en montrant la venue progressive de l'anthropologie. Le chapitre 5 sera consacré à notre hypothèse de recherche et au cadre dans lequel se fait cette recherche. Nous exposerons que les théories d'apprentissage du chapitre 4, même si bien abouties, sont insuffisantes pour répondre à notre question de recherche. Il nous faudra, de fait, convoquer les théories du développement en chapitre 6 et choisir la plus adaptée à notre question de recherche. Nous consacrerons les chapitres 7, 8 de la partie 2 respectivement à l'étude de la théorie instrumentale de Vygotski et la Zone de Plus Proche Développement¹³⁰ incrémentée de la cognogénèse et de la cognomorphose. Le chapitre 9 concernera les outils dans la médiation appelés médiateurs internes et externes. Il insérera également, in fine, la construction d'un médiateur externe sous forme de cartes conceptuelles pour les besoins des expérimentations futures.

Chapitre 3 : la didactique et la pédagogie.

Le pédagogue a besoin du didacticien pour préparer son cours et de fait, faire sa classe et le didacticien a besoin de savoir ce qui se passe dans la classe pour préparer la séquence de cours. Où s'arrête le travail des uns et des autres ? Faut-il vraiment les délimiter ? Nous souhaitons éclairer les deux positions dans ce chapitre, montrer les différences mais également les liens possibles. Et pourquoi pas, comme le suggère Sensevy (2009), reconfigurer les recherches en didactique et les sciences de l'éducation en « *une (petite) entreprise résolument tournée vers le futur*¹³¹ ».

Le triangle didactique de Jean Houssaye nous renvoie à une problématique ou dilemme : quelle place relative doit-on accorder au savoir par rapport aux élèves et inversement quelle place doit-on laisser aux élèves par rapport au savoir ? Ce qui revient à dire quelle relation existent et entretiennent les deux axes de la didactique et de la pédagogie ?

1. Les différences.

Develay (1997) propose trois grands types d'attitudes pour un didacticien : « *il décrit, prescrit ou suggère des actions d'apprentissage- enseignement* ». ¹³² Afin de convoquer la littérature du domaine dont la didactique et la pédagogie relèvent, nous tentons de mieux discerner la différence entre ces deux concepts.

¹³⁰ ZPPD.

¹³¹ Sensevy G (2009) p 49.

¹³² Develay M (1997) p 62-63

Le tableau ci-après permet, à partir de quelques critères, de distinguer les deux concepts.

Différences entre les deux concepts		
Critères	<i>Didactique</i>	<i>Pédagogie</i>
Place	Elle est attachée aux contenus disciplinaires et à leurs processus d'apprentissage.	Elle donne un style d'enseignement sur le terrain.
Discipline convoquée	Ancrée dans sa discipline à l'exception des travaux d'Alain Mercier ¹³³ en didactique comparative qui en convoque plusieurs.	Traverse les disciplines.
Le référent	Le chercheur.	L'enseignant.
Objectif	Réflexion sur la transmission des savoirs.	Orientation vers les pratiques d'élèves en classe.
Lien avec	Les différents courants de pensée. Le développement de l'enfant. Les théories de l'apprentissage. Les disciplines.	Les savoirs. Le fonctionnement de la classe dans son ensemble. Les modes de relations entre les individus. L'environnement. Les conditions de travail.
Adaptation	L'évolution des apprentissages.	Les événements pouvant survenir dans une classe. Le niveau des élèves.

Tableau 7. Quelques critères permettant de différencier la didactique et la pédagogie.

Ce premier tableau, hormis les caractéristiques des uns et des autres, permet de cibler quel est le travail, en amont, pendant et en aval de la séance d'enseignement de chacune. Il éclaire d'une part sur le travail collaboratif qui peut avoir lieu entre le didacticien et l'enseignant en amont et en aval de la séance d'enseignement mais il dévoile également la grande solitude que peut ressentir l'enseignant dans sa classe. A l'issue de ce premier constat, nous avons résumé dans le tableau ci-dessous le type de questions que se posent le didacticien et l'enseignant en préparant une séquence d'enseignement.

<i>Didacticien</i>	<i>Pédagogue</i>
Quelles connaissances à faire passer ?	Quelle organisation dans ma classe?
Comment les élèves vont-ils intégrer ces connaissances ?	Quelle transmission dans les Savoirs?
Quelles théories d'apprentissage à mettre en œuvre ?	Quelle progression quels enchaînements?
Quel processus ?	Quelles réponses à donner aux questions posées par la difficulté d'apprentissage

Tableau 8. Questions prioritaires du didacticien et du pédagogue en aval de la séance.

¹³³ Mercier A (2008).

Ce tableau est complémentaire et vient également caractériser le travail respectif de chacun. Chacun répond à un registre différent, l'un est lié au processus d'apprentissage, l'autre à la transmission des savoirs dans un contexte particulier. La préparation de l'enseignant ne peut pas prendre en compte, en totalité, les facteurs inhérents à l'élève, comme des conditions déplorable de gestion de classe. Celle-ci ne peut pas prendre en considération, également, chaque élève ; celui qui, à un instant T, n'arrive pas à franchir l'obstacle même si un dispositif (objectif obstacle¹³⁴) a été mis en œuvre pour le surmonter. Je rejoins Martinand qui indique que « lorsqu'on cherche à préciser des objectifs en tenant compte des contraintes déjà imposées, on définit seulement des objectifs possibles »¹³⁵. Le travail collaboratif entre didacticiens et pédagogue a ses limites, il n'est possible qu'en amont et qu'en aval de la séance de cours et ne vise qu'un modèle général de type d'élèves. Or, nous observons de plus en plus des classes très hétérogènes qui demandent un accompagnement personnalisé.

In fine, observons, brièvement d'un point de vue épistémologique ce duo didactique et pédagogique afin de rendre compte de son évolution et de ses limites.

2. Postures du duo « didactique pédagogie ».

La pédagogie a été longtemps associée à la didactique. Depuis chacune semble avoir un rôle propre tout en trouvant des moments de rencontre. Un des premiers ouvrages à relaté ces deux noms est « *La didactica magna* » où Comenius, présente « *la pédagogie en science autonome* » et il identifie l'enseignant comme « *serviteur de la nature* » Ci-dessous je vais dresser rapidement une revue de littérature relative au duo didactique et pédagogie.

2.1. Didactique et pédagogie du côté des Sciences humaines.

D Lacombe¹³⁶ (1968) écrivait dans l'encyclopédie Universalis: « *actuellement le terme didactique est surtout utilisé comme quasi synonyme de pédagogie* ».

Par la suite, De Corte a proposé le néologisme de « *didaxologie* »¹³⁷ dans le but de conférer à la didactique un statut scientifique ; peine perdue, « *la didaxologie* » et les propos de De Corte ressemblent à s'y méprendre à de la pédagogie.

Giordan sera précurseur pour définir le champ de la didactique par rapport à l'enseignement en général et c'est dans les années 1980-1985 que la didactique délimitera effectivement sa place en proposant deux types de réflexion de nature épistémologique et psychologique. Cette didactique sera là aussi implicitement pour créer des pratiques d'enseignement.

2.2. Didactique et pédagogie du côté des Sciences de l'Éducation.

« *Le grand point de la didactique, c'est à dire de la science à enseigner, c'est de connaître les connaissances qui doivent précéder et celles qui doivent suivre, et la manière dont on doit graver dans l'esprit les unes et les autres* ».¹³⁸

Mialaret, un des fondateurs des sciences de l'éducation, présente en 1976 la didactique comme l'une des composantes des sciences de la relation pédagogique et quinze ans après en 1991, dans la revue « *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle* », il renverse la situation

¹³⁴ Concept proposé par Martinand J-L (1986) qui permet à partir de l'obstacle d'en faire un objectif d'enseignement.

¹³⁵ Martinand J-L (1983) p 246.

¹³⁶ Cité par Astolfi J-P, Develay M (

¹³⁷ De Corte E, Geeligs T, Peters J, Langerweis N, Vandenberghe R (1992).

¹³⁸ Du Marsais (1729) cité par Cornu L, Vergnion A (1992).

en affirmant que la didactique est composée de la pédagogie et qu'elle caractérise les conditions de transmission.

En 1997, Fabre¹³⁹ précise en caractérisant la pédagogie comme vigilance au sens, dans ses trois dimensions de manifestation, de signification et de référence. Fillon (2001) complète en précisant que le but de la pédagogie est d'identifier des stratégies et des méthodes qui vont définir « *la transmission sociale ou interindividuelle du savoir* ».

Meirieu (1996) va apporter l'élément manquant : il ne souhaite pas de cloisonnement avec la didactique d'un côté, centrée sur les savoirs et la pédagogie, centrée sur l'élève, il les réunit en un seul mot apprentissage car celui-ci nécessite l'apport des deux domaines. Archambault¹⁴⁰, la même année, désigne les théories de l'apprentissage en « *un ensemble de lois ou de principes qui décrivent la manière dont l'apprentissage se déroule* ».

Yassine Zouari (2010) convoque la didactique et la pédagogie ensemble afin d'identifier les types de rationalité dont relèvent chacune. Pour la première, il parle de réflexion sur l'action éducative et définit « *une rationalité praxéologique*¹⁴¹ » et pour la seconde il identifie un questionnement des rapports et des écarts entre savoir enseigné et savoir savant et identifie « *une rationalité cognitive*¹⁴² ». Il fait bien la distinction des deux et les définit en tant que tel.

Morge (2001)¹⁴³, parlant des démarches d'investigation, signale que les recherches en didactique « *se centrent principalement sur la relation entre l'élève (ses conceptions, son activité cognitive) et son environnement d'apprentissage (tâches, situations expérimentales, démarches) laissant de côté la description du rôle tenu par l'enseignant dans cet environnement* ».

2.3. Didactique et pédagogie : entités discontinues ?

La didactique semble inclure la pédagogie dans son dispositif d'ingénierie, elle se définit comme l'étude de la situation ou la science de l'action. L'analyseur est donc la praxéologie. Le didacticien peut travailler en amont de la situation avec le pédagogue, ils peuvent établir ensemble un modèle pédagogique mais au moment de la situation, seul le pédagogue est présent et lorsque les élèves sont en difficulté, voire en grande difficulté, celui-ci peut se trouver bien dépourvu. L'élève en difficulté, l'élève singulier et l'imprévu ne font donc pas partie de cette ingénierie. Ce travail préparatoire ne suffit pas à circonscrire entièrement la situation d'apprentissage. Je rejoins Marc Weisser qui conçoit cette dernière comme « *un monde environnant expérimenté*¹⁴⁴ dans lequel l'élève est intégré, « *comme un tout contextuel au sein duquel chaque objet n'acquiert de sens que relativement aux autres qui l'entourent*¹⁴⁵ ». L'auteur prend en compte l'espace social de la classe. L'élève progresse en prenant certains éléments de la situation mais il va, également, sélectionner dans son propre corpus des objets qui vont meubler la situation. Ces derniers ne seront pas sans conséquence dans le dispositif d'apprentissage. Ce sont, ces mêmes objets qui vont déstabiliser l'enseignant et lui rendre la tâche difficile. Comment le didacticien peut-il répondre au pédagogue sur cette problématique ? A première vue, le didacticien raisonne sur un ensemble d'élèves, voire sur un élève en général, pas sur un élève en particulier. Nous rejoignons la question de Chaiklin qui débute son article¹⁴⁶ « *Quelle va être la meilleure façon d'enseigner à cet enfant en*

¹³⁹ Fabre M (1997) p 56.

¹⁴⁰ Archambault J (1996).

¹⁴¹ Zouari Y (2010) p 295.

¹⁴² Ibid.

¹⁴³ Morge L (2001) p 42.

¹⁴⁴ Dewey J (1938), Weisser M (2009) cité par Weisser M (2010) p 292.

¹⁴⁵ Ibid.

¹⁴⁶ Chaiklin S (2003) cité par Kozulin A, Gindis B, Ageyev V-S (2009) p 33.

particulier ». Les pédagogues attendent tous une réponse concrète liée à des pratiques immédiates. Je serais tentée d'ajouter une autre question : « qu'est ce qui donne sens à l'élève ? ». Il semble que la réponse ne soit pas si évidente que cela.

Au regard de toutes ces remarques et de nos commentaires dans notre introduction qui prône une didactique instrumentale, notre position est très claire : la didactique va privilégier le « comment apprendre » alors que la pédagogie engage une réflexion sur le « pourquoi apprendre ». Notre problématique s'appuie à donner du sens à l'élève en difficulté . Nous serons donc amenés à avoir deux positions dans cette thèse celle du chercheur qui tente de créer une didactique instrumentale mais celle aussi de l'enseignant qui, par son expérience connaît les difficultés des élèves et, qui sur le terrain, s'applique à donner du sens à son apprentissage. Ce sont ces deux positions que j'aurai durant cette thèse et qui faciliteront la mise en place de cette nouvelle didactique.

Partant du « pourquoi apprendre » je vais maintenant observer les différentes théories d'apprentissage au chapitre 4 d'un point de vue épistémologique. Notre but est d'étudier ces théories afin d'utiliser celle qui puisse répondre à notre problématique, qui prenne en compte l'élève en difficulté et en même temps donne sens aux apprentissages.

Chapitre 4 : l'évolution des références dans les théories de l'apprentissage : de la théorie piagétienne à l'anthropologie.

Notre étude épistémologique va rendre compte des évolutions importantes de la didactique. Encore aujourd'hui, les didactiques des différentes disciplines s'appuient sur le fondateur Jean Piaget. Il reste une référence, un bâtisseur pour le monde des didacticiens. Son travail de chercheur considéré comme perfectionniste a abouti à une théorie épistémologique. Il sera désigné comme épistémologue idéaliste, puisqu'il a été influencé par ses lectures de Kant, Hegel et Bergson et qu'il prend part au début du siècle au débat évolutionniste en tant que biologiste. Il a voulu comprendre la façon dont les structures psychiques mentales se sont construites.

1. La théorie de Jean Piaget.

Pour Piaget, la structure sera toujours première par rapport au processus. En désignant le développement il parle « *d'équilibration des structures* » et précise que « *c'est le milieu qui fait apprendre, ce n'est pas l'enseignant* »¹⁴⁷.

Cette position exprimée ici de manière très explicite par Piaget qui privilégie le milieu dans l'apprentissage en niant presque le rôle de l'enseignant peut, par sa dureté même, aiguïser notre réflexion théorique. Elle crée aussi des difficultés pour avoir notre assentiment immédiat de professionnel de la pédagogie. L'argumentation que nous allons expliciter sur la théorie de Piaget, va nous permettre de mieux comprendre cette position exprimée ici.

Piaget explique que le bébé en naissant va peu à peu catégoriser le monde. Il déclare que l'enfant applique simplement son schème. Au fur et à mesure que l'enfant met de l'ordre dans le réel, ce qui était spontané devient au fur et à mesure intentionnel. La première catégorisation est sensori-motrice mais non conceptuelle ; cette intelligence sensori-motrice se passe de langage et les acquisitions sont organisées sous forme de stades. Puis à 18 mois c'est l'arrivée de la fonction symbolique donc de la pensée symbolique. L'enfant réagit en l'absence de quelque chose dans son quotidien et ses habitudes. Piaget nous explique que c'est parce que quelque chose résiste à l'enfant qu'il va chercher des stratégies différentes. La notion de conflit cognitif prend existence ce qui va de pair avec la notion d'éducabilité. Entre 2 et 4 ans, l'enfant va devoir symboliser ce qu'il connaît comme le jeu symbolique, le dessin, et l'imitation qui est pour Piaget le déclencheur du langage. Jusqu'à 4 ans, le concept c'est à dire la généralisation n'existe pas ou que de manière ponctuelle sur des choses qu'il a rencontrées. L'enfant a une approche chronologique mais non globale. La pensée va peu à peu se complexifier et devenir intuitive, et seulement intuitive. En effet celle-ci se passe de raisonnement. Vers 7 ans, l'enfant bascule dans la pensée logique, il a alors la capacité à effectuer des opérations mentales. Son potentiel d'abstraction et de raisonnement se développe.

L'apprentissage de Piaget est de type constructiviste. Les transformations des fonctions cognitives sont expliquées par leur mode de formation successif. Chaque stade est nouveau par rapport au stade précédent mais également prédéterminé par ce dernier. Il étudie les représentations et les obstacles éventuels des élèves, il crée des objectifs obstacles pour franchir ces derniers. La théorie piagétienne a ouvert la méthodologie du conflit cognitif. Le cheminement se déroulera d'un processus qualifié d'assimilation qui mesure le défi à surmonter

¹⁴⁷ Piaget J (1975) disponible sur :
http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/textes/VE/JP75_EqStrCog_avt_propos_chap1.pdf.

et les ressources dont l'enfant dispose, à un processus d'accommodation qui en, mobilisant les ressources, permettra de résoudre le conflit cognitif, voire sociocognitif. Ce qui est étonnant c'est de parler de débat cognitif voire sociocognitif alors que le conflit reste interne. La « *maturation puis mutation* » (si répétition) permettra la création d'un schème. Cette création signifiera que l'enfant va intérioriser. Puis, la conceptualisation consistera en l'utilisation des ressources et des schèmes, construits dans un autre contexte. Pour Piaget, c'est l'auto adaptation qui va permettre à l'enfant de se développer et donc de conceptualiser. Nous détaillerons mieux le processus, en opposant Piaget dans le chapitre 6 à Vygotski. Ce processus est désigné comme un mécanisme d'auto adaptation puisque pour Piaget apprendre c'est s'adapter.

De fait, Caumeil (2006) considère ce modèle « *cumulatif, cloisonné et successif* » : « *cumulatif* » puisque le stade supérieur n'est accessible que si les stades inférieurs ont été atteints, « *cloisonné* » puisque les stades sont indépendants les uns des autres et « *successif* » car il est obligatoire de passer au stade suivant, sans pouvoir l'éviter.

Ci-dessous voici le schéma récapitulatif :

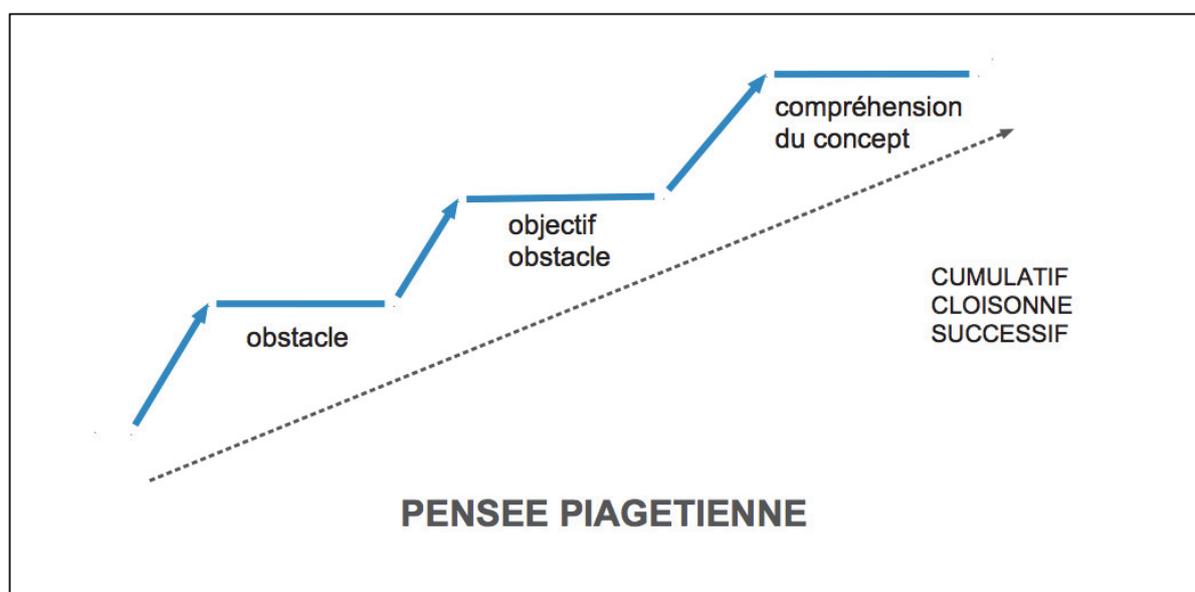


Figure 12. Modèle de la théorie de J. Piaget.

Cette théorie va être discutée en France mais aussi dans le monde. En Russie, Vygotski émettra beaucoup de critiques quant au fondement de celle-ci. Piaget s'appuie sur les structures de la pensée et aux schèmes alors que Vygotski¹⁴⁸ s'appuie sur les mots et sur les concepts. La théorie de Piaget, base de nombreux didacticiens, sera discutée par quelques opposants¹⁴⁹ en France comme Michel Brossard mais elle ne sera pas remise en cause car la production des savoirs scientifiques a été conditionnée par le rideau de fer¹⁵⁰ et nous a cantonné à une seule école. Piaget ne prendra connaissance des écrits de Vygotski à son égard, que 25 années plus tard alors même que ce dernier sera décédé. Il le regrettera. Nous pouvons penser que si cette lecture avait été effectuée plus tôt, le courant de pensée général aurait pu avoir des fondements différents.

¹⁴⁸ La théorie de Vygotski sera présentée dans le chapitre 6.

¹⁴⁹ Didacticiens ayant pris comme référence Vygotski et non Piaget.

¹⁵⁰ Désigné par l'externalisme qui introduit la problématique de la discontinuité.

Peu à peu, la pensée de Piaget va évoluer vers un caractère plus anthropologique. La création de la théorie de la transposition didactique de Chevallard vient illustrer notre propos ci-après.

2. La théorie de Yves Chevallard : La transposition didactique.

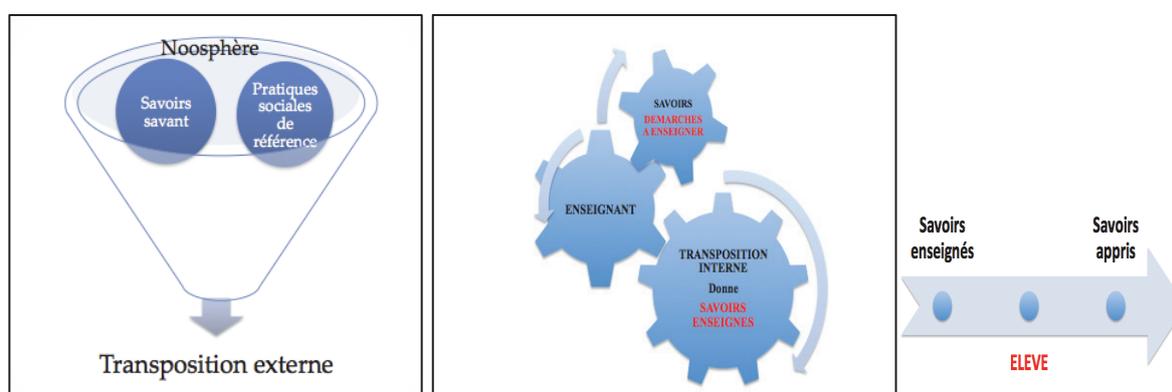
Cette théorie prend source dans le travail sociologique de Verret (1975) consacré à l'enseignement de la philosophie. C'est Chevallard qui met au point, en 1985 la transposition didactique. A l'époque, ce fut un grand pas dans l'enseignement de sciences et particulièrement dans la didactique des mathématiques. Cette théorie voit le jour en parallèle, des travaux de Brousseau en particulier sur la Théorie des Situations Didactiques¹⁵¹. Chevallard distingue différents types de savoirs : les savoirs savants, les savoirs dans les programmes, les savoirs enseignés dans la classe, les savoirs appris par les élèves et enfin les savoirs à évaluer. Il explique le mécanisme de transposition des savoirs savants en savoir à enseigner. Il le définit ainsi :

« Un contenu de savoir ayant été désigné comme savoir à enseigner subit dès lors un ensemble de transformations adaptatives qui vont le rendre apte à prendre place parmi les objets d'enseignement. Le travail qui, d'un objet de savoir à enseigner fait un objet d'enseignement est appelé transposition didactique »¹⁵².

Pour qu'un savoir devienne un objet à enseigner, il faut qu'il puisse respecter quelques obligations. Il s'agit d'une « désyncrétation du savoir¹⁵³ (...) d'une dépersonnalisation du savoir (...) d'une programmabilité dans l'acquisition du savoir (...) qui permet une acquisition progressive des expertises »¹⁵⁴. Il y ajoute une publicité du savoir que l'on retrouve dans les programmes et un contrôle des savoirs.

Les pratiques sociales de référence présentent un élément important dans la structuration des séquences didactiques. Elles font appel au principe du fonctionnement culturel des savoirs qui est défini par Geertz (1986). Un objet de savoir est lié à l'utilisation culturelle de ce même objet. Il existe un système didactique et une relation didactique qui sont concrétisés par trois objets : les élèves, un enseignant et un savoir.

Nous présentons ci-dessous le cheminement de la transposition didactique selon Chevallard :



¹⁵¹ TSD.

¹⁵² Chevallard (1991) p 49.

¹⁵³ Correspond à la possibilité de délimiter en savoirs partiels.

¹⁵⁴ Notons que Chevallard (1991) p 57 a repris à son compte ces caractéristiques données par Verret.

Figure 13. Modèle de la théorie de Y. Chevallard.

La « noosphère » délimite, caractérise et réaménage les savoirs dans un contexte social ou culturel qui permet ou non certains choix. La transposition didactique est effectuée par la noosphère et joue un rôle d'adaptation qui porte traditionnellement sur les concepts.

Develay¹⁵⁵ (1993) apporte un élargissement au concept de transposition didactique. Il renforce la place du concept de pratiques sociales de référence avec celui de la transposition didactique. La construction s'appuie sur deux processus : « l'axiologisation » caractérisant les desseins éducatifs et la « dictatisation » comme étant la tâche de création de savoirs et de demandes sociétales. La « didactisation » se produit par une phase de décontextualisation puis une phase de recontextualisation.

Samuel Johsua¹⁵⁶ (1982) s'est emparé de cette théorie pour l'appliquer au domaine de la physique. Il parle de « dénaturalisation » quand il remarque l'écart entre le savoir enseigné et le savoir savant produit par ceux qui pensent contenu d'enseignement. Il crée des outils méthodologiques. Nous les trouvons dans différents travaux comme « quelques conditions d'évolution d'un objet d'enseignement en physique : l'exemple des circuits électriques »¹⁵⁷.

Les outils méthodologiques utilisés en classe, correspondant à notre objet d'étude, se traduisent par les différents modèles historiques : le modèle particulaire et moléculaire en classe de 5^{ème}, les modèles de Démocrite et de Dalton en classe de 4^{ème}, les modèles de Thomson et Rutherford en classe de 3^{ème}, le modèle de Bohr en seconde et le modèle de Schrödinger en terminale S.

Chevallard nous propose une théorie universelle qui ne prend pas en compte l'élève en particulier, celui que je souhaite voir évoluer suite à mon constat. Il omet ici le contexte historique de la recherche d'un savoir. Ce qui sous-entend l'abandon des erreurs, des tâtonnements, des fausses pistes et des impasses que peuvent également subir nos élèves dans le contexte actuel. Le fondement idéologique est également supprimé. Develay parle de « déhistorisation », et de « dépersonnalisation¹⁵⁸ ». Il considère les élèves dans un ensemble. Les savoirs savants sont transposés en savoirs enseignés et bien entendu l'élève (en général) apprend ses savoirs qui deviennent des savoirs appris. Le danger pour l'élève est de ne plus pouvoir accéder ultérieurement au savoir savant.

Le caractère anthropologique des théories s'accroît avec Brousseau qui reprend la transposition didactique de Chevallard en évitant ses pièges. Pour cela il ajoute un rôle bien défini à l'élève et à l'enseignant. Le paragraphe suivant nous le présente.

3. La théorie des situations didactiques (TSD) de Guy Brousseau

Elle propose, dans les années 80, une modélisation des savoirs, des situations d'enseignement, des rôles de l'enseignant et des élèves. Elle ne s'inscrit pas dans la théorie piagétienne mais les caractéristiques des objets sont marquées par celle-ci. Visant la construction de savoirs scolaires, Brousseau prépare des situations singulières où l'élève se pose des questions. Le travail de l'enseignant consiste à « recontextualiser les savoirs » puis au moment où l'élève reconstruira la connaissance il y aura « repersonnalisation » du savoir ce qui lui permettra de résoudre le problème. Les savoirs à retenir seront atteints lorsque les

¹⁵⁵ Develay M (1992) cité par Boilevin J-M (2013) p 34.

¹⁵⁶ Johsua S, Dupin J-J (1993) p193.

¹⁵⁷ Ibid p 230.

¹⁵⁸ Develay M (1992) cité par Boilevin J (2013) p 31.

connaissances seront « *décontextualisées* » et « *dépersonnalisées* ». Les savoirs ainsi acquis prendront la place des précédents ou conduiront à les reconsidérer et /ou à les modifier.

C'est une conception de l'enseignement où l'enseignant par des choix bien ciblés, va proposer à l'élève des problèmes qui vont produire chez l'apprenant des adaptations créatrices d'apprentissages. Il met au point la notion de contrat didactique et invente le concept de « *dévolution*¹⁵⁹. C'est l'enseignant qui fait accepter à l'élève la responsabilité de la situation d'apprentissage adidactique¹⁶⁰. Le rôle de l'enseignant est de réussir sa médiation en ne se plaçant pas du côté où l'obstacle est franchi mais en accompagnant l'élève avec des outils conceptuels et méthodologiques.

L'hypothèse de Brousseau, en termes de solutions, quant aux grandes difficultés rencontrées et de motivation de l'élève sont de nature psychologique, psychoaffective ou pédagogique. La signification de la connaissance et celle de la situation jouent un rôle essentiel et la didactique propose de fait des moyens spécifiques. L'élève est contraint, d'évoluer dans une situation a- didactique et l'enseignant, de laisser la décision à l'élève. Ce qui demande à l'enseignant en amont de préparer l'élève dans des situations didactiques. Le choix du milieu a- didactique est fondamental pour une pédagogie réussie.

Nous voyons que, dans cette théorie, c'est l'activité elle-même qui est supposée être la source et la preuve de l'apprentissage. L'aspect « environnement social » n'est que très faiblement abordé et seulement dans le cadre de la classe. Il est bien évident que l'élève que nous avons qualifié de particulier aura bien du mal à trouver sa place dans ces conceptions de l'apprentissage.

Toutes ces anciennes théories plus ou moins piagésiennes, dans les années 1990 commencent à s'essouffler. Elles s'appuient sur :

- Une dimension développementale qui décrit des capacités et des compétences de l'enfant à un moment donné.
- Des situations didactiques avec une relation exclusive élève/savoir.

Nous observons rapidement une démarcation par rapport aux sciences de l'éducation. Les didacticiens se rendent compte que le contexte des classes ainsi que les élèves se transforment et que les théories demandent à être revisitées, en tenant compte cette fois, d'autres dimensions comme l'espace social. Le caractère anthropologique s'affirme et nous observons une vraie rupture épistémologique avec la théorie anthropologique du didactique (TAD) de Chevallard.

4. La théorie anthropologique du didactique de Yves Chevallard (TAD)

Chevallard a introduit dans les années 90 la TAD, qui vient remplacer sa première théorie, elle constituera la base de nombreux travaux par la suite, jusqu'à nos jours. Nous pouvons citer les recherches d'Alain Mercier¹⁶¹ et son équipe sur l'articulation de la TAD et la théorie des situations didactiques de Brousseau.

¹⁵⁹ Brousseau Guy disponible sur http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2010/09/Glossaire_V5.pdf.

¹⁶⁰ « *Image dans la relation didactique du milieu "extérieur" à l'enseignement lui-même, c'est à dire dénué d'intentions et de présupposés didactiques. Un milieu a-didactique possède un modèle non didactique* » disponible sur <http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2012/02/contrat-milieu1.pdf>.

¹⁶¹ Schneider M (2013).

Chevallard invente le « *didactique* »¹⁶², objet propre de la didactique, avec une « *dimension du réel social* »¹⁶³ qui permet de penser à la construction d'une zone universelle (des différentes didactiques disciplinaires) dans laquelle une harmonisation et/ou une comparaison des pratiques pourrait s'envisager. Ce sera la naissance des recherches comparatistes en didactique ou appelées encore didactique comparée.

La TAD stipule que toute activité humaine peut se décomposer en structures d'action que Chevallard nomme des « *types (T) de tâches (t)* »¹⁶⁴ qui correspondent à une certaine manière de faire et à une « *certaine technique (τ)* ». C'est un outil de modélisation en termes de praxéologie qui va permettre d'analyser les activités humaines. Une praxéologie est définie comme des « *œuvres, des productions humaines* »¹⁶⁵. La modélisation va décomposer « *en praxis* » et en « *logos* » l'ensemble des connaissances. « *C'est une avancée significative pour décrire et expliquer les savoirs en fonctionnement* »¹⁶⁶. Chevallard introduit parmi ses objets d'étude les conditions et les contraintes de tous ordres et en particulier celles spécifiquement pédagogiques. Elles peuvent avoir un rôle « *dans l'écologie et l'économie du didactique, rôle qui est bien sûr fonction de l'enjeu didactique en sa spécificité* ».¹⁶⁷ Il redéfinit ainsi la didactique comme « *science des conditions et des contraintes de la diffusion (et de la non-diffusion) des praxéologies au sein des institutions de la société* ».¹⁶⁸

Chaque savoir va être étudié sans pour cela en privilégier un plus que l'autre. Apprendre quelque chose pour Chevallard c'est « *voir se modifier son rapport à cette chose d'une façon jugée (depuis une certaine position institutionnelle) appropriée à un certain projet (laissé lui-même, généralement, implicite)* ».¹⁶⁹

Pour Chevallard, le savoir est un discours qui permet de créer des techniques, de les justifier et de les rendre compréhensibles. Nous sommes dans une théorie de la situation, le développement de l'élève est indépendant du contexte et la construction de la pensée vient des interactions entre le sujet et l'objet. Ce sont ces mêmes interactions sociales qui vont renforcer des conflits sociocognitifs internes au sujet. Cette théorie est un grand pas en avant, car l'analyseur est ici la praxéologie, elle met l'accent sur les techniques, sur la fonction technologique du savoir. Cette théorie semble plus proche de notre entrée anthropologique du point de vue de l'analyse des activités humaines.

5. Apparition d'un dialogue entre les didactiques disciplinaires

En 2002 est paru un numéro spécial de la revue française de pédagogie intitulé « *Vers une didactique comparée* » qui a permis de laisser une trace historique sur les tentatives de dialogues entre les didactiques disciplinaires (Mercier, Schubauer-Leoni & Sensevy, 2002). D'autres avant avaient déjà montré le chemin comme Chevallard & Arzac, Martinand & Tiberghien, en 1994, Raisky & Caillot en 1996. Nonnon, Perrin-Glorian & Tissoires ont poursuivi en 2004 ces travaux.

Le groupe de recherche en didactique comparée, comprenant Leutenegger, Schneuwly & Dorier, expliquent que « *dès lors que l'on considère que les phénomènes didactiques*

¹⁶² Chevallard Y (2010) p 138.

¹⁶³ Ibid., p138.

¹⁶⁴ Chevallard Y (2005) p 3.

¹⁶⁵ Chevallard Y (2010) p 140.

¹⁶⁶ Wozniak F, Bosch M, Artaud M (2008).

¹⁶⁷ Chevallard Y (2010) p139.

¹⁶⁸ Ibid., p137.

¹⁶⁹ Ibid., p139.

rassemblent des faits sociaux, il y a de la place pour une réflexion au niveau des objets d'observation entre les didactiques »¹⁷⁰.

Ce groupe de chercheurs va permettre l'association de nombreux chercheurs avec des compétences diverses. C'est ainsi que pourra naître la théorie conjointe en didactique qui va être traitée dans le paragraphe suivant.

6. La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD)

La TACD, formalisée par Gérard Sensevy¹⁷¹ en 2007, est née au sein de l'approche comparatiste en didactique et a renforcé le caractère anthropologique recherché, en considérant le choix du milieu et des interactions enseignant élève. L'action didactique est conjointe car « *le terme enseigner d'une certaine manière demande le terme apprendre et le terme apprendre demande le terme enseigner* »¹⁷². Elle pourrait être associée à une théorie de la pratique qui propose des outils tel le jeu. Sensevy la compare à une « transaction »¹⁷³. La situation créée, centrée sur le savoir à transmettre, est fondée sur la communication entre l'enseignant et l'élève dans la durée. Chacun a un rôle qui lui est propre. Ce jeu didactique a l'ambition de faire gagner les deux acteurs, le joueur 1 et le joueur 2. Le joueur 1 doit produire lui-même (c'est fondamental) des stratégies réussies ce qui va permettre au joueur 2 et à lui-même de gagner. Le joueur 2, qui connaît bien ses stratégies, ne doit pas les donner au joueur 1 sous peine de perdre le jeu ; il doit simplement accompagner le joueur 2 dans son cheminement. Ce jeu est décrit par trois ensembles de descripteurs :

- « *L'ensemble milieu/ contrat didactique* » qui est à l'origine de la théorie de Brousseau. Le contrat didactique désigne « *l'ensemble des comportements (spécifiques) du maître qui sont attendus de l'élève et l'ensemble des comportements de l'élève qui sont attendus du maître* »¹⁷⁴. Le milieu didactique est pour Brousseau « *ce qui agit sur l'élève et/ou ce sur quoi l'élève agit* »¹⁷⁵. « *Il englobe des éléments situationnels locaux et historico culturels, des éléments conceptuels et matériels et des aspects sociaux et sémiotiques* »¹⁷⁶. Dans la TACD, Sensevy (2012) caractérise le milieu comme « *contexte cognitif de l'action et système antagoniste* »¹⁷⁷. Pour lui, le milieu est l'aboutissement d'une action conjointe et d'un ensemble d'opérations qui résultent d'une co-construction effectuée par l'enseignant et les élèves.
- « *Le triplet de genèse* », avec la « *mésogénèse* », rend compte de l'évolution du milieu sous l'action conjointe du professeur et de l'élève et répond à « *l'élaboration d'un système commun de significations* »¹⁷⁸ au fur et à mesure des jeux successifs. Le savoir se construit au cours du temps c'est ainsi que la « *chronogénèse* » est caractérisée. La *topogénèse* décrit « *la répartition des responsabilités dans les transactions didactiques entre professeur et élève* »¹⁷⁹.
- « *Le quadruplet des jeux : définir – dévoluer – réguler – institutionnaliser* ». Selon Sensevy¹⁸⁰, pour initier ou changer de jeu « *on peut considérer que l'enseignant doit à*

¹⁷⁰ Dorier J-L Leutenegger F, Schneuwly B (2013).

¹⁷¹ Sensevy G, Mercier A (2007)

¹⁷² Ibid., p 14.

¹⁷³ Sensevy G (2011) p 26

¹⁷⁴ Sensevy G, Mercier A (2007) p 18

¹⁷⁵ Brousseau G (2003) p 3

¹⁷⁶ Amade-Escot C, Venturini P (2009) cité par Venturini P (2012) p 128.

¹⁷⁷ Sensevy G, Mercier A (2007) p 23-25

¹⁷⁸ Sensevy G (2007) cité par Sensevy G, Mercier (2007) p 27

¹⁷⁹ Ibid., p 31

¹⁸⁰ Sensevy G. (2011) p 143

la fois définir et dévoluer le jeu ». Comme chez Brousseau, l'élève doit être responsable de son jeu et l'assumer pleinement, c'est le principe de « *dévolution* ». Quand l'élève est parvenu à la stratégie gagnante avec l'accompagnement de son enseignant (c'est la régulation), la phase d'institutionnalisation s'impose afin de laisser des traces sur le cheminement vécu.

En conclusion, le modèle du jeu est l'analyseur des pratiques sociales. Il permet de rendre compte de toute action humaine. C'est une analyse générique de l'action humaine et de certains aspects de l'action didactique. La dimension anthropologique est considérée par le choix du milieu et des interactions enseignant élève. L'enseignant a cependant des contraintes fortes :

- Institutionnelles qui peuvent l'obliger à modifier l'action didactique.
- Épistémologiques qui peuvent rendre « *sa séance pratico-pratique* ».

Cette théorie me semble proche du point de vue de notre entrée anthropologique notamment par rapport aux interactions professeur élève, l'élève construisant avec l'enseignant néanmoins cette théorie place le savoir au centre et nous, nous souhaitons élève et savoir au centre du système éducatif.

Cependant une dernière théorie d'apprentissage nous a particulièrement intéressée puisqu'elle s'inscrit dans les courants de pensée socio-constructiviste et systémique et de fait développe une étude anthropologique. Il s'agit de l'approche écologique de Urie Bronfenbrenner.

7. La théorie écologique de Urie Bronfenbrenner

Cette théorie, avant tout interactionniste, prend source dans les travaux de Vygotski en particulier à propos des rôles prépondérants de la culture (le relativisme du développement de l'enfant), des interactions sociales et de l'accompagnement. Sa pensée s'inscrit dans les courants de pensée socio constructiviste et systémique. Cette approche écologique s'appuie sur le paradigme de la complexité que Morin (1999) décrira plus tard : « *Une caractéristique n'est pas un état, mais le résultat d'un processus. L'être humain est produit partiellement par l'environnement et est producteur partiel d'environnement* »¹⁸¹. L'idée fondamentale est que l'environnement influence le développement de l'individu. Par la suite sciemment, je nommerai l'élève, voire l'enfant, au lieu de l'individu dans cette présentation car nous nous intéressons au développement de l'élève. C'est le sujet qui construit son environnement qui, par retour va influencer la construction du sujet lui-même. « *Le développement est donc le résultat des interactions continues et réciproques entre l'organisme et son environnement* »¹⁸². Ces deux mondes s'interpénètrent l'un, l'autre et s'adapte en permanence aux changements de l'autre. Bronfenbrenner souhaite mesurer ces interactions et développe une taxonomie des « *environnements emboîtés* » Les types d'environnement repérés sont : « *le microsystème, le mésosystème, l'exosystème, le macrosystème, l'ontosystème et le chronosystème* ».

Avant de reprendre chaque type d'environnement, nous présentons les deux modèles qui représentent la théorie de Bronfenbrenner sur lesquels nous allons nous appuyer.

¹⁸¹ El Hage F, Reynaud C (2014).

¹⁸² Ibid.

Ci-dessous voici leurs représentations :

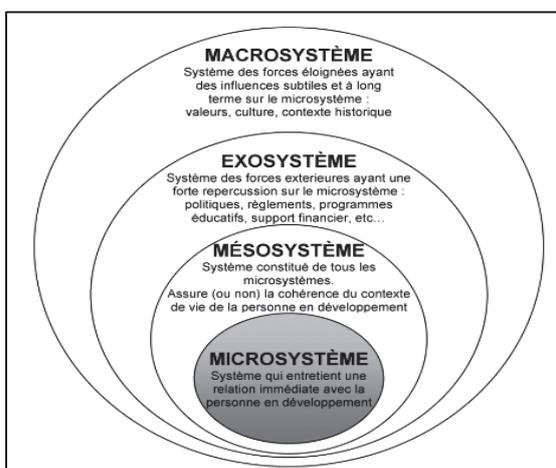


Figure 14. Modèle poupée russe (Bronfenbrenner).

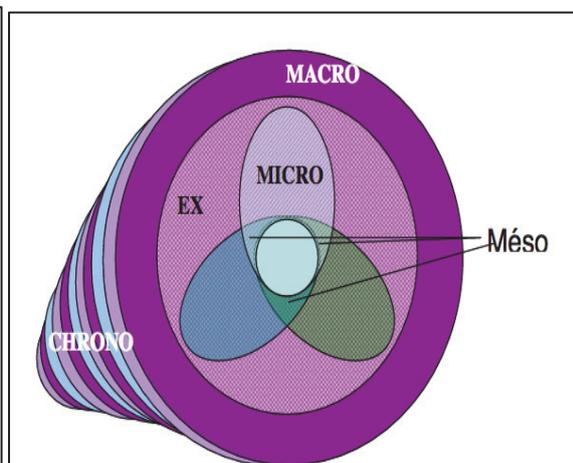


Figure 15. Modèle Demarteau et Muller.

« Le microsystème » représente l'environnement immédiat de l'élève. Bronfenbrenner (1979) le définit comme « un modèle d'activités, de rôles et de relations interpersonnelles expérimenté par un sujet au cours de son évolution, dans un milieu donné ayant des caractéristiques physiques et matérielles spécifiques ».

Le « mésosystème » est un ensemble de microsystèmes basés sur le lien entre échanges et communications que l'enfant peut avoir avec son monde environnant comme la maison et l'école.

« L'exosystème » est constitué de lieux ou contextes qui ne sont pas directement en lien avec l'enfant mais qui vont influencer sur son développement comme les grandes institutions de la société, sa classe sociale et les médias.

« Le macrosystème » est défini par les différentes formes de la vie en société comme le domaine des croyances politiques, idéologiques, religieuses, culturelles. El Hage et Reynaud¹⁸³ l'assimilent comme « la toile de fond qui englobe et influence tous les autres niveaux systémiques ». Ils poursuivent en précisant que l'on peut l'assimiler « à la culture définie comme une grammaire du social, c'est-à-dire un ensemble de règles, parfois tacites, qui prédisposent l'utilisation du langage ».

L'ontosystème correspond à l'organisme lui-même avec ses composantes physiques (le biologique), émotionnelles (l'affect), intellectuelles (la cognition) et comportementales (le comportement). Ce système fut ajouté par Belski, collaborateur de Bronfenbrenner pour que les relations de l'individu avec lui-même soient également prises en compte.

Le chronosystème correspond aux « temporalités de la vie d'une personne qu'il s'agisse du temps biologique, du temps de la famille, du temps de l'histoire ou du temps perçu et reconstruit par la personne¹⁸⁴ » Ceci fait référence à toutes les périodes de la vie en débutant par la naissance de l'enfant, son adolescence, les chocs (physiques et émotionnels) subis au

¹⁸³ Ibid.

¹⁸⁴ Ibid.

cours de sa croissance. Ainsi, nous trouvons des *micro-chronosystèmes*, des *méso-chronosystèmes*, des *exo-chronosystèmes* et des *macro-chronosystèmes*. La réussite de l'apprentissage de l'enfant s'inscrit dans la richesse de ces interventions.

Le premier modèle présenté est en forme de poupée russe du nom russe *matriochkas*. Il montre l'emboîtement des systèmes comme les poupées gigognes, mais présente un inconvénient : il ne visualise pas les relations entre les systèmes.

Le deuxième modèle a été réalisé par Demarteau et Muller. Il vient compléter le premier car avec son jeu de couleur, les interactions sont visibles.

Bronfenbrenner prend en compte le fait que l'enfant peut changer d'environnement au cours de son développement et que ces transformations vont elles-mêmes influencer, c'est pourquoi il introduit la notion de « *transition écologique* » qui désigne « *toute modification transformant le sujet par un changement de rôle, de milieu ou les deux simultanément* »¹⁸⁵. Ces transitions écologiques participent également au développement humain, nous ne manquerons pas de les évoquer dans les théories du développement au chapitre 6.

Dans toutes ces théories étudiées, nous observons qu'un didacticien est un bon technicien technologue de la situation mais il serait réducteur que d'affirmer que son rôle s'achève là. C'est bien l'arrivée du facteur anthropologique qui a développé sa mission. Cette mission ajoute un autre caractère à sa tâche initiale et ouvre d'autres champs d'action. Mais peut-il prétendre répondre à toutes les préoccupations du pédagogue ? Je ne suis toujours pas convaincue. Les situations rencontrées en classe sont suffisamment complexes pour que l'enseignant ne sache pas forcément les expliciter au didacticien et encore moins pour que des solutions opérationnelles soient immédiatement envisagées. Je rejoins Barnier¹⁸⁶ qui compare l'enseignant à un ingénieur, artisan et bricoleur. C'est là que notre didactique instrumentale prend toute sa mesure.

¹⁸⁵ El Hage, Reynaud C (2014).

¹⁸⁶ Barnier Gérard. Disponible sur http://www.ac-nice.fr/iencagnes/file/peda/general/Theories_apprentissage.pdf

Chapitre 5 : le projet de recherche. Ma question de recherche

Cette thèse s'inscrit dans la lignée d'une recherche d'un groupe de chercheurs au laboratoire CRIS en 2012 qui travaillait sur l'impact anthropologique des savoirs scolaires sur le développement de l'enfant. Les différentes études vont de l'enseignement des sciences à l'école maternelle à l'étude des enfants porteurs de troubles envahissants du comportement. L'équipe a créé une théorie épistémo-anthropologique qui n'est pas didactique mais instrumentale, entre la psychologie et la pédagogie, où l'humain et la culture sont en centre. La théorie épistémo-anthropologique¹⁸⁷ répond au problème de sens de l'école et des nouveaux enjeux des programmes. Celle-ci doit permettre à l'enfant de comprendre son rapport au monde. C'est donc, de la responsabilité de l'enseignant, de mener à bien la construction du sens de ses pratiques.

Cette perspective épistémo-anthropologique, s'inspire de la théorie instrumentale de Vygotski sur deux points au moins :

- Ce sont les savoirs qui fondent l'homme.
- Ce sont les concepts de la langue qui construisent l'homme.

Son originalité, détaillée en annexe¹⁸⁸ est de mettre l'élève et le savoir au cœur du système scolaire. Ce qui est bien différent de ce que nous avons pu rencontrer au chapitre précédent. Ma thèse va d'une part compléter les études déjà engagées dans le premier degré par ce groupe de chercheurs, en effet mes investigations se sont effectuées dans le second degré, degré non observé auparavant. D'autre part elle sera force de propositions quant à une didactique instrumentale. Rappelons que notre objectif, en tant que pédagogue, est d'aider les élèves à surmonter leurs difficultés et de redonner du sens à leurs apprentissages. Cela nécessite de montrer à l'élève que le savoir scientifique est l'aboutissement d'une construction humaine avec ses modifications, ses erreurs et ses égarements. C'est, également, lui faire prendre conscience que, non seulement son environnement mais son histoire et sa culture, vont avoir un impact sur son développement. Comprendre, quel a été le projet des sciences physiques initialement et quelles questions cette discipline se pose aujourd'hui, nous fera avancer sur la vision de l'homme et de l'humanité qui est en jeu. Develay (2001)¹⁸⁹ le désigne comme l'anthropologie des savoirs scolaires. Il ne suffit pas d'enseigner que des savoirs pour rendre intelligible le monde, il faut transmettre la culture de ces savoirs. Il ne s'agit pas d'enseigner uniquement les conclusions d'une discipline pour que nos élèves trouvent un sens aux apprentissages. L'enseignant est donc invité à se « *positionner comme un médiateur, un tuteur, un passeur, un accompagnateur, un régulateur, une personne ressource dans des dispositifs de mise en activités des élèves*¹⁹⁰ ». C'est, à partir des constats établis en première partie, de mes réflexions sur la pédagogie et de la recherche initiée par le groupe de chercheurs, que ma recherche s'est engrangée et s'est stabilisée sur la question suivante :

En quoi les contenus d'enseignement transforment ils la structure cognitive de l'élève ?

¹⁸⁷ Caumeil J-G (2001, 2006).

¹⁸⁸ Annexe 23. La théorie épistémo-anthropologique.

¹⁸⁹ Develay M (2001) p 102.

¹⁹⁰ Barnier G. Disponible sur http://www.ac-nice.fr/iencagnes/file/peda/general/Theories_apprentissage.pdf

Cette question de recherche porte en elle-même la résolution du paradigme épistémologique anthropologique puisque l'impact des savoirs scolaires se définit par la modification de la structure cognitive.

La didactique seule ne peut répondre à cette question puisque, comme nous l'avons observé au chapitre précédent, elle ne s'approprie pas l'anthropologie sous toutes ses formes. Elle évoque le « comment de l'apprentissage » plutôt que le « pourquoi cet apprentissage ». Elle ne s'intéresse qu'à l'enfant en général plutôt qu'à l'élève singulier.

Il est donc nécessaire pour nous, d'investir les théories du développement de l'enfant, en effet, celles-ci peuvent nous conduire à trouver une voie. De fait, nous allons convoquer les principales théories du développement dans le chapitre 6 et expliciter le choix que nous avons effectué autour de la théorie instrumentale de Vygotski. Nous montrerons pourquoi Vygotski nous permet de répondre à notre problématique et comment ce dernier nous permet d'aboutir à la proposition d'une didactique instrumentale.

Notons que la théorie de Sigmund Freud sera évoquée, même si elle est loin de notre champ d'action, nous souhaitons montrer ici qu'aucune théorie n'a été écartée.

Chapitre 6 : les théories de développement. Mon choix : vers la théorie instrumentale de Vygotski.

Nous relevons quatre grandes théories du développement qui sont celles édifiées par :

- Sigmund Freud.
- John Broadus Watson.
- Jean Piaget.
- Lev Semionovitch Vygotski.

1. La théorie de Sigmund Freud.

Freud, neuropsychiatre, père de la psychanalyse, nous propose une théorie du développement qui rejoint davantage le domaine médical que le domaine de l'éducation. Elle est axée sur la personnalité de l'individu qui, pour lui, possède une structure qui évolue avec le temps. Il définit trois composantes le « Ça », qui représente un système de besoins qui référence tous les désirs refoulés (objets inconscients), le « Moi », objet conscient, qui définit la personnalité de l'enfant au cours de son développement avec l'adaptation sociale qui lui incombe, et enfin le « Surmoi » qui se développe avant l'âge scolaire, lorsque l'enfant prend en charge les valeurs des parents et leurs habitudes sociales.

Freud met en évidence cinq stades psycho-sexuels, qui, pour lui, vont être associés chacun respectivement à une zone corporelle spécifique. Ces zones seront investies au fur et à mesure du développement de l'enfant et selon leur nature, elles détermineront la qualité intrinsèque de la personnalité. Ces stades s'achèvent à la fin de l'adolescence. Freud a nourri les études du développement du concept de soi comme la prise de conscience d'un individu à être « *Un sujet singulier* ».

Winnicott et Bolby, puis Erikson ont complété cette théorie en considérant que les interactions avec le milieu familial en tant que sujet (transmetteur) de culture, étaient tout aussi fondamentales que la notion d'inconscience de Freud. Pour sa part, Erikson propose un modèle de stades psychosociaux plus complet mais plutôt d'un point de vue descriptif moins explicite que Freud, dont le dernier stade s'achève à l'âge de 40 ans et plus.

Freud porte son intérêt sur le passé et a proposé un certain nombre de solutions pour en modifier l'influence. Il s'est intéressé sur le « *comment l'homme peut se libérer des chaînes de sa propre histoire* »¹⁹¹.

Il montre que l'enfant accomplit un certain nombre d'actions qui correspond à ce que j'appelle, un curriculum de développement et qui le caractérise d'enfant actif.

Nous souhaitons une théorie qui s'applique à l'enseignement et qui identifie le développement cognitif de l'individu lors des apprentissages. Les stades de Freud s'appuient uniquement sur des zones corporelles, nous, nous voulons d'une théorie qui mettent en valeur des opérations cognitives d'un raisonnement et qui prennent en compte le milieu socioculturel. Cette théorie doit nous permettre également d'identifier la construction de l'individu dans ce qu'il sera demain. En quoi, notre enseignement peut-il influencer « *le petit d'homme* » ? Freud répond qu'à une seule partie de la question, il identifie les obstacles du passé et propose des pistes pour y échapper. Pour tous ces éléments, la théorie de Freud est fondamentale sur le plan

¹⁹¹ Bruner (2000) p 166.

médical et les découvertes de notions comme l'inconscient ont bouleversé le domaine scientifique. Sur le plan éducatif cette théorie nous apparaît limitée.

2. Le béhaviorisme.

Cette théorie de l'apprentissage qui a l'avantage d'être complète, aboutie, a été fondée par Watson, il parle de science de comportement qui vient du mot « *behavior* » qui signifie comportement. Rien à voir avec l'attitude d'un élève, le comportement, ici, correspond aux critères permettant l'observation de la maîtrise d'une connaissance. Les travaux de Pavlov assimilent ces travaux au conditionnement qui n'ont rien de concluant pour l'enseignant cependant, sont nés de cette théorie, la pédagogie par compétences et surtout le développement actuel des référentiels de compétences et de la pédagogie de maîtrise.

Cette théorie se caractérise par le fait : qu'apprendre, c'est devenir capable de donner la réponse adéquate. Les mécanismes psychologiques consistent en la répétition de l'association stimulus-réponse. Ci-dessous, nous avons schématisé le modèle des béhavioristes, qui se représente simplement sous la forme d'une entrée et d'une sortie.

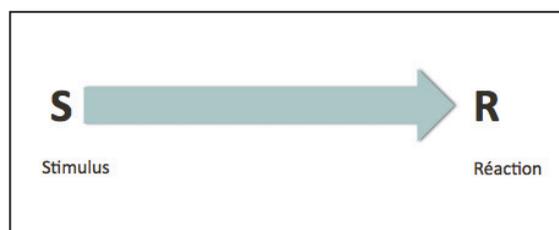


Figure 16. Modèle béhavioriste.

La relation entre les stimuli et le comportement est la même pour tous les organismes. Pour les béhavioristes, ils ne font aucune distinction entre les animaux et les hommes. La méthode d'enseignement-apprentissage consiste à opérationnaliser des objectifs d'apprentissage, conditionner et apprendre par essais-erreurs. En cas de réponses justes, des renforcements positifs sont proposés. Inversement des renforcements négatifs sont proposés en cas d'erreurs.

Les béhavioristes considèrent les structures mentales comme une boîte noire, donc il ne s'intéresse pas au processus interne mais seulement aux entrées et sorties. En pratique l'enseignant s'attache à définir les connaissances à acquérir et évalue grâce à ses critères liés à l'observation du comportement si l'élève est capable de reconnaître, nommer, classer... Il faut cependant noter que les verbes utilisés sont non mentalistes puisqu'axés sur l'observation.

L'application de cette théorie est la pédagogie par objectifs. Cette pratique montre les décalages considérables qui existent entre les objectifs généraux et les buts de l'enseignant et ce que l'élève arrive à réaliser. Le danger est de se retrouver avec un grand nombre d'objectifs à atteindre en même temps. Il en découle deux conséquences : l'enseignant simplifie alors l'apprentissage d'origine en une succession d'apprentissages plus simples et l'élève n'apprend plus de manière efficiente.

Nous ne retiendrons pas cette théorie pour notre cadre théorique, du fait que le processus interne, cognitif, n'est pas pris en compte. Nous réfutons l'idée que l'élève soit réduit à une boîte noire. C'est une théorie universelle, qui ne laisse pas de place à l'individu singulier, et ici particulièrement à l'élève en difficulté.

3. La théorie de développement de Piaget.

Nous avons développé cette théorie au chapitre 4. De fait nous n'évoquerons ici que les raisons pour lesquelles nous ne retiendrons pas ce modèle « *cumulatif, cloisonné et successif* ».

Le développement est basé sur des structures auto adaptatives cérébrales qui ne nécessitent pas un enseignement.

Chez Piaget, le développement biologique précède le développement culturel.

Il définit des stades d'un point de vue de la pure biologie en dehors de tout contexte et influence sociale. Il a étudié le développement de l'enfant, en parlant uniquement de la structure biologique des opérations. Son modèle est linéaire et chaque stade représente un grand progrès dans la genèse de l'intelligence mais chaque stade est fermé à l'action d'un pédagogue. Cette version vient infirmer mon hypothèse qui attribue, aux contenus d'enseignement, un impact dans la construction des élèves. Je ne peux donc la retenir. De plus, Piaget déclare que le langage est la conséquence de l'expérience et du développement.

Nous réfutons cette position. Entre un adulte et un enfant il y a échange de symboles et de mots, mots qui caractérisent des actions, c'est ainsi que la transformation de l'enfant s'opère. Ce modèle ne peut pas nous convenir. Nous considérons qu'il a ses limites pour au moins trois raisons :

- Les apprentissages dépendent du développement. C'est seulement quand l'élève a atteint un certain niveau de développement que l'école peut prétendre à un nouveau type d'enseignement.
- L'auteur ne s'intéresse pas aux instruments intellectuels mis en place à l'école.
- C'est un modèle universel qui ne peut pas tenir compte de « l'Élève singulier » dont nous faisons référence dans notre introduction. Sa notion de sujet épistémique, qui se retrouve dans de nombreuses théories d'apprentissage décrites au chapitre 4, renvoie à l'idée de structures cognitives communes à des sujets ayant le même niveau de développement. Le caractère individualiste est totalement évacué. Piaget considère que l'activité est seulement structurante.

4. Mon choix : pourquoi la théorie instrumentale de Lev Vygotski ?

Ne pouvant intégrer le projet épistémique piagétien pour les raisons évoquées au paragraphe précédent, la possibilité d'intégrer la voie de Vygotski correspond le mieux aux attentes de la pédagogie que je suis. Ce choix dont je vais expliciter les raisons, va me permettre de théoriser les préconisations que je souhaite faire dans le domaine de la didactique instrumentale.

Je rejoins Vygotski pour trois raisons principales qui brièvement seront explicitées ci-dessous et repris d'une manière approfondie au chapitre 7 :

- Le développement est de type constructiviste social.
- La construction cognitive s'effectue par les concepts.
- Sa théorie donne des analyseurs et des outils au pédagogue.

4.1. 1^{er} argument : un développement constructiviste social.

Il est le seul, de son époque, à avoir pris un positionnement aussi fort sur la notion de développement biologique et développement culturel. Wallon, qui avait un point de vue similaire, n'a pas réellement pu imposer ce même positionnement à la communauté scientifique.

Vygotski a beaucoup influencé de travaux et de nos jours il continue car son œuvre reste une source inépuisable pour la pédagogie contemporaine. Il pourrait paraître étonnant que Piaget ait pris une place si importante à l'époque par rapport à Vygotski. Nous l'expliquons très facilement : Vygotski a été traduit très tardivement du russe en anglais puis de l'anglais en français. Il a fallu attendre la fin des années 90 pour obtenir de bonnes traductions du russe au français. Des colloques autour des travaux de Vygotski ont fait leur apparition autour des années 2010, c'est ainsi que l'exploitation de ces travaux a été retardée notamment en France. Par ailleurs, ces travaux furent bloqués par le gouvernement russe une dizaine d'années, après sa mort, le 11 juin 1934 à l'âge de 38 ans. En effet, un décret supprima toute publication sur la psychologie¹⁹². De plus, les publications de Vygotski furent considérées antimarxistes, ce qui est paradoxal, puisque sa théorie prend source dans la théorie marxiste. Cette théorie est basée sur le matérialisme historique qui propose l'idée que l'homme se transforme et grandit dans une relation dialectique et conflictuelle avec son milieu. Il a utilisé la définition de Marx qui caractérise la nature comme « être le corps non-organique de l'homme »¹⁹³.

Pour Vygotski, l'être humain se caractérise par une « sociabilité primaire ». Ce qui était postulat autrefois, est maintenant scientifiquement avéré. D'une part, les recherches biologiques indiquent que les zones cérébrales, régissant les fonctions sociales, connaissent une maturation précoce, lorsqu'elles sont sollicitées, d'autre part, les recherches empiriques sur le développement social le prouvent¹⁹⁴.

Bodrova et Léong¹⁹⁵ (2012) expliquent que le contexte social est pour Vygotski un concept historique. Celles-ci le justifient en reprenant sa pensée initiale:

« L'esprit humain est le produit de l'histoire humaine, ou phylogenèse et de l'histoire personnelle d'un individu, ou ontogénèse. L'esprit humain moderne a évolué en concomitance avec l'histoire de l'espèce humaine. L'esprit humain est également le produit d'expériences personnelles uniques ».

C'est ainsi que nous trouvons souvent l'approche développementale de Vygotski sous le nom de théorie historico-culturelle.

4.2. 2^{ème} argument : La construction cognitive s'effectue (entre autres) par les concepts.

Piaget prend en compte les concepts également mais de façon différente. Le piagétien a un préjugé : le schème se transforme par activités auto-adaptatives, dans la situation mais il n'y a pas d'enjeu symbolique. Le symbole est atteint de manière mécanique par auto-adaptation. Vygotski déclare que le concept peut tirer le développement et non l'inverse. Dans une situation d'auto-adaptation de Piaget, il est nécessaire que la situation soit très bien préparée pour que celle-ci ait bien lieu et que naisse le concept. Vygotski contredit cette pensée. Pour lui, lorsque

¹⁹² Pédagogie pour l'enfant.

¹⁹³ Marx, manuscrit de 1844.

¹⁹⁴ Travaux de : Bowlby (1971), Schaffer (1971), Zazzo (1974, 1986), Thoman (1979), Agneau et Scherrod, (1981), Tronick (1982), Lewis et Rosenblum (1974); Stambak et al (1983), Zaporozec et Lissina (1974), Lissina, (1986), Ignjatovic-Savic et al (1989).

¹⁹⁵ Bodrova E, Leong D-J (2012) p 19.

le concept est posé, l'échange symbolique et l'action de l'enseignant va au contraire tirer cette auto-adaptation. C'est toute la différence entre la théorie instrumentale de Vygotski et celle de Piaget. Il a choisi les concepts scientifiques pour tenter de résoudre les problèmes de l'apprentissage et du développement « d'où l'aphorisme de Vygotski : la conscience réflexive arrive par la porte des concepts scientifiques »¹⁹⁶.

4.3. 3^{ème} argument : une théorie qui donne, au pédagogue, des analyseurs et des outils.

Les chapitres 7, 8 et 9 vont présenter de façon détaillée, tous les analyseurs et outils qui résultent de la théorie instrumentale de Vygotski. Nous récapitulons ci-dessous, sous forme d'un tableau, tous les analyseurs et outils qui proviennent de la théorie instrumentale de Vygotski.

Analyseurs	Outils
La culture (le monde social).	Le langage, les signes, les symboles, les normes, la langue écrite, les techniques...
La Zone de Plus Proche Développement (ZPPD).	Les concepts.
La cognogénèse.	Les médiateurs internes et externes.
La cognomorphose.	-

Tableau 9. Liste des analyseurs et des outils apportés par la théorie instrumentale de Vygotski.

4.4. Les ouvertures de la théorie de Vygotski.

Nous ne rejetons pas toutes les théories précédentes précitées, dans le chapitre 4, car les connaissances s'élaborent selon des dynamiques sociocognitives. Elles nous sont utiles et nous montrerons à quel moment elles peuvent être utilisées dans la ZPPD, cependant nous estimons qu'elles ne prennent pas en compte toutes les dimensions de la pédagogie. De plus, excepté Piaget, aucun ne revendique une théorie du développement.

Il nous paraît également important de citer de nombreux chercheurs qui ont poursuivi les travaux de Vygotski comme :

- Karpov (4^{ème} génération depuis Vygotski) qui complète avec des données empiriques sur les facteurs biologiques comme la maturation et l'hérédité.
- Léont'ev¹⁹⁷ qui apporte sa contribution en étudiant la mémoire et l'attention volontaire et en créant sa propre théorie de l'activité, mettant ainsi en valeur la participation active de l'enfant dans les activités collectives.
- Des étudiants de Vygotski. Gal'peun¹⁹⁸, Elkonin¹⁹⁹ et Zaporozhets²⁰⁰ ont aussi entrepris des travaux sur la structure et le développement des processus d'apprentissage et d'enseignement. Ce dernier crée « l'Institute of Preschool Education » et applique les principes vygotskiens sur ses élèves avec ses étudiants. Il démontre avec Venger²⁰¹ que les outils culturels non verbaux favorisent le développement de la perception et de la pensée.

¹⁹⁶ Vygotski (1956) p 247 cité par Elkonine D-B (1966) p 315 disponible sur : http://www.unige.ch/fapse/leforcas/files/9214/2608/9943/Vygotsky_1-428.pdf.

¹⁹⁷ Leontiev (1978).

¹⁹⁸ Cité par Bodrova E, J. Leong D (2012) p13.

¹⁹⁹ Disponible sur : http://www.unige.ch/fapse/leforcas/files/9214/2608/9943/Vygotsky_1-428.pdf.

²⁰⁰ Zaporozhets (1977).

²⁰¹ Venger (1977).

- Bruner, Büchel, et Rochex qui vont s'appuyer sur les travaux de Vygotski, afin d'étayer le fonctionnement cognitif des apprentissages. Vergnaud s'est emparé de ce dernier concept et ses travaux, avec Pastré (2011) seront novateurs en didactique.

Nous observons que toute cette communauté de chercheurs est venue renforcer la théorie de Vygotski et même l'étayer. A sa mort, il laisse un véritable chantier, qui sera exploité pendant 10 ans par les chercheurs russes. Depuis, ses recherches sont poursuivies dans le monde entier et ouvrent des perspectives importantes notamment dans le domaine éducatif. La théorie de Vygotski génère aujourd'hui encore de nombreux travaux qui fondent une nouvelle actualité de la recherche en éducation.

Notre chapitre 7 va reprendre certains travaux des disciples de Vygotski notamment ceux de Bodrova et Leong qui sont tout à fait adaptés à notre problématique. Ce chapitre circonscrit la construction cognitive vygotkienne.

Chapitre 7 : la théorie instrumentale de Vygotski : une théorie modélisante qui apporte des analyseurs et des outils.

Qu'apporte Vygotski d'original par rapport aux autres auteurs précités?

Je vais démontrer dans ce chapitre que la théorie instrumentale de Vygotski est une théorie modélisante et qu'elle apporte des analyseurs et des outils pour le pédagogue. La démonstration s'appuiera sur six points fondamentaux et exposera les différences avec la théorie de Piaget :

Le double développement.

Les objets de la culture sont des artefacts.

Le langage est un instrument de la pensée et de la pensée intérieure verbale.

La construction par les concepts.

La zone de plus proche développement avec la cognogénèse et la cognomorphose.

Les médiateurs.

Nous allons donc reprendre ces éléments afin de clarifier l'originalité de la théorie instrumentale de Vygotski. Au fur et à mesure de notre présentation, nous ne manquerons pas de mettre en évidence ces analyseurs et ces outils.

1. Pourquoi une théorie modélisante ?

Cette théorie nous propose que la pédagogie soit un échange symbolique et que dans cet échange, la parole soit fondamentale. Nous pouvons traduire ainsi : tant que l'élève ne mettra pas ses actes en mots ou en symboles, il ne maîtrisera pas le concept. Nous allons montrer au cours de ce chapitre que cette théorie est modélisante. Notre modèle évoluera au fur et à mesure en respectant les points fondamentaux exposés ci-dessus.

2. Un double développement : le développement culturel précède et tire le développement biologique.

Piaget, comme Vygotski avait le souci d'élaborer une théorie du développement. Pour l'un, la théorie était basée sur les structures cognitives et pour l'autre, elle était centrée sur les fonctions psychiques supérieures. Les concepts d'activités et de développement sont pour l'un et l'autre au centre de leur étude. Le fait pour Vygotski de concevoir les fonctions psychiques supérieures comme étant « *l'essence culturelle*²⁰² » exige qu'il pose comme postulat que l'apprentissage devance le développement biologique. « *Tout apprentissage de l'enfant à l'école a une préhistoire*²⁰³ » Vygotski pense les rapports du biologique et du culturel de façon dialectique. Pour lui c'est un « *processus ininterrompu d'auto mouvement* » qui résulte d'interactions conflictuelles entre les ressources déjà disponibles chez l'enfant (appelées fonctions psychiques inférieures) et celles, proposées par son milieu culturel, qui permettront d'accéder aux fonctions psychiques supérieures.

Nous proposons ci-dessous, un tableau²⁰⁴ de Bodrova et Léong exposant quelques exemples des fonctions psychiques inférieures et supérieures

²⁰² Brossard (2004) p 90.

²⁰³ Schneuwly B, Bronckart J-P (1985) p 106 107.

²⁰⁴ Bodrova E, J. Leong D p 33.

<i>Fonctions psychiques élémentaires (humains et animaux d'espèces supérieures)</i>	Fonctions psychiques supérieures (humains seulement)
Sensation	Perception médiatisée
Attention réactive	Attention sélective
Mémoire spontanée ou associative	Mémoire volontaire
Intelligence sensorimotrice	Raisonnement logique

Tableau 10. Fonctions psychiques élémentaires et supérieures.

C'est un développement constructiviste social. Ce qui signifie que ce sont toutes les dimensions du social qui interfèrent.

Vygotski parle de double développement en expliquant que « *chaque fonction supérieure apparaît deux fois au cours du développement de l'enfant : d'abord dans une activité collective, sociale et donc comme fonction interspsychique, puis la deuxième comme activité individuelle, comme propriété intérieure de la pensée de l'enfant, comme fonction intrapsychique* ²⁰⁵ ».

De fait la culture est l'instrument du développement, c'est à dire l'analyseur.

Nous proposons de représenter ces interactions dans un premier modèle élaboré par Caumeil (2006). Ce modèle montre la réelle importance et l'originalité parmi les autres théoriciens, de ce développement.

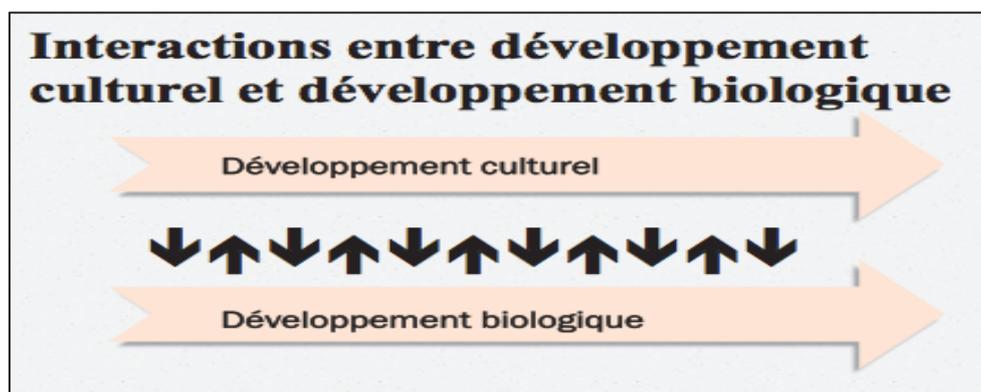


Figure 17. Modèle 1 : le double développement chez Vygotski.

L'idée que la culture influence la cognition, est fondamentale pour Vygotski, le monde social des élèves transforme leurs connaissances mais également la façon dont ils pensent. Il considère l'école comme la voie royale de l'apprentissage médiatisé. Elle contribue le plus au développement de l'enfant durant la période correspondant au milieu de l'enfance. Ce qui renvoie donc à l'énorme responsabilité que l'enseignant a dans sa classe et à l'importance de la tâche de l'enseignant dans sa classe.

Nous voyons que cette théorie tient son originalité et son aspect innovant par la prise en compte de la culture. Vygotski en fait l'élément essentiel pour le développement de l'enfant et il considère que c'est elle qui précède et qui tire le développement biologique.

²⁰⁵ Garnier C, Bednarz N, Ulanovskaya I (1991) p 111.

Il redonne ainsi à l'enseignant et à l'école une place importante dans le développement cognitif.

Entre le développement culturel et biologique, il y a les objets de la culture qui transforment les fonctions psychiques inférieures en fonctions psychiques supérieures. Dans le paragraphe suivant nous allons les définir.

3. Les objets de la culture : des artefacts

Ces objets peuvent être matériels ou symboliques. Le premier (des instruments psychologiques) pour Vygotski est *le langage*. Celui-ci va instrumenter la pensée et favoriser l'action. C'est le mot qui va permettre de comprendre et de fait d'agir et non l'inverse. Par le langage, les parents comme les enseignants influent sur le développement. Notons que c'est en complète contradiction avec Piaget qui dit que le langage est conséquence de l'expérience et du développement.

La langue a un double statut, c'est un objet culturel, qui va instrumenter dans le développement de la cognition mais également un moyen de communication, d'échange et de construction des enjeux symboliques des autres objets culturels. C'est grâce au langage, que je comprendrai comment mon élève procède. Pour Vygotski, ce langage joue un rôle central dans le développement cognitif.

Il existe d'autres objets de la culture, nous pouvons citer entre autres, *les signes* par exemple le fait qu'un élève lève le doigt nous indique qu'il souhaite prendre la parole, *les normes*, le fait qu'il lève le doigt prouve qu'il demande une autorisation, *les techniques*, l'élève qui compte sur ses doigts pour obtenir un résultat, *les symboles, les concepts, la langue écrite...* Tous ces objets aident la mémoire ou la pensée et certains renforcent la perception humaine. Mac Luhan²⁰⁶ parle des « extensions de l'homme ».

Vygotski décrit ces objets de la culture comme des artefacts car ils ont deux dimensions : *Ils sont à la fois outil (l'outil sert à...) et instrument (l'instrument est fait pour...)*. Comprendons bien, un outil n'est pas forcément un instrument. Il est en premier lieu, un artefact qui ne devient un outil que lorsqu'il participe à l'activité de l'utilisateur de l'outil. Prenons, par exemple, un enseignant qui souhaite reprendre sa classe pour un moment d'institutionnalisation, il va hausser le ton afin d'être entendu après une période d'activités collectives. Le fait de hausser le ton, est un geste professionnel d'intervention où il signifie la fin des activités communes et le début d'une synthèse par l'enseignant. C'est une action médiate car elle nécessite le recours à un artefact : s'autoriser à mettre un terme. Au plan symbolique, l'instrument qui consiste à hausser le ton est un signe d'autorité (l'instrument fait pour). Nous pouvons prendre un autre exemple, celui de l'enfant qui fait un nœud à son mouchoir pour ne pas oublier de réaliser une tâche. Le mouchoir est ici un artefact. En modifiant son environnement, l'enfant va contrôler ses processus psychiques.

Tous ces objets de la culture constituent les systèmes de médiation sémiotique que Vygotski a conceptualisés, leur utilisation aboutit à l'activité instrumentale.

Ci-dessous, nous retrouvons un modèle de l'activité instrumentale, proposé par Caumeil (2006).

²⁰⁶ Mc Luhan M (1964).

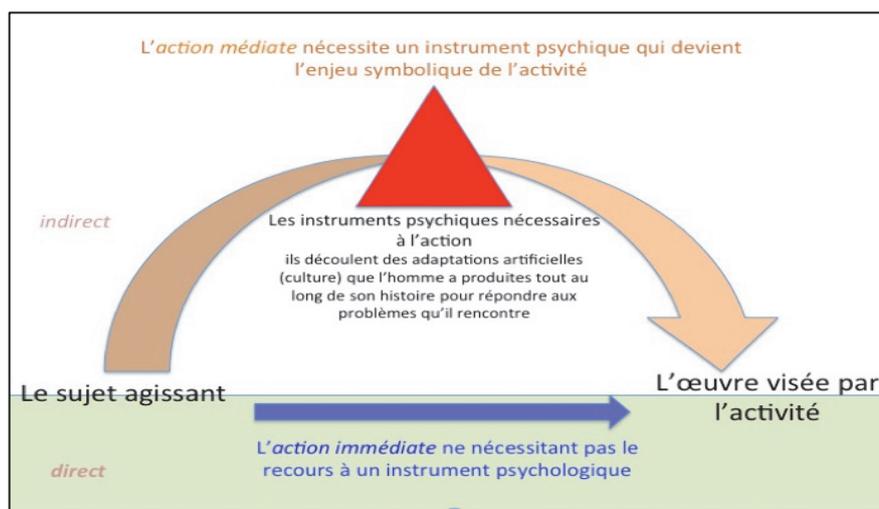


Figure 18. Modèle de l'activité instrumentale chez Vygotski.

« L'appropriation par le petit d'homme des œuvres de la culture »²⁰⁷ permet la construction du psychisme humain. Les activités médiatisées sont rendues possibles par la création ou la reprise d'objets artificiels. C'est ainsi, que dans certains textes, nous retrouvons le nom de théorie historico-culturelle.

Reprenons de façon plus détaillée, ce que nous considérons comme le premier instrument psychologique : le langage.

3.1. Le langage

Vygotski pense que les origines du langage sont sociales. Dès notre naissance, le langage se fabrique dans les échanges sociaux. Il interprète la production d'un son du bébé comme un événement social. C'est en complète contradiction avec Piaget qui pensait que la parole représentait le niveau de traitement mental actuel de l'enfant à savoir les schémas et représentations internes de celui-ci. Piaget reconsidèrera plus tard son point de vue sur les interactions sociales afin de cadrer avec celui de Vygotski.

Aristote²⁰⁸, fondateur de la logique formelle, disait : « *connaître, c'est nommer les choses* »²⁰⁹. Vygotski ajoute que l'introduction des mots permet d'instrumentaliser. Il pense que les enfants acquièrent la capacité de penser en parlant, ils peuvent cogiter en parlant à voix haute. On est très loin de l'idée de parler après avoir réfléchi ! Qui n'a pas exposé sa pensée oralement pour la clarifier ?

Piaget, comme Vygotski, ont défini le langage égocentrique avec une définition qui est sensiblement différente mais, surtout, avec une finalité complètement opposée. Piaget²¹⁰ le définit dans un stade dit pré-opérationnel de la pensée, chaque enfant s'adresse à lui-même sans se soucier d'être compris par les autres. Il prend son origine dans une socialisation du langage initialement individuel. L'enfant a une vision du monde et ne peut adopter d'autres perspectives en même temps. Le langage égocentrique disparaît complètement, il est remplacé par le langage extérieur (social) quand l'enfant adopte le stade supérieur des opérations concrètes.

²⁰⁷ Brossard M cité dans Clot Y (2012) p 132.

²⁰⁸ La connaissance nous vient du monde extérieur par l'expérience.

²⁰⁹ Macé A (2006), disponible sur : <http://www.philopsis.fr/spip.php?article102> Arnaud Macé Philopsis

²¹⁰ Nous retrouvons les critiques du langage égocentrique de Piaget dans Vygotski (1997) p93-103

Vygotski définit le langage égocentrique comme la fusion du langage²¹¹ et de la pensée lors d'une tâche complexe pour l'enfant ou l'adulte. En d'autres termes, ce phénomène marque le passage des « *fonctions interpsychiques* » en « *fonctions intrapsychiques* », c'est à dire le transfert des formes d'activités sociales et collectives de l'enfant à des fonctions individuelles²¹². Ce langage s'adresse à soi-même plutôt qu'à d'autres personnes. C'est un langage souvent abrégé et condensé, compris généralement, que par soi-même. Mais l'auteur n'enlève pas la possibilité que ce langage puisse ressembler au langage communicatif. Le plus important, c'est que le langage égocentrique ne disparaît pas avec l'âge, il se transforme en pensée verbale²¹³. Quand les enfants sont plus grands, voire adultes, le langage égocentrique se transforme en langage intérieur et en pensée verbale et de fait se distingue totalement du langage extérieur. Cette pensée verbale est particulièrement utile, lorsque les élèves ont une difficulté à comprendre un concept en classe, l'enseignant pourra provoquer l'utilisation de la pensée verbale en leur demandant d'expliquer à d'autres, le concept considéré. Cette méthode permet de penser en parlant mais également remet en cause sa propre pensée individuelle. Pour l'enseignant, c'est un indicateur et pour l'élève c'est une remédiation.

Le deuxième objet de culture que nous souhaitons évoquer est celui des concepts puisqu'il s'insère dans notre question de recherche.

3.2. La construction par les concepts : du concept quotidien au concept scientifique.

Dans la conception de Vygotski²¹⁴, le système des concepts scientifiques est un « *outil culturel* » qui, lorsqu'il est assimilé, change profondément le mode de pensée de l'enfant. Vygotski considère que ce sont les concepts qui construisent l'élève, qui deviendra Homme. C'est une autre conception que les définitions données par :

- Astolfi²¹⁵, qui qualifie le concept comme un outil intellectuel, un point de départ pour un travail intellectuel, qui précise que ce sont dans les situations problèmes que les concepts trouvent sens et qu'ils permettent ainsi la transformation des représentations préexistantes.
- Vergnaud²¹⁶, qui reprend les termes piagétiens, pour lui, le concept est un triplet comportant trois ensembles. Le tableau ci-dessous, reprend les trois ensembles avec leurs fonctions et dénominations respectives.

Ensembles	Fonction	Dénomination
L'ensemble des situations.	Sens.	La référence.
l'ensemble des invariants.	Opérationnalité des schèmes.	Le signifié.
L'ensemble des formes langagières et non langagières.	Représentation du concept avec ses propriétés ; les situations et les procédures de traitement.	Le Signifiant.

Tableau 11. Définition du concept en triplet selon Vergnaud.

²¹¹ Vygotski (1997) p 416

²¹² Vygotski L.S (1997) p

²¹³ Ibid., p 50.

²¹⁴ Vygotski L (1997) p 271 à 280.

²¹⁵ Astolfi (1986) N° 244 245 p 34.

²¹⁶ Vergnaud (1996) p 145-146.

Pour Vygotski, l'une des raisons essentielles du potentiel développemental d'un enseignement scolaire bien choisi, tient à l'acquisition par l'élève de « *concepts scientifiques* »²¹⁷ concepts, que l'on peut dissocier des « *concepts quotidiens* »²¹⁸ que l'élève possède avant tout apprentissage, qui résulte de la généralisation de l'expérience quotidienne. Les concepts quotidiens sont non systématiques, non conscients et souvent erronés. Lorsque les concepts scientifiques sont acquis, les concepts quotidiens se structurent et deviennent conscients.

C'est un paradoxe avec Piaget qui conçoit le développement mental de l'enfant comme une socialisation progressive et se prive ainsi de l'étude des apprentissages scolaires qui est l'essence même de la socialisation. En fait, selon Vergnaud²¹⁹, « *Piaget ne dispose pas au plan théorique des moyens de relier entre eux les deux processus de développement des concepts spontanés²²⁰ et des concepts scientifiques* ».

Vygotski²²¹ répond : « *Ce qui fait la force des concepts scientifiques, fait la faiblesse des concepts quotidiens et inversement* ». Les deux sortes de concepts ne présentent pas un niveau identique de développement. L'auteur²²² prend comme exemple, le concept « *frère* ». Il est très connu des enfants et ne présente apparemment aucune difficulté, cependant lorsqu'on leur demande d'expliquer le concept, ceux-ci ont bien du mal à verbaliser une définition. De même lorsqu'on leur demande de résoudre des problèmes abstraits comme « *le frère du frère* » ils se perdent, la situation s'éloignant de leur quotidien. L'analyse du concept spontané montre à Vygotski que l'enfant a pris conscience de l'objet et moins du concept lui-même. Nous parlerons de concept quotidien, quand l'enfant aura une bonne connaissance du concept objet et manifestera une incapacité d'abstraction alors que, nous désignerons de concept scientifique, quand l'enfant aura la bonne connaissance du concept. Les concepts scientifiques sont générés par la capacité à généraliser, plus précisément, quand la signification des mots se développe. Les données empiriques²²³ de Vygotski prouvent que le développement des concepts scientifiques devance celui des concepts spontanés ou quotidiens. L'auteur précise qu'à partir du moment, où l'élève accumule des connaissances, celles-ci entraînent une élévation du niveau des types de pensée qui influe à son tour sur le développement des concepts quotidiens. Vygotski prouve encore que l'apprentissage joue un rôle primordial dans le développement de l'élève et que l'un et l'autre contribuent au processus d'élaboration des concepts. La dialectique entre les deux concepts raisonne dans l'apprentissage formel et informel. Les situations d'apprentissage ont pour but l'appropriation de :

« *Concepts théoriques à travers la réflexion théorique. Ces concepts sont conçus dans les situations mises en place par les différents auteurs, comme des normes que l'élève doit s'approprier car ils apparaissent dans l'histoire de la société et existent objectivement sous forme d'activités humaines, dans leurs résultats et dans les objets réalisés à certaines fins²²⁴* ».

Vygotski contredit ainsi la pensée de Piaget puisque ce dernier considère les concepts spontanés sans lien avec les concepts non spontanés.

Tous ces objets de la culture, découverts ci-dessus, qui transforment les fonctions psychiques inférieures en fonctions psychiques supérieures, se trouvent dans une zone particulière appelée Zone de Plus Proche développement (ZPPD). Cette ZPPD permet de qualifier Vygotski comme un grand pédagogue. Elle est largement de nos jours, reconnue.

²¹⁷ Vygotski (1997) p 271.

²¹⁸ Ibid., p 272.

²¹⁹ Vergnaud G (2000) p 14.

²²⁰ Les concepts spontanés s'appellent aussi concepts quotidiens.

²²¹ Vygotski (1997) chapitre 6.

²²² Ibid., p 361 à 370.

²²³ Ibid., p 273.

²²⁴ Garnier C, Bednarz N, Ulanovskaya I (1991) p 12.

C'est une grande innovation qui laisse place à toute catégorie d'élèves et en particulier à l'élève en difficulté. Nous allons l'expliciter dans le paragraphe suivant.

4. La Zone de Plus Proche Développement (ZPPD).

Cet élément supplémentaire va faire évoluer notre modèle 1 de la théorie de Vygotski. Nous proposons une deuxième version élaborée par Jean Guy Caumeil (2012).

4.1. Modèle 2 de la théorie instrumentale de Vygotski

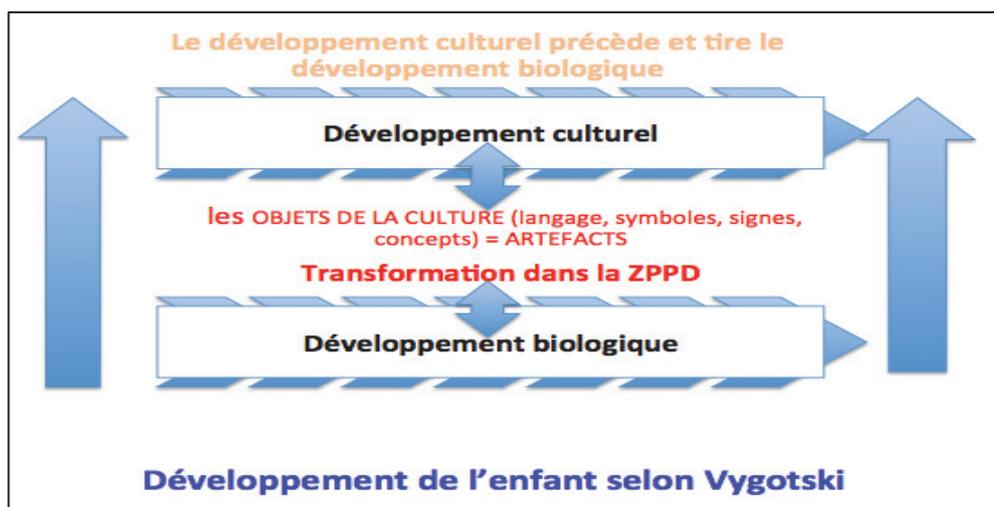


Figure 19. Modèle 2 de la théorie instrumentale de Vygotski.

« Nous avons besoin d'une théorie de l'apprentissage qui nous dise comment peuvent être développées des capacités intellectuelles [...] il est également nécessaire de disposer d'une théorie qui rende compte des rapports entre l'enseignement des disciplines spécifiques et le développement psychologique global de l'individu ²²⁵ »

La ZPPD répond au problème de la relation entre éducation et développement. Nous tenterons dans ce paragraphe de la mettre en valeur.

4.2. La définition

La ZPPD est « une manière de conceptualiser la relation entre le développement et l'apprentissage ²²⁶ ». Vygotski l'a appelée zone car c'est une évolution des comportements et des degrés de maturation. Il parle de continuum de comportements et la définit comme :

« La distance entre le niveau de développement actuel que détermine la résolution indépendante de problèmes, et le niveau de développement potentiel que détermine la résolution de problèmes supervisée par un adulte ou en collaboration avec des pairs plus habiles²²⁷ ».

De façon plus simple, elle est définie comme étant l'écart entre ce que peut accomplir un enfant seul aujourd'hui, ce qu'il peut accomplir avec l'aide de l'adulte et ce qu'il sera en mesure d'accomplir seul demain. L'approche de Vygotski est axée sur le devenir de l'enfant moins sur l'enfant présent, c'est ce qui le distingue des chercheurs occidentaux qui sont eux, sur le présent

²²⁵ Kozulin et al (2009) p 34.

²²⁶ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 62.

²²⁷Vygotski (1978) p 86 cité par Bodrova E, J. Leong D (2012) p 62.

de l'enfant²²⁸. C'est pourquoi Bodrova et Léong (2012) parlent de *zone dynamique* : « *Ce que l'enfant peut accomplir aujourd'hui avec de l'aide constitue ce qu'il sera en mesure de faire demain de façon indépendante*²²⁹ » La ZPPD est en évolution perpétuelle. Les problèmes, qui nécessitent aujourd'hui une aide, seront réglés demain avec une assistance réduite.

Dans les différentes théories observées dans le chapitre 4, les comportements acquis ou en cours s'appuient uniquement sur la performance indépendante. C'est aussi la grande différence avec Vygotski qui considère que ce que l'élève est en mesure de faire aujourd'hui avec du soutien, constitue ce qu'il sera capable de faire demain, tout seul sans assistance.

La ZPPD est parfois appelée zone du potentiel de l'élève, mais il faut rester très prudent, ce serait une erreur de la considérer comme une zone dite de « potentiel ». Vygotski l'explique dans *Pensée et langage* en spécifiant que « *c'est la présence de certaines fonctions en maturation* »²³⁰.

4.3. Origine du terme.

Nous rencontrons dans les différentes ressources, sur Vygotski des traductions approximatives²³¹ de ce terme comme zone prochaine de développement²³² ou Zone proximale de développement (ZPD)²³³. La dernière traduction²³⁴ que nous incrémenterons dans notre cadre théorique, ZPPD, Zone de Plus Proche Développement correspond à une zone de développement par l'apprentissage et non, comme on le rencontre systématiquement dans le discours pédagogique, comme une zone proximale d'apprentissage. L'idée de zone proximale d'apprentissage (qui, par excès de langage, devient zone proximale de développement ZPD) peut avoir du sens en pédagogie, mais elle constitue un contresens dans la théorie instrumentale. En effet, l'élève doit se retrouver dans une tâche qui excède ce qu'il est capable de faire seul et de fait se situe hors de sa zone proximale d'apprentissage. Nous pourrions dire alors, que seule une tâche excédant la zone proximale d'apprentissage, peut permettre d'accéder à une zone de plus proche développement (ZPPD) i.e une zone d'interactions où, l'enjeu symbolique de la tâche, permet de tirer, d'aspirer le développement cognitif de l'élève. La zone n'est pas liée à la proximité d'une potentielle réalisation mais à la transformation de la *cognomorphose*²³⁵ du savoir. En d'autres termes, elle permet de mesurer l'élévation du niveau d'abstraction de l'élève.

4.4. Le fonctionnement de la ZPPD

Vygotski explique que, dans cette ZPPD, la progression de la pensée s'effectue en deux temps, une phase interpsychique où les interactions structurent la pensée dans l'espace social que constitue la classe et une phase intra psychique où l'élève incorpore les instruments psychologiques via les artefacts et les situations d'apprentissage. Sans cette médiation incarnée, la pensée ne s'enrichit pas. Cette zone varie au fur et à mesure que se développent les compétences des enfants. L'enseignant est là, pour la repérer et la déterminer précisément pour aborder son apprentissage. Si nous revenons sur les concepts, c'est dans cette zone que s'effectue le passage des concepts quotidiens en concepts scientifiques.

²²⁸ Bronfenbrenner U (1977) p 528.

²²⁹ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 63.

²³⁰ Kozulin A, Gindis B, Ageyev, V-S, [et al.] (2009) p 38.

²³¹ Traduction en deux temps du russe à l'anglais et de l'anglais au français.

²³² Vygotski (1997) p 351.

²³³ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 62.

²³⁴ Provient d'une traduction conjointe entre russes –francophones et français- russophones.

²³⁵ Cognomorphose concept traité au chapitre 8 paragraphe 3.

Vygotski précise : « l'acquisition des concepts scientifiques constitue la ZPPD des concepts quotidiens »²³⁶. C'est dans cette zone que l'enseignant peut travailler et adapter son enseignement à l'élève en difficulté, à l'élève singulier. Nous observons que, de fait, chaque élève aura sa ZPPD spécifique. Nous avons la possibilité d'étudier l'enfant singulier décrit dans le chapitre 1. Dans cette même zone, Vygotski identifiera la cognomorphose qui définit le gain développemental à un moment précis et la cognogénèse qui montre la progression temporelle de la pensée cognitive de l'élève. Nous reviendrons sur ces définitions, dans le paragraphe suivant, pour établir un troisième modèle de la théorie instrumentale de Vygotski.

4.5. L'utilisation de la ZPPD pour le pédagogue

Dans la zone de proche développement, deux phases sont identifiées, l'une, interpsychique où des interactions structurantes (i.e. susceptibles de mettre en jeu les instruments psychologiques supérieurs identifiés par des énoncés, des discours, des dessins, des lois ...) sont mises en place par l'enseignant dans l'espace social de la classe et l'autre, intrapsychique où l'élève agissant seul, incorpore les instruments psychologiques supérieurs identifiés également par des énoncés, des discours, des dessins, des lois ... La richesse de cette zone permet de s'adapter à chaque type d'élève. Pour une même tâche, un élève aura besoin d'assistance là où un autre n'en demandera pas. De même, un élève pourra avoir besoin d'une grande assistance en mathématiques et sera autonome en français. L'enseignant en observant l'élève, décèlera s'il est dans la ZPPD ou au contraire à l'extérieur. Des outils pour l'assistance et des indicateurs pour repérer la ZPPD de l'élève, seront exposés ci-après.

4.6. La ZPPD : un analyseur.

La Zone de Plus Proche Développement est un analyseur puisqu'elle permet de :

- Ajuster la manière d'aider l'élève dans la tâche qui lui est demandée.
- Mieux définir le niveau exact de l'élève.
- Construire l'apprentissage le mieux adapté à chaque élève.

Il est à noter que la ZPPD ne peut être utilisée en dehors du cadre théorique défini, au risque de trahir le sens proposé par l'auteur.

4.7. Récapitulatif de notre cheminement

Nos questionnements initiaux nécessitent le recours à un cadre théorique permettant à la fois d'identifier la construction cognitive des élèves sur le concept d'atome, d'implémenter celle-ci afin de mieux identifier chaque élève et de la faire évoluer lors des activités en classe.

Le modèle, exposé au paragraphe 4.1 correspond à nos préoccupations. Il est le seul à proposer que le développement culturel précède et tire le développement biologique. Pour Vygotski le pédagogue et l'école ont un rôle prépondérant dans le développement de l'enfant.

²³⁶ Chaiklin S in Kozulin A, Gindis B, Ageyev V-S [et al.] (2003) chapitre 2.

La théorie instrumentale et l'approche développementale de Vygotski représentent un modèle original parmi toutes les autres théories. Elles mettent l'accent sur les différentes problématiques du pédagogue et donne un rôle important :

à l'enseignant, de part l'aspect social qui fait partie intégrante du développement de l'enfant. Les interactions seront fruit de nombreuses adaptations pédagogiques ;

aux concepts, ce sont eux qui construisent l'élève dans toutes ses dimensions, qui feront de lui l'Homme de demain. Les concepts font partie des objets de la culture ;

au langage, il existe une pensée intérieure qui devient pensée verbale. Il est un instrument psychologique fondamental ;

à la de Zone de plus proche développement, grâce à sa théorie du développement, il introduit ce concept. C'est dans cette zone que nous pourrons adopter tous les outils que proposent Vygotski et d'autres chercheurs afin de répondre à notre demande. C'est dans cette zone que l'élève trouvera du sens dans ses apprentissages et pourra évoluer selon son niveau.

Compte tenu du cadre théorique et de ma question de recherche, ma thèse va utiliser la ZPPD en tant qu'analyseur ainsi que les outils s'y rattachant, pour mesurer l'impact des contenus d'enseignement.

Nous venons d'identifier comme analyseur le concept de Zone de Plus Proche Développement. Il est associé à deux autres analyseurs au sein même de la ZPPD, il s'agit de la cognogénèse et la cognomorphose. Ils seront explicités dans le chapitre 8.

Chapitre 8 : trois analyseurs indissociables : la zone de proche développement, la cognogénèse et la cognomorphose.

La théorie vygotkienne est un véritable cadre théorique de référence servant à mieux comprendre l'apprentissage et l'enseignement. Elle offre à l'éducateur de nombreuses perspectives et des indices précieux pour comprendre la maturation et le développement des élèves. Celle-ci ne présente pas d'études empiriques fournissant des méthodes pour chaque situation pédagogique et c'est en cela qu'elle est inépuisable car elle donne des perspectives énormes de recherche dans ce domaine. De nombreux champs sont encore à explorer.

1. Vers un 3^{ème} modèle.

Nous proposons un troisième modèle cette fois plus complet qui permet de prendre en compte deux concepts complémentaires : la cognogénèse et la cognomorphose. Ces deux concepts représentent les deux faces d'une même réalité, le développement cognitif singulier dans un environnement culturel et social. Ce nouveau modèle²³⁷ va ouvrir d'autres perspectives dans la ZPPD notamment des outils qui permettront la mesure de l'impact anthropologique des contenus d'enseignement. Nous partons de l'hypothèse que la ZPPD est utilisable qu'avec le cadre théorique précité, en effet, celle-ci est entièrement liée à la théorie historico culturelle et n'aurait plus le sens utilisé par l'auteur.

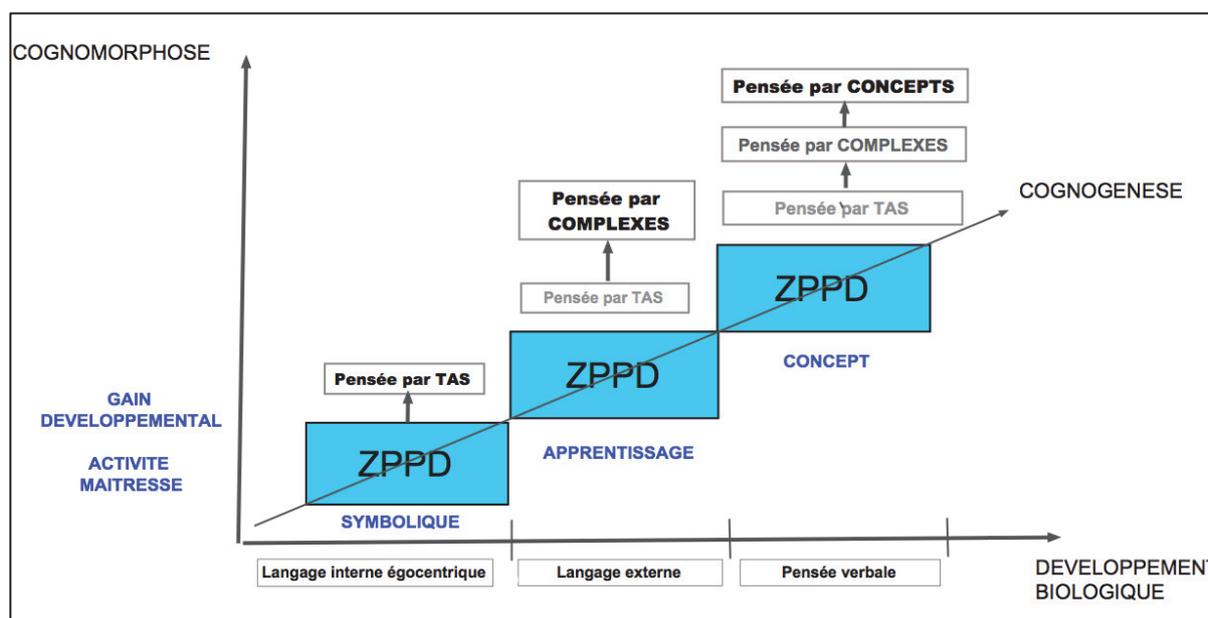


Figure 20. Modèle de la cognogénèse et de la cognomorphose dans la ZPPD selon Caumeil et Dubosq (2015).

La cognogénèse et la cognomorphose vont permettre d'analyser ce qui se passe dans la zone de proche développement. Nous inventorions ci-dessous ce que le modèle incorpore dans notre analyse.

²³⁷ Caumeil J. G, Dubosq M (2015)

L'axe en diagonale est la cognogénèse, il montre l'évolution des progrès de l'élève au cours du temps.

L'axe des ordonnées est la cognomorphose, il montre le gain développemental de l'élève à un instant précis comme par exemple une séance d'enseignement.

L'axe des abscisses montre l'évolution du développement biologique qui sera tiré par le développement culturel dont parle Vygotski.

Parallèlement de l'axe biologique, nous voyons la transformation du langage au cours du temps pour un concept donné. Celui-ci passe, du langage interne égocentrique dans la période où l'enfant utilise des symboles, puis au langage externe lors des apprentissages puis à la pensée verbale avec l'utilisation des concepts. Ces transformations vont se faire en utilisant les « *outils de la pensée*²³⁸ ». Ces outils, intériorisés, aident à mémoriser, à être attentifs et à résoudre les problèmes posés en classe. A chaque nouveau concept étudié, ce modèle se reproduit.

Nous allons ci-après, reprendre ces différentes coordonnées de ce modèle et les expliciter.

2. La cognogénèse.

2.1. La définition.

*La cognogénèse*²³⁹ est la naissance de la pensée. Elle explique l'évolution, les différentes étapes par lesquelles la pensée se transforme. In situ, Vygotski définit trois types de pensée : la pensée par TAS, la pensée par COMPLEXES et la pensée par CONCEPTS. L'axe transversal proposé dans notre modèle, propose l'idée de développement de l'enfant. Ce dernier aura prioritairement une pensée par tas, qui évolue jusqu'à l'âge adulte en devenant une pensée par complexes puis une pensée par concepts. Selon Bruner²⁴⁰, « *le langage, qui est le vecteur, le médium de l'échange, au travers duquel se déroule l'éducation, n'est jamais neutre. Il impose un point de vue sur le monde auquel il se réfère, et sur la manière dont l'esprit est utilisé par rapport à ce monde* ».

Le langage (outil pour Vygotski) agit sur le développement.

C'est la qualité des mots employés par les enfants qui va permettre de catégoriser le type de pensée. Chaque type de pensée correspond à un rapport au monde différent.

Vygotski catégorise trois types de pensée : La pensée par tas, la pensée par complexes et la pensée par concepts. Les élèves vont passer d'une pensée par tas, à une pensée par complexes pour aboutir à une pensée par concepts à chaque nouveau concept étudié. Le modèle n'est pas forcément linéaire comme Piaget avec ses stades, les élèves font des allers et retours entre les différents types de pensée ce qui caractérise bien la ZPPD.

Nous allons expliciter leur signification, dans la cognomorphose, ci-dessous.

2.2. Trois modes de pensée.

2.2.1. La pensée par TAS.

Le rapport au monde, qui caractérise la pensée par tas²⁴¹, est basé sur l'acquis, sur le vécu et sur les souvenirs. Cette pensée consiste pour l'élève à rassembler au hasard un groupe

²³⁸ Titre du livre de Bodrova E, J. Leong D (2012) qui représentent « *les objets de la culture* » de Vygotski

²³⁹ Vygotski (2014)

²⁴⁰ Bruner J (2000) p 147.

²⁴¹ Vygotski (1997) p 211- 214.

d'objets nouveaux en pratiquant des essais. Lorsque l'un s'avère erroné, l'élève passe au suivant. Puis, ce n'est plus un mais plusieurs groupes d'objets sur lesquels l'élève explore. L'élève, en d'autres termes, rassemble au hasard un certain nombre de choses qu'il croit savoir sur l'objet, en pratiquant des essais. Il s'oriente sur des liaisons subjectives et non objectives que lui évoque sa propre perception. Nous pourrions traduire cette pensée en pensée analogique par tâtonnement.

Notre objet d'étude étant l'atome, nous proposons de traduire la pensée par tas de la manière suivante : L'atome est la plus petite partie de quelque chose. L'atome est une molécule, un ion...C'est une pensée peu précise sur le concept.

2.2.2. La pensée par COMPLEXES.

Cette pensée²⁴² est représentée par des liaisons objectives qui s'établissent dans l'impression de l'élève. En clair, l'élève va regrouper des objets similaires ensemble et à les réunir en complexes, selon des lois qu'il s'est fixé objectivement. L'élève inhibe son « égocentrisme ». Plusieurs stades sont envisagés dans ce type de pensée : complexe associatif, complexe collection, complexe en chaîne, complexe diffus et pseudo-complexe. Nous nous intéresserons qu'au dernier stade, du fait de l'âge des élèves impliqués dans notre expérimentation²⁴³ en effet « ces concepts non conscients de l'élève [...] apparaissent justement pour la première fois à l'âge scolaire »²⁴⁴. Vygotski définit ce dernier stade comme l'élaboration d'un *pseudo-concept*²⁴⁵ ou pré-concept. La réunion, sous forme de complexe, d'un certain nombre d'objets concrets, ressemble énormément au concept mais la manière et les conditions d'apparition ne sont pas les mêmes. « Extérieurement c'est un concept, intérieurement c'est un complexe »²⁴⁶. C'est le langage de l'enseignant, les interactions avec le milieu social qui vont déterminer le champ des complexes, l'élève ne construit pas librement ses complexes, il les trouve construits en comprenant le langage d'autrui.

« L'enfant pense sous la signification d'un mot les mêmes objets que les adultes ce qui permet une bonne compréhension entre eux mais il pense cette même chose autrement, par un autre procédé à l'aide d'autres opérations intellectuelles »²⁴⁷.

Chez Piaget nous constatons les mêmes observations : l'enfant établit des liens, une hiérarchie, une causalité entre différents objets qui lui sont logiques et qui, pour nous, sont complètement incompréhensibles et qui n'ont aucun fondement dans la liaison objective des choses.

Nous pourrions traduire cette pensée en pensée causale et systémique.

Notre objet d'étude étant l'atome, nous proposons de traduire la pensée par complexes, comme la bonne compréhension de ce qui est interne à l'atome. Il a un noyau positif contenant des neutrons et des protons avec des électrons qui gravitent autour de lui. Selon le niveau de la classe, cette description peut-être plus ou moins complète.

²⁴² Vygotski (1997) p214- 252.

²⁴³ Les pré-concepts. Les élèves dans notre expérimentation sont des collégiens et des lycéens.

²⁴⁴ Vygotski (1997) p 314.

²⁴⁵ Vygotski (1997) p 225- 233.

²⁴⁶ Vygotski (1997) p 225.

²⁴⁷ Vygotski (1997) p 236.

Cette pensée est plus précise que la précédente mais l'élève ne trouve pas les liens entre monde microscopique et macroscopique, qui lui permettrait d'expliquer différents phénomènes de la vie quotidienne.

2.2.2.1. La pensée par CONCEPTS.

C'est une pensée généralisante et distanciée. Elle consiste à rechercher, dans un objet, les relations qui lui sont propres et les causalités. Cette pensée est atteinte quand les *pseudo-concepts* (*pré-concepts*) ne sont plus des représentations générales et qu'ils sont devenus des concepts au sens de la logique dialectique. La difficulté réside dans le transfert de sens que l'élève doit faire, c'est à dire la faculté de passer de termes abstraits en termes concrets, d'intégrer la signification d'un concept élaboré dans une nouvelle situation. L'élève doit reconnaître le concept et placer le même mot aussi bien dans des situations voisines qu'éloignées.

Nous pourrions traduire cette pensée en pensée abstraite et conceptuelle.

Notre objet d'étude étant l'atome, nous proposons de traduire la pensée par concepts par la faculté d'expliquer les phénomènes de la vie quotidienne, les transformations physiques et chimiques, les changements d'état, la formation d'un ion, la radioactivité et bien d'autres situations. Nous résumons ceci en proposant une expression : « l'atome dans tous ses états ».

2.3. L'analyseur pour le pédagogue.

Les mots vont instrumentaliser la pensée et vont favoriser l'action. La nature des mots et la qualité du discours nous permettront de catégoriser si c'est une pensée par tas, par complexes ou par concepts. Il ne s'agit pas de passer d'un mode à l'autre simplement par construction. C'est une réelle transformation, un véritable développement qui s'opère, elle correspond à un rapport au monde différent. A chaque moment de sa vie, l'individu est confronté à un objet nouveau, il est dans les trois formes de pensée. Il va commencer par tas et par la médiation de l'autre, il passera à la pensée par complexes puis par concepts. L'élève passe d'une pensée par tas à complexes par l'intermédiaire du professeur, des programmes, des objets dans le cadre de la classe. Il utilisera la pensée par tas, pour quelque chose d'inconnu, à chaque nouvel apprentissage, puis passera à la pensée par complexes, puis atteindra la pensée par concepts. Quel que soit notre âge, nous passons par ces trois modes. L'enfant n'est pas le seul concerné, l'adulte, lorsqu'il rencontre un concept inconnu débutera également par la pensée par Tas et il pourra dans certains cas, achever sa vie avec ce même mode de pensée. A chaque instant, nous sommes dans un type de pensée spécifique, nous ne pouvons être dans les trois à la fois puisque chaque type de pensée correspond à un rapport au monde différent. Mais, lorsqu'un type de pensée n'est pas totalement construit, un deuxième type de pensée peut tout de même apparaître. Cet état s'observe, tant que la construction du concept considéré, est incomplète. On observe alors, des allers-retours entre les deux types de pensée, jusqu'à construction définitive du concept. Cette construction aura lieu dans la cognomorphose que nous allons expliciter dans le paragraphe suivant.

3. La cognomorphose.

3.1. La définition.

La cognomorphose (*i.e.* la transformation des modes de pensée) implique une dynamique qui prend forme au travers d'un gain développemental qui se produit dans la ZPPD. C'est l'ensemble de tous les gains développementaux pour un même concept qui va construire la cognogénèse (*i.e.* la genèse de la cognition). Pour qu'il y ait un gain développemental, l'enseignant va prendre appui et avoir recours à des activités maîtresses. Nous allons expliciter cette action ci-dessous.

3.2. Le gain développemental et les activités maîtresses au sein de la ZPPD.

Le culturel influence, agit et tire le biologique, c'est ce que l'on appelle le gain développemental. Il se fait au moment où l'enseignant propose une activité (au travers du traitement didactique de la tâche) qui correspond à une « *activité maîtresse*²⁴⁸ » qui caractérise l'âge de développement de l'élève. C'est une activité qui correspond à l'âge de l'élève et qui lui permet de progresser. Bodrova et Léong²⁴⁹ (2012) citent Leont'ev²⁵⁰, qui la définit comme étant le mode d'interaction privilégié à une certaine période de la vie. Ce dernier précise, qu'elle donne lieu à des gains développementaux essentiels, à des interactions postérieures et qu'elle conduit à la création de nouveaux processus mentaux et à la restructuration des anciens. L'activité maîtresse est définie par des types d'interactions, entre l'élève et son environnement social (dans notre cas la classe) qui aboutiront à des gains développementaux au cours d'une période donnée et qui permettront de préparer la suivante. Elle s'appuie, pour un enfant de 3 à 7 ans, sur le symbolique : l'enfant sera demandeur de mots, il parlera. L'aboutissement sera la maîtrise de la langue et de symboles. Après 7 ans, l'activité maîtresse est basée sur l'apprentissage, l'enfant veut apprendre. Il y a toujours de l'activité symbolique mais principalement ce seront des apprentissages. Plus tard l'activité maîtresse est basée sur d'autres objets comme les concepts. Léont'ev, repris par Bodrova et Léong ont récapitulé dans un tableau²⁵¹ la correspondance entre gains développementaux et activités maîtresses pour chaque âge. Ces activités maîtresses ont été caractérisées jusqu'à l'âge de 11 ans. De notre expérience, nous avançons que l'activité maîtresse pour les élèves de collège et de lycée est la conceptualisation.

A partir des données ci-dessus, nous proposons un premier modèle de la cognomorphose.

3.3. Le Modèle de la performance assistée.

La cognomorphose fait état d'un gain développemental parmi d'autres. En préambule, rappelons que l'élève passe dans la ZPPD par une phase interpsychique où les interactions structurent la pensée, dans l'espace social que constitue la classe et une phase intrapsychique où l'élève incorpore les instruments psychologiques via l'artefact et les situations d'apprentissage. C'est ainsi que la pensée va s'enrichir.

²⁴⁸ Les néo-vygotskiens remplacent la notion de contexte social de développement de Vygotski par activité maîtresse. Bodrova E, J. Leong D (2012) p 146-147.

²⁴⁹ Ibid., p 147.

²⁵⁰ Leont'ev (1978, 1981).

²⁵¹ Annexe 24. Correspondance entre le gain développemental et les activités maîtresses selon Leont'ev.

Le modèle²⁵² de cette transformation se présente ainsi :

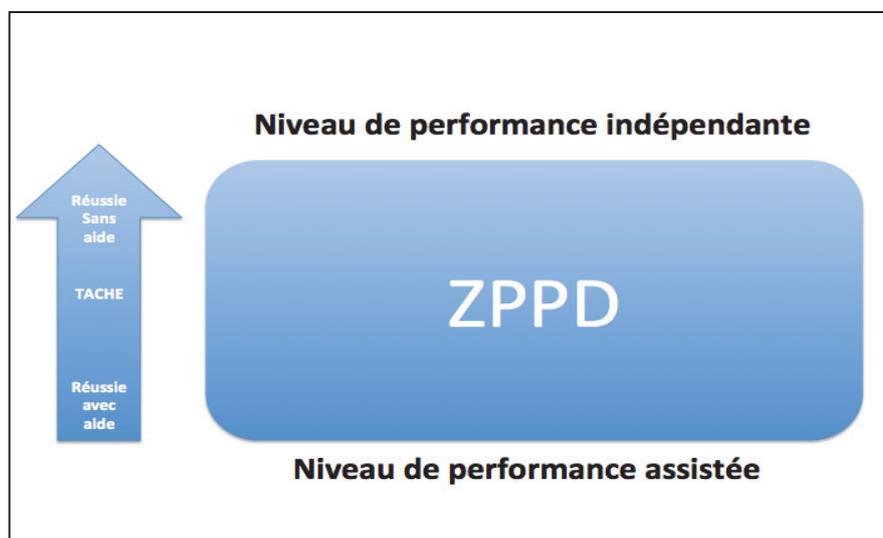


Figure 21. Modèle d'une partie de la transformation dans la cognomorphose.

L'élève débute l'activité maîtresse avec un niveau de performance 1 (indépendante). Assisté de l'enseignant et des interactions avec les autres élèves, l'élève va être élevé à un niveau de performance 2 (assistée). Ce qui se traduit par la possibilité à l'élève de réaliser l'activité maîtresse. C'est le modèle présenté par Bodova et Léong (2012). La tâche de l'enseignant sera achevée lorsque l'élève sera capable, d'assumer seul, sans assistance, cette activité. Notre modèle ci-dessus décrit cette dernière étape. La cognomorphose constitue l'ensemble de ce processus de maturation qui permet d'atteindre un niveau de pensée supérieure. Dans la ZPPD, nous aurons donc ces étapes répétées n fois²⁵³. C'est pourquoi nous entendons parler de « *dynamique de la ZPPD* »²⁵⁴. Celle-ci évolue, au fur et à mesure, que l'enfant débute des tâches complexes et donne naissance à un nouveau degré de performance assistée. C'est un cycle qui va jusqu'à l'obtention complète « *d'un ensemble de connaissances, d'habiletés, de stratégies ou de comportements* »²⁵⁵. Notre modèle au paragraphe 3.4 de ce chapitre, le démontre facilement avec les changements de types de pensée. L'enseignant est là pour assurer le soutien et il doit également diriger l'interaction de telle manière que l'élève adopte le comportement désiré. Sa tâche consiste à reformuler des questions, à demander à l'élève d'expliquer à nouveau son raisonnement, sa démonstration. Le degré de performance assistée comprend tout ce qui peut améliorer les activités cognitives de l'élève. C'est la limite maximale que peut faire l'élève à un instant T . Il est impossible d'apprendre en dehors de la ZPPD. Valsiner²⁵⁶ a ajouté des indicateurs pour mieux connaître ce que l'élève a réellement appris et comment il a appris. Cette performance assistée est désignée comme un *processus circulaire et récursif*²⁵⁷. Nous observons un va et vient au sein de la ZPPD, la transformation n'est pas une suite de progrès, elle nécessite quelquefois de *régresser* pour mieux stabiliser la

²⁵² Modèle Dubosq Caumeil (2015) qui a pris racine à partir du modèle proposé par Bodrova E, J. Leong D (2012) p 63.

²⁵³ Annexe 25. Le caractère dynamique de la ZPPD.

²⁵⁴ En référence à l'annexe 25 Bodrova E, J. Leong D (2012) p 65.

²⁵⁵ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 64.

²⁵⁶ Valsiner J (1989) cité par Bodrova E, J. Leong D (2012) p 66.

²⁵⁷ Relatif aux travaux de Tharp et Gallimore (1988).

connaissance. Le mot récursif est repris par Bodrova et Léong²⁵⁸, il éclaire sur la transformation qui peut se répéter n fois dans la cognomorphose afin d’atteindre le niveau de pensée supérieure.

En récapitulatif, nous pouvons préciser que le gain développemental se qualifie par une transformation et se mesure dans la ZPPD, spécifiquement dans la cognomorphose. La cognogénèse représente l’ensemble des gains développementaux, dans toute la période de l’apprentissage.

Nous allons poursuivre notre analyse de la ZPPD en proposant un deuxième modèle plus complet du développement cognitif dans la cognomorphose et la cognogénèse.

3.4. Le modèle complet de la cognomorphose au cours de la cognogénèse au sein de la ZPPD.

Nous proposons un deuxième modèle qui rend compte plus précisément des actions au sein même de la cognomorphose et cognogénèse. Les termes utilisés sont ceux de Vygotski²⁵⁹ et nous l’adaptions à notre objet d’étude.

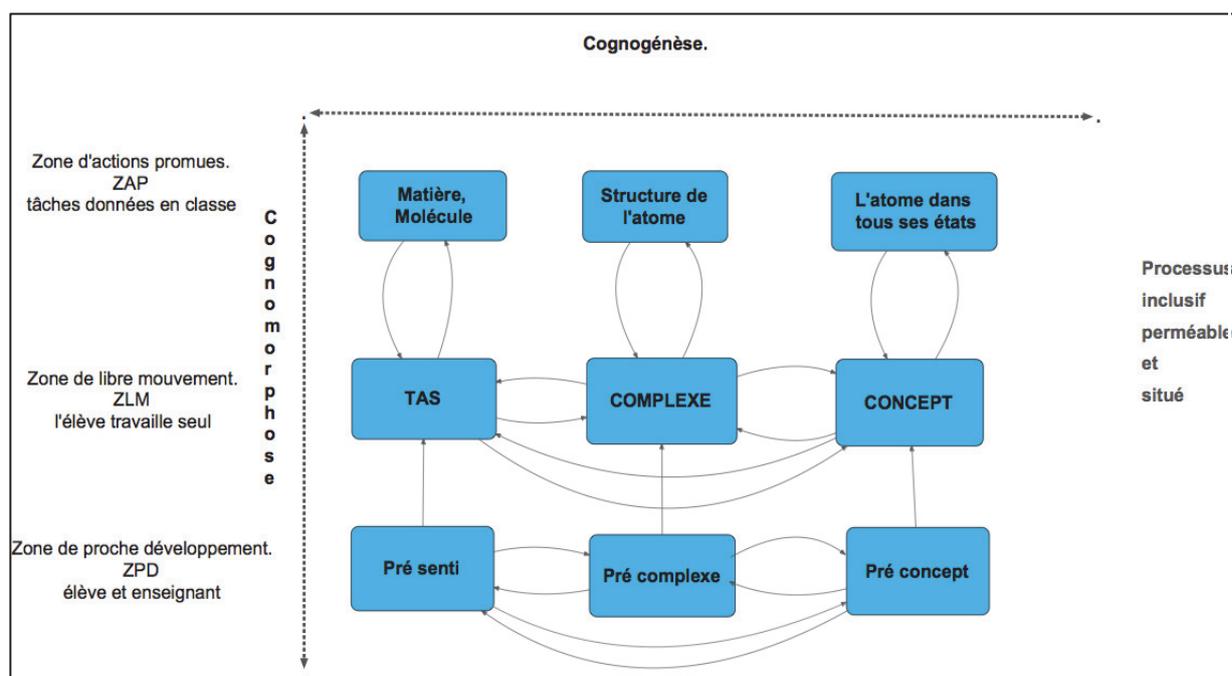


Figure 22. Modèle²⁶⁰ de la cognomorphose au cours de la cognogénèse.

Il existe dans la cognomorphose trois zones que Valsiner²⁶¹ a identifiées. Il s’agit de la ZPPD décrite au chapitre 7, de la ZLM dite Zone de Libre Mouvement et de la ZAP dite Zone d’Actions Promues. Le paragraphe suivant va expliciter ces deux dernières notions.

²⁵⁸ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 65.

²⁵⁹ Vygotski traduit par Sève F et L (2014).

²⁶⁰ Modèle Caumeil J-G, Dubosq M (2015)

²⁶¹Modèle de Valsiner (1985, 1989) cité par Boulanger (2016) p182-183 disponible sur <https://www.researchgate.net/publication/299505868>.

3.5. Présentation des trois zones dans la cognomorphose : ZPPD, ZLM et ZAP

Ci-dessous nous avons regroupé pour chaque zone, les activités qui ont lieu ainsi que les personnes concernées.

Zones ²⁶²	Zone de plus proche développement ZPPD	Zone de libre mouvement ZLM	Zone d'actions promues ZAP
Activités	Interactions avec l'enseignant.	Activités libres de découverte.	Situation balisée avec des objectifs et des consignes. Problème à résoudre.
Personne concernée	Elève avec l'enseignant et les pairs.	Elève seul.	La classe.

Tableau 12. Présentation de la ZPPD, ZLM et ZAP.

La ZPPD, zone essentielle comme nous l'avons précisé ci-dessus, permet d'éclairer la nature du processus éducatif, de comprendre dans quelle mesure l'aide que l'enseignant tente d'apporter à l'élève peut être efficace. De plus, elle permet de mesurer la différence entre le niveau de développement actuel et celui du développement de demain.

La ZAP est la zone où l'enseignant essaye de promouvoir certaines actions avec des objets particuliers. Vygotski donne ici une place aux théories des situations à caractère anthropologique précitées au chapitre 4.

La ZLM est la zone que je qualifierai de *libre échange* ; c'est le rapport entre l'élève et son milieu.

Dans ces trois zones, Vygotski montre les interactions symétriques, allers et retours entre l'élève, l'enseignant et tout ce qu'il a mis en place, activités expériences... Ce modèle reprend la désignation circulaire de Tharp et Gallimore (1988) avec les flèches dans les deux sens. Caumeil (2015) propose de qualifier ce processus de « *inclusif, perméable et situé* » en opposition au modèle de Piaget²⁶³, qu'il avait qualifié de « *cumulatif, cloisonné et successif* ».

3.6. Les différentes étapes du développement du langage dans la ZPPD.

Dans la présentation des différentes théories de l'apprentissage et en particulier sur celle de Vygotski, nous avons consacré une partie sur le langage car c'est le premier et le plus important instrument dans la théorie de Vygotski. Nous reviendrons sur celui-ci, dans le seul but d'explicitier le modèle de la cognogénèse et de la cognomorphose. Sur l'axe du développement langagier de notre modèle, il y a deux types de langage : *le langage interne*²⁶⁴ et *le langage externe*²⁶⁵.

Le langage égocentrique est un langage qui n'est pas clair pour celui qui regarde l'enfant, il se traduit par un individualisme nécessaire et qui ne doit pas être considéré comme anormal. Ce langage, sans disparaître, se transforme en langage intérieur. Nous nous en rendons compte quand nous devons préparer un rendez-vous important. Nous intériorisons cet entretien

²⁶² Valsiner (2010).

²⁶³ Chapitre 4.

²⁶⁴ Vygotski (1997) p 50.

²⁶⁵ Ibid., p106-107).

et répétons dans notre tête ce que nous devons évoquer. Puis lorsque le concept existe en tant que langage intérieur, *la pensée verbale* apparaît. Vygotski établit une correspondance entre mode de pensée et langage.

Le langage égocentrique correspond à un mode de pensée par Tas.

Le langage extérieur correspond à un mode de pensée par complexes.

La pensée verbale correspond au mode de pensée par concepts.

Vergnaud résume en disant que « *L'unité de base du langage et de la pensée est le mot*²⁶⁶ ». Nous limiterons nos propos à ces différents langages ici, mais sommes conscients que le langage écrit qui correspond au stade supérieur, est également une étape très importante dans le développement de l'enfant.

Il nous appartient maintenant de comprendre comment l'élève trouve du sens dans ses apprentissages.

3.7. *Le sens et signification, médiateurs de la pensée et du langage.*

L'apparition de sens est extrêmement importante pour nous, elle apparaît au moment où l'élève est capable d'utiliser le même langage que nous pour désigner les différents concepts étudiés, que ce soit dans des situations voisines ou dans des situations éloignées de ce qu'il a pu rencontrer en classe. C'est une difficulté pour l'enseignant car il n'est pas facile de repérer l'erreur. Un élève pouvant très bien utiliser *le bon mot* pour une situation 1 mais avec une définition différente de la nôtre et c'est seulement dans une situation 2 que le problème se révélera. « *Un mot privé de signification n'est pas un mot* »²⁶⁷. Vygotski nous confirme que « *le sens véritable de chaque mot est déterminé, en fin de compte, par toute la richesse des éléments existant dans la conscience qui se rapportent à ce qu'exprime ce mot.* »²⁶⁸ Paulhan nous donne un exemple :

« *Le sens de Terre, c'est le système solaire, qui complète l'idée de Terre ; le sens de système solaire, c'est la voie lactée et le sens de voie lactée. C'est que nous ne connaissons jamais le sens intégral de quelque chose [...] le sens d'un mot n'est jamais intégral [...] il s'appuie sur une conception du monde et sur la structure interne de la personnalité dans son ensemble* »²⁶⁹.

Mais comment se développent langage et pensée ? Pour Vygotski, « *la signification du mot est un phénomène de la pensée dans la mesure seulement où la pensée est liée au mot et incarnée dans le mot – et inversement elle est un phénomène du langage dans la mesure seulement où le langage est lié à la pensée et éclairé par elle* »²⁷⁰.

L'auteur conclue dans ses recherches que « *les significations des mots se développent* » et que le rapport de la pensée au mot est un processus : « *mouvement de la pensée au mot et inversement du mot à la pensée*²⁷¹ ». Bacon pense que « *la main et l'esprit seuls ne peuvent tout accomplir sans aide et sans les outils qui les perfectionnent* »²⁷². Alors Vygotski franchit un pas supplémentaire dans son analyse, il déclare : « *La pensée ne s'exprime pas dans le mot, mais s'y réalise*²⁷³. *La signification et le sens servent de médiateurs entre pensée et l'expression verbale* »²⁷⁴.

²⁶⁶ Vergnaud (2000) p 48.

²⁶⁷ Vygotski (1997) p 418.

²⁶⁸ Ibid., p 481.

²⁶⁹ Ibid., p 482.

²⁷⁰ Ibid., p 418.

²⁷¹ Ibid., p 428.

²⁷² Thurin M (2017) disponible sur : <http://www.psydoc-france.fr/ConceptsPsy/Concepts/etayage/recitreve.html>

²⁷³ Vygotski (1997) p 493.

²⁷⁴ Vergnaud (2000) p 66.

Après l'action il y le mot, ce qui signifie que le mot est plutôt la fin du développement, il « *est la fin qui couronne l'œuvre* »²⁷⁵ dit Vygotski.

Revenons à l'enseignant, il est difficile pour lui, de cibler si l'apprentissage via l'activité maitresse a réellement donné sens à l'élève sur un concept. Vygotski avec la ZPPD apporte, me semble-t-il, la réponse à cette difficulté puisque c'est dans cette zone, où se construit le sens pour l'élève. Par son modèle, il nous montre que le sens s'acquière, lors des transformations dans la cognomorphose.

Nous pouvons formuler l'hypothèse que, si nous relevons les mots utilisés dans la ZPPD et que nous puissions déterminer les types de pensée des élèves au cours de la cognogénèse, alors nous serons capables de cibler l'élève qui développe du sens dans les apprentissages.

Afin d'aider l'enseignant à mieux construire l'apprentissage, pour chaque élève dans la ZPPD, Bruner a créé la notion d'étayage qui a mon sens, est un véritable concept. Notre paragraphe ci-dessous l'explique.

3.8. La notion d'étayage chez Bruner.

3.8.1. Définition.

L'étayage, dans la ZPPD, permet d'aider l'élève au cours de la cognomorphose, sans pour cela changer la tâche. Le but est de faciliter celle-ci afin que l'élève conserve son attention et sa motivation. C'est donc le soutien²⁷⁶ qui va varier. Zaporozhets²⁷⁷ parle d'amplification qu'il oppose à accélération. J. Bruner, axé sur l'acquisition du langage, propose un modèle d'étayage. Il a développé cette idée (1983) en définissant « *un système de contingence et d'aides* » à mettre en place pour vérifier et seconder les apprentissages et « *un échafaudage* » (scaffolding) pour permettre à un élève d'aborder une tâche et de pouvoir accéder au niveau le plus haut, potentiellement atteignable par l'élève, compte tenu de ses caractéristiques personnelles et du contexte.

²⁷⁵ Vygotski (1997) p 499.

²⁷⁶ Wood D, Bruner J-S, Ross G, (1976) p 89-100.

²⁷⁷ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 71.

3.8.2. Les 6 fonctions d'étayage de Bruner.

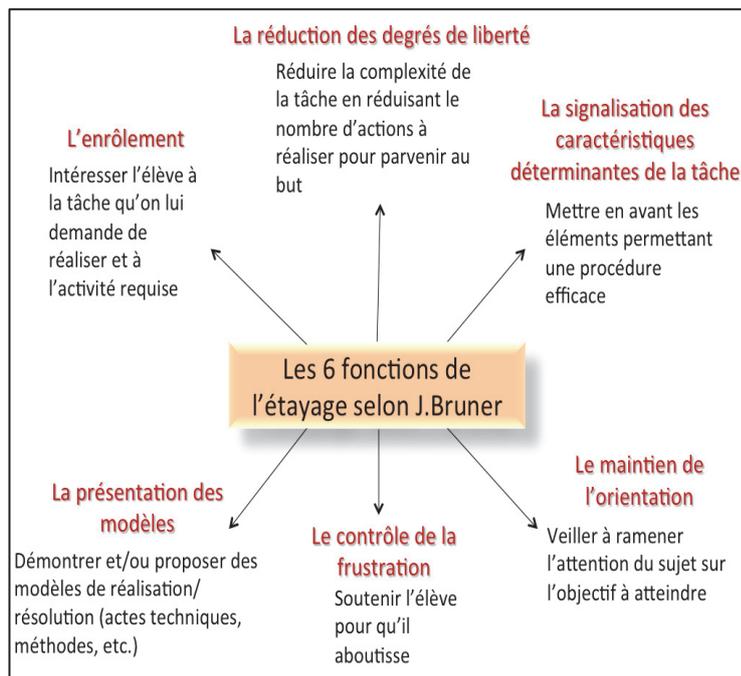


Figure 23. Les six fonctions de l'étayage de J. Bruner.

Caumeil²⁷⁸ présente un modèle qui hiérarchise les phases successives de l'étayage de Bruner.

3.8.3. Les phases successives de l'étayage de Bruner.

La figure ci-dessous montre les différentes phases de l'étayage dans le temps.

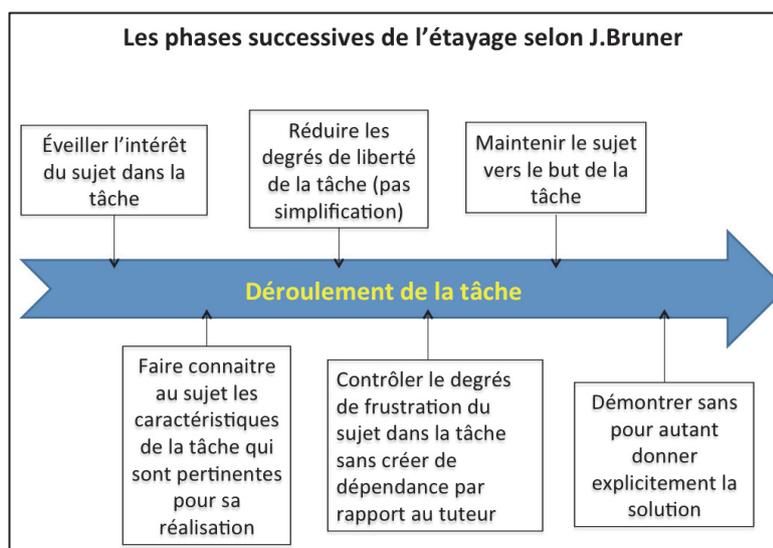


Figure 24. Les phases successives de l'étayage de Bruner.

²⁷⁸ Caumeil (2006) cite le tableau des 6 fonctions d'étayage de Bruner (1996) et présente les différentes phases successives de l'étayage.

3.8.4. Les interactions peuvent contribuer à l'étayage.

En classe, la fonction d'étayage peut se dérouler grâce aux interactions sociales. L'appropriation cognitive dépendra du type d'interactions. Selon Johsua et Dupin²⁷⁹, trois types d'interactions peuvent contribuer à l'étayage. Le premier type est l'interaction entre pairs (E x E)²⁸⁰ sans intervention de l'enseignant, constituée de débats menés dans le cadre d'une situation contraignante. Il existe aussi, l'interaction (P²⁸¹x(E x E)) où les élèves débattent entre eux mais par l'entremise de l'enseignant. Dans ce cas, la gestion du débat appartient au professeur en revanche la gestion de son contenu demeure principalement le fait des élèves.

Et enfin l'interaction (Cl²⁸² x P) qui est un débat de la classe avec l'enseignant, celui-ci interroge la classe et sélectionne les réponses. Pour l'auteur, ce type de débats est souvent rencontré en cours de SPC, il permet de sélectionner les réponses pertinentes en vue d'une avancée rapide de la leçon ou « *les réponses dites « mauvaises », ce qui permet d'insister sur les points jugés difficiles* ». Cependant nous pensons que cette dernière interaction ne soit pas propice à un étayage réussi, car trop restrictive. L'étayage est une source précieuse pour le pédagogue dans la ZPPD. Il vient compléter, et renforcer l'activité maîtresse. Vygotski le définit comme un médiateur et il en distingue deux types: les médiateurs internes et les médiateurs externes. Ces deux nouveaux outils composeront le chapitre 9 et à partir du cadre théorique qui sera alors complet, nous construirons un médiateur externe afin d'améliorer la construction du concept d'atome auprès des élèves de collège et lycée.

²⁷⁹ Cité par Garnier C, Bednarz N, Ulanovskaya I (2009) p 72.

²⁸⁰ E pour élève.

²⁸¹ P pour professeur.

²⁸² Cl pour la classe.

Chapitre 9 : les outils dans la médiation : les médiateurs

1. Définition.

« C'est un élément qui agit comme intermédiaire entre le stimulus environnemental et la réponse de l'individu à ce stimulus ²⁸³ ». C'est un outil cognitif qui aide l'enfant, l'élève et l'adulte à obtenir par exemple la perception, la mémoire, l'attention. Nous en avons tous besoin à un moment ou un autre. Nous avons consacré, dans notre chapitre 7, un paragraphe²⁸⁴ sur les objets de la culture que nous propose Vygotski. Ces objets sont tous des médiateurs. Ils fonctionnent comme des étayages, aidant les élèves à faire la transition entre une performance assistée et une performance indépendante. Vygotski propose deux types de médiateurs : les médiateurs internes et les médiateurs externes.

2. Les médiateurs internes.

Le médiateur interne doit se situer dans la ZPPD, il correspond au gain développemental. Un concept est un médiateur interne, il nous aide, par exemple, à comprendre un mécanisme. Le langage est également un médiateur interne. Dans notre étude, nous considérerons l'atome comme un médiateur interne. Il aide, entre autres, les élèves à mieux comprendre de nombreux phénomènes comme les transformations physiques et chimiques et les réactions nucléaires.

3. Les médiateurs externes.

Les médiateurs externes sont très nombreux et apportent de l'aide aux enseignants qui prennent appui dessus pour organiser une médiation réussie. L'utilisation de signes, de symboles, de tableaux, de cartes et de documents trouvés sur internet sont autant de possibilités offertes à l'enseignant. Les différents modèles de l'atome, proposés au chapitre 1, sont des médiateurs externes. Ils viennent aider l'élève à mieux comprendre un phénomène. On adaptera le modèle au cas considéré. Un enfant qui compte sur ses doigts, pour réaliser une addition, utilise son doigt comme médiateur externe. De même, un enfant faisant un nœud à son mouchoir pour se souvenir de quelque chose, utilise son mouchoir comme médiateur. Les médiateurs externes sont au fur et à mesure de l'apprentissage délaissés au profit du médiateur interne.

4. Leur utilisation selon Leont'ev.

Si nous nous conférons au parallélogramme de Leont'ev, ci-dessous, nous voyons que l'enfant utilise beaucoup plus, au début de son enfance, des médiateurs externes. Il est normal par exemple, en phase d'apprentissage, d'utiliser la classification périodique pour connaître les masses molaires des atomes puis au fur et à mesure l'élève s'en détachera et finira par ne plus l'utiliser. L'emploi de ces objets diminue au profit des médiateurs internes. L'adulte, fera de même, s'il n'est pas scientifique, il sera amené à questionner le tableau de Mendeleïev pour calculer une masse molaire. Par conséquent, face à un nouveau problème, il réagira comme l'élève dans son apprentissage mais généralement, il quittera plus vite le médiateur externe au profit de l'interne. En revanche, l'adulte initié se passera de médiateur externe.

²⁸³ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 78.

²⁸⁴ Paragraphe 3.

Ci-dessous, Leont'ev l'illustre par un parallélogramme, montrant l'évolution de l'usage des médiateurs, au cours d'un apprentissage, des enfants d'âge préscolaire aux adultes.

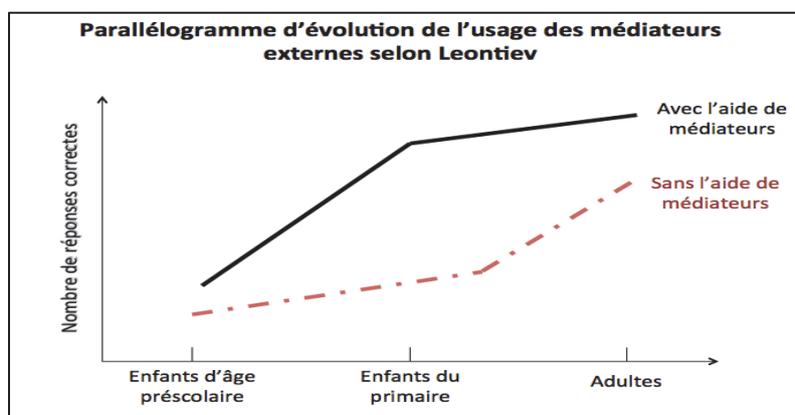


Figure 25. Utilisation des médiateurs internes et externes chez Leontiev.

Caumeil complète ce travail en recensant les différents stades²⁸⁵ dans l'apprentissage des médiateurs selon Leontiev.

Ce parallélogramme nous questionne quant aux élèves de collège et lycée, qui, eux, ne sont pas mentionnés. Réagissent-ils comme les élèves d'école primaire ou au contraire Leontiev, les considère-t-il comme des adultes ? Nous tenterons de répondre à ces questions lors de nos expérimentations, que nous mènerons auprès d'élèves de collège et de lycée avec un médiateur externe nouvellement construit au paragraphe suivant.

5. Le choix d'un médiateur externe.

5.1. Notre objectif.

Si nous nous référons aux travaux Lvovski²⁸⁶ ce dernier met en « avant le rôle fondamental joué par les représentations des modèles et des images dans l'acquisition des connaissances scientifiques ». Pour lui, la qualité d'acquisition des connaissances dépend du niveau de la présence d'images conceptuelles. Ces images conceptuelles permettent d'avoir une idée précise sur les connaissances scientifiques « sous forme d'une unification de trois plans²⁸⁷ : celui des objets, celui des modèles et des images et celui des symboles ». L'auteur référence ces images. Le tableau, ci-dessous, récapitule les différents types.

Façons	Types d'Images
Naturelle et descriptive.	Images copies.
Empirique.	Images codes.
Formelle.	Images schémas, type algorithmique.
Acquérir des connaissances sur le contenu théorique.	Images conceptuelles.

Tableau 13. Types d'images référencés par Lvovski.

²⁸⁵ Annexe 26. Les stades dans l'apprentissage des médiateurs selon Leontiev.

²⁸⁶ Lvovski V in Bednarz N, Garnier C, Ulanovskaya I (2009) p 219.

²⁸⁷ Lvovski Vladimir in Bednarz N, Garnier C, Ulanovskaya I (2009) p 220

Notre objectif est de construire un médiateur externe pour les élèves qui permette la construction du concept d'atome. Nous appuyant sur les résultats de Lvovski et particulièrement sur les images conceptuelles relatives à l'acquisition de connaissances, nous tenterons d'identifier quelle carte ou trame, l'enseignant et l'élève, pourraient utiliser pour l'enseignement du concept d'atome.

5.2. Nos besoins

Récapitulons en premier lieu nos besoins pour construire le médiateur externe. Ces derniers non hiérarchisés sont présentés ci-dessous :

Visualiser des idées complexes.
Construire une représentation spatiale du concept d'atome et ainsi dresser une représentation arborescente hiérarchisée en tenant compte des programmes et des manuels scolaires.
Tenir compte de la structure épistémologique du concept d'atome.
Distinguer une carte, pour chaque niveau de classe, sur une page et avoir la possibilité d'ajouter au fur et à mesure les concepts étudiés.
Indiquer le moment d'apparition (niveau de classe) du concept par un code couleur et permettre le repérage des nœuds ²⁸⁸ .
Etablir des liens de types relationnels entre les concepts.
Permettre à la carte de s'agrandir vers l'extérieur.
Avoir une vision globale non linéaire.
Aboutir à une carte lisible et comprise par tous.

5.3. Le Corpus.

Le corpus que nous avons choisi, est constitué de quatre médiateurs externes : La carte conceptuelle²⁸⁹, la trame conceptuelle²⁹⁰, le réseau conceptuel et la carte mentale²⁹¹. L'étude de chaque outil comprend : son historique, les objectifs, sa composition et son utilisation.

5.3.1. La carte conceptuelle.

5.3.1.1. Historique.

La carte conceptuelle apparaît dans les années 1970, Novak²⁹² est le premier à initier cette technique. Elle a été développée au cours d'un programme de recherche sur les changements de la connaissance scientifique. Les fondements de ce programme étaient basés sur la psychologie de l'apprentissage de Ausubel (1963, 1968, 1978) qui, disciple de Piaget, assure que l'apprentissage est l'assimilation de nouveaux concepts. C'est ainsi que les cartes conceptuelles sont créées. Selon Novak (1994), la carte conceptuelle est une représentation graphique structurée d'un domaine spécifique de connaissances qui fournit une vue d'ensemble

²⁸⁸ Relatif à Develay, au sujet de trame notionnelle, il explicite le nœud qui représente une notion reliée à d'autres, par un réseau dynamique de significations à construire par l'élève pour une meilleure appropriation des savoirs. Cité par Ballarini-Santonocito I. Disponible sur <http://apden.org/IMG/pdf/commentaires-diaporama-savoirs.pdf>

²⁸⁹ Boquillon et al., (1994)

²⁹⁰ Astolfi et al., (2008)

²⁹¹ Buzan et Barry (2003).

²⁹² Disponible sur : <http://cmap.ihmc.us/docs/theory-of-concept-maps>

du réseau conceptuel non linéaire de ce champ de savoir. Il définit le concept comme « *des régularités perçues dans les événements, dans les objets, dans la description d'événements ou d'objets désignés par des étiquettes* ». Il décrit la construction de connaissances comme un accroissement de l'apprentissage significatif. Les concepts sont désignés comme des pièces du jeu de construction de connaissances.

5.3.1.2. Objectifs.

Parce qu'elle est « *une fenêtre sur le cerveau* » (Malone et Dekkers, 1984), la carte conceptuelle est devenu un outil pour organiser et représenter des connaissances ceci permettant une meilleure communication et également une meilleure assimilation. Elle est donc prévue pour organiser de manière graphique l'univers d'un concept. Ausubel souligne la distinction entre l'apprentissage heuristique où l'élève repère les propriétés des concepts de manière autonome et « *l'apprentissage réceptif* », où l'élève, par l'intermédiaire du langage, se voit transmettre de nouveaux concepts ou des éclaircissements sur des anciens. C'est ainsi que découlent l'apprentissage « *routinier* » qui tient du domaine du par cœur et l'apprentissage « *significatif* » qui demande un matériel à étudier clair, construit sur le plan conceptuel et qui tient compte des représentations des élèves. Les cartes conceptuelles peuvent répondre à ces objectifs.

5.3.1.3. Composition.

La structure de la carte va dépendre du contexte dans lequel la connaissance est appliquée et considérée. Il est aisé de répondre à une question et de donner le cheminement de son raisonnement. Les concepts sont notés dans des cases ou des cercles. Ils sont construits de façon hiérarchique dépendant de la question ou du problème de départ. La carte, se lisant de haut en bas, nous lisons en premier lieu les concepts les plus généraux puis les concepts les plus spécifiques. Les relations, entre ces concepts, sont indiquées au moyen de lignes sur lesquelles nous trouvons des mots, précisant la relation entre les concepts. Les relations sont de natures non seulement hiérarchiques mais aussi transversales. Quelquefois, ces énoncés sont appelés unités sémantiques, ou unités de signification. Les deux points fondamentaux dans ces cartes sont la structuration, c'est à dire l'organisation de la connaissance et la capacité à rechercher et à caractériser les liens croisés. Des exemples peuvent s'ajouter afin d'aider, à donner du sens au concept considéré.

5.3.1.4. Utilisation.

En 1994, un article de Daniel Jacobi, Micheline Boquillon et Philippe Prévost intitulé « *Les représentations spatiales des concepts scientifiques : inventaire et diversité* » dans *Didaskalia*²⁹³ précise qu'en 1991, 1992 et 1993 ces cartes étaient plus fréquentes dans les articles anglo-saxonnes (1990, 48%) que dans les articles français (1990, 52%). Il répertorie les cartes conceptuelles fidèles à la technique de Novak de trois manières, d'une part comme des cartes de conceptions d'apprenants ou d'enseignants qui ont pour but d'enregistrer et de visualiser des résultats d'investigation, d'autre part comme des cartes de conceptions composites ou de synthèse issues d'une recherche didactique, analysées par les chercheurs afin de servir une stratégie d'enseignement et, enfin, comme des cartes modèles qui résultent de la recherche et qui sont posées comme références. De même, Tochon (1990) a ciblé trois types d'utilisateurs: les apprenants, les enseignants et les chercheurs.

²⁹³ Boquillon M, Jacobi D, Prévost P (1994) n°5, p 7-23.

5.3.1.5. *Evolution.*

Au fur et à mesure du temps, nous constatons que ces cartes évoluent, se transforment, voire changent de nom selon l'utilisateur et le public désigné à les récupérer. Daniel Jacobi, Micheline Boquillon et Philippe Prévost distinguent également dans leur article, les cartes conceptuelles qui s'éloignent de la technique de Novak. Certaines n'ont en commun que le nom, puisqu'on ne retrouve pas de liens identifiés entre les concepts. A titre d'exemple, le modèle de Leclerc et al. (1993) propose une carte relative à la protection des cultures en agrotechnique, elle correspond à une structure arborescente de concepts qui sont reliés entre eux, sans mot explicatif. Certaines cartes proposent un autre type de spatialisation, comme:

- la «flow-map ou carte de flux» qui identifie les différentes étapes d'un processus.
- le « *vee-diagram ou vee-map* », formalisé par Wandersee²⁹⁴ dans le Journal of Research in Science Teaching, qui présente la structure de la connaissance avec les éléments épistémologiques de sa construction.
- « *le knowledge-Mapping* », cartographie d'une connaissance présenté par Mc Cagg & Dansereau²⁹⁵ comme un arrangement spatial de nœuds et de liens représentant les informations conceptuelles et relationnelles pour un domaine de connaissance donné.

D'autres dispositions particulières, comme une représentation spatiale de concepts (qui peuvent être étiquetés) non liés entre eux dans un espace à deux dimensions et une représentation de concepts sous forme iconique peuvent également se rencontrer. La liste est, bien entendu, non exhaustive, nous sélectionnerons, dans toutes ces catégories, certains critères utiles à notre recherche.

5.3.2. La trame conceptuelle.

5.3.2.1. *Historique.*

Appelée également réseau de formulation ont été présenté par l'INRP et théorisé par Astolfi et al.²⁹⁶ (1980). La trame conceptuelle ne ressemble pas à une carte conceptuelle. Celle-ci renvoie à deux types de références théoriques, l'une épistémologique et l'autre psychologique. Sur le plan épistémologique, la trame permet de mettre en relation les concepts d'un domaine à étudier, d'une part en montrant les liens des éléments constitutifs d'un même concept et d'autre part en précisant les liens avec des concepts limitrophes. Sur le plan psychologique, ces cartes permettent de concevoir l'organisation mentale des connaissances et la façon de les mettre en mémoire.

5.3.2.2. *Objectifs.*

Ces trames conceptuelles ont pour but d'éclaircir différentes parties du programme officiel de l'enseignement scientifique ou un chapitre, de mettre à jour une structuration, d'envisager des progressions dans le savoir et de repérer les articulations essentielles pour une meilleure compréhension par le lecteur.

²⁹⁴ Novak J-D, Wandersee J-H (1990) vol. 27, n°10 p 923-934.

²⁹⁵ Mc Cagg E.C, Dansereau D.F. (1991) vol.84, n° 6, p 317-324.

²⁹⁶ Astolfi J-P (1985) p 46-47.

5.3.2.3. *Composition.*

La différence entre la carte conceptuelle et la trame conceptuelle porte sur les unités spatialisées. Celle-ci est un réseau d'énoncés opératoires, généralement sous forme de phrases qui peuvent être lues de manière indépendante. Chaque énoncé correspond à une réponse à un problème scientifique, cependant la nature des traits ou des liens, entre eux, n'est pas indiquée. Les énoncés sont hiérarchisés entre eux, chacun englobant d'autres plus élémentaires (réseaux orientés). Cette hiérarchisation, de petite taille, vise en tout premier lieu à décrire des implications logiques entre les contenus des énoncés. Sa composition ne ressemble donc pas à une progression d'enseignement.

5.3.2.4. *Utilisation.*

Dans les années 1990, ces trames furent beaucoup utilisées surtout dans les revues francophones afin d'analyser les manuels scolaires et les discours d'enseignants. C'est un outil pour les enseignants et la recherche puisqu'il permet de situer les acquisitions des élèves, d'aider dans les choix de stratégies d'apprentissage et de faire apparaître « *les ruptures et les réorganisations du savoir* » appelées « *objectifs obstacles* ». Ces trames organisent de manière cohérente « *les formulations conceptuelles à différents niveaux d'enseignement sur la base d'une analyse rationnelle préalable* ». Jean Pierre Astolfi (1985) propose quatre types de trames conceptuelles : « *la trame établi à priori* » adaptée aux chercheurs qui établissent la structure du savoir à transmettre, « *la trame prévisionnelle* » qui vise à préparer une progression, la « *mini-trame* » qui se focalise sur les tâches intellectuelles de l'élève et enfin la « *trame bilan* » qui permet la mémorisation et la structuration des notions abordées.

5.3.3. Le réseau conceptuel ou modèle conceptuel.

5.3.3.1. *Historique.*

Ces deux notions sont relativement floues car elles n'ont pas de références théoriques précises. Le modèle ne semble pas répondre à une seule définition vu le caractère polysémique de ces termes.

5.3.3.2. *Objectifs.*

Le modèle peut être représenté par une procédure de recherche, un modèle pédagogique ou un processus cognitif.

5.3.3.3. *Composition.*

La technique est assez mal définie en effet il est construit en reliant des concepts entre eux selon un diagramme dont la forme est très variable.

5.3.3.4. *Utilisation.*

Le réseau s'apparente dans quelques exemples en sciences de l'information, la cybernétique et la systémique.

5.3.4. La carte heuristique ou carte mentale.

5.3.4.1. *Historique.*

La carte heuristique vient du grec ancien « *eurisko* » qui signifie je trouve. Elle est nommée aussi carte des idées, schéma de pensée, carte mentale, arbre à idées, topographe ou encore sous son appellation anglaise « *mind map* ». Cette méthode a été mise au point dans le domaine des neurosciences par le psychologue anglais Tony Buzan dans les années 70. Il n'en est cependant pas l'inventeur car cette méthode remonte à l'antiquité. Cette carte a une approche socio-constructiviste de l'apprentissage. Elle consiste à faire découvrir à l'élève ce que l'on veut lui enseigner.

5.3.4.2. *Objectifs.*

La carte heuristique n'a pas vocation d'être achevée, elle ne cesse d'évoluer. Avec un même corpus d'informations, elle peut être différente selon l'objectif que se fixe l'utilisateur, selon les individus ou selon le contexte. C'est le cheminement qui est finalement fondamental par rapport au résultat. L'outil, cependant, ne suffit pas et il est nécessaire d'avoir un *bon animateur* pour le présenter.

5.3.4.3. *Composition.*

La carte ressemble à un arbre avec une image centrale qui est constituée de branches. Chaque branche, dont l'épaisseur peut varier selon l'importance, représente les grands thèmes du sujet irradiant. Les mots-clés sur les lignes, les couleurs différentes éclairent le lecteur et l'obligent à faire des liens. Quant aux images et aux icônes, ils favorisent une interprétation rapide et une meilleure compréhension. Les concepts les moins importants se situent sur les branches secondaires. De fait, la lecture se réalise du centre vers l'extérieur et dans le sens des aiguilles d'une montre. Cependant le lecteur peut commencer sa découverte par toutes les branches principales, puis, l'achever par les branches secondaires ou au contraire s'attacher à l'appropriation de l'ensemble d'une branche.

5.3.4.4. *Utilisation.*

Buzan (2012)²⁹⁷ la qualifie de « *représentation graphique de la pensée rayonnante*²⁹⁸ ». Ces cartes rompent avec une hiérarchisation linéaire, elles prennent en compte le fonctionnement de notre cerveau qui comprend deux hémisphères corticaux qui ont chacun leurs spécificités propres. Si le premier réagit mieux aux concepts et à la raison, le second apparaît plus intuitif et artistique. Deux structures de pensée se forment, « *l'éclosion [brainbloom] comparée à un soleil ou une fleur et le flux d'idées qui passe d'une idée à l'autre* ». L'utilisateur libère ainsi ses facultés à associer, synthétiser et mémoriser. Il est important de noter, pour notre choix plus tard, que le concept de départ n'est associé directement qu'à un seul autre terme.

²⁹⁷ Buzan B, Buzan T (2012) p 31.

²⁹⁸ « La pensée rayonnante désigne le processus par lequel le cerveau humain génère des idées » *ibid.*, p 31.

6. Discussion sur la construction du médiateur externe parmi le corpus précité.

De notre corpus, nous avons éliminé le réseau conceptuel pour le manque de clarté de sa définition et de leurs références didactiques.

La trame conceptuelle est un outil qui correspond assez bien à notre demande, mais, celle-ci ne peut être utilisée telle qu'elle est définie. En effet, nous souhaitons mettre en évidence les concepts associés à l'atome et les énoncés risquent de surcharger la production. Le risque est de ne pouvoir établir une carte par niveau sur une seule page. En revanche nous conservons l'idée d'explicitier chaque lien mais, sous la forme d'un mot ou d'un groupe de mots.

La carte mentale se distingue par sa représentation à la fois visuelle (couleurs, images et schémas), logique (liens organisation des concepts) et linguistique (mots-clés). Elle paraît assez intuitive mais destinée à un usage personnel. Ceci ne correspond pas à notre cahier des charges. En effet, nous souhaitons une utilisation universelle (élèves, enseignants et chercheurs). En revanche, l'usage des mots-clés, pour relier deux concepts, semble correspondre à notre demande. Pour les mêmes raisons que la trame conceptuelle l'usage d'images et de schémas risquent de surcharger la carte.

Quant à la carte conceptuelle, nous adhérons aux objectifs de Marie-Laure Compant La Fontaine²⁹⁹, qui souhaite distinguer les concepts, les connaissances déclaratives correspondant « au connaître que », les connaissances procédurales renvoyant à un « savoir comment » et les connaissances conditionnelles faisant référence à « un savoir quand et pourquoi ». En revanche, nous nous éloignerons de la définition d'une carte conceptuelle qui répond généralement à une question précise. Ici, notre objectif est de construire un concept par niveau de classe, voire de cycle.

En conclusion, au regard de nos exigences, nous utiliserons *des objectifs de la trame conceptuelle*³⁰⁰ à savoir : une construction sur un plan épistémologique, un choix *de concepts intégrateurs* en nombre limité permettant ainsi une vision synoptique, l'élaboration d'un arrière-plan notionnel en laissant les concepts construits des années précédentes, *l'établissement de moment de structuration et de ponts entre les connaissances* par un jeu de couleur. Comme la carte mentale, nous utiliserons des mots principalement des verbes qui permettent d'établir des liens entre les différents concepts. Enfin comme notre carte aura des traits en commun avec la carte conceptuelle quant à sa composition et sa réalisation, nous la désignerons par « *carte conceptuelle* ».

7. Méthode utilisée pour la construction du médiateur externe.

Notre conclusion ci-dessus reprend les éléments qui permettent de construire le médiateur externe. Nous suivons les indications de Wandersee³⁰¹ qui déclare :

« *Un traceur de carte doit souvent transformer la connaissance à tracer de sa forme courante, linéaire en une forme hiérarchique dépendante du contexte. Avant que cela ne puisse être fait, le traceur doit d'abord identifier les concepts clés, les arranger du général au particulier, et les relier à chaque autre dans une voie signifiante.* »

²⁹⁹ Compant la Fontaine M. L (2009). Disponible sur https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00359477

³⁰⁰ Astolfi et al. (2008).

³⁰¹ Wandersee (1990)

Nous avons souhaité élaborer une représentation spatiale des concepts autour de l'atome explicitement formulés dans les programmes de manière à les organiser et les articuler. Les bulletins officiels³⁰² ainsi que les manuels scolaires nous ont permis de :

- mieux lister toutes les notions constitutives du concept d'atome en tenant compte de son épistémologie.
- définir les liens logiques entre ces notions et la nature des relations qu'elles entretiennent.

Nous avons ajouté des concepts à teneur transversale, qui nous semblent fondamentaux pour une bonne compréhension de la notion principale. Par exemple l'atome est un concept général, l'électron un concept plus spécifique et la conservation un concept transversal. Notons que la construction de cette carte a été adaptée à nos objectifs mais nous nous éloignons fortement du modèle de Novak (2008). Les liens les plus importants et les plus utiles à la bonne compréhension du concept sont fléchés avec un verbe ou un groupe de mots, afin d'éclairer le lecteur dans les situations complexes. Le choix de l'ordre de présentation des concepts, de l'importance de chacun d'entre eux et de chaque lien est discutable. Nous avons donné une priorité aux instructions des programmes officiels dans un premier temps et au caractère épistémologique de la construction du concept pour un élève dans un deuxième temps.

8. Présentation des cartes conceptuelles élaborées.

La réalisation des cartes conceptuelles s'est effectuée pour chaque niveau de classe de la cinquième à la seconde à la terminale S avec la perspective des nouveaux programmes de collège. Chaque classe est distinguée par un code couleur: vert pour la classe de 5^{ème}, bleu pour la classe 4^{ème}, jaune pour la classe de 3^{ème}, rose pour la classe de seconde et marron clair pour la classe de 1^{ère} et Terminale S. Certains mots sont dans des hexagones car ils sont considérés comme des applications et non des notions ou concepts. Le logiciel utilisé pour les réaliser est VUE³⁰³ qui signifie : *Visual Understanding Environnement*.

Les objectifs de son utilisation sont de :

Pouvoir modifier rapidement la structure quand il y a des modifications dans le programme de l'enseignant.

Distinguer les niveaux de classe par un code couleur.

Pouvoir superposer les cartes de différents niveaux.

Changer instantanément des éléments.

Rendre esthétique pour faciliter la compréhension et la lisibilité.

Repérer les nœuds et les sauts conceptuels.

Les cartes conceptuelles ont été réalisées pour toutes les classes de la 5^{ème} à la Terminale S. Ci-dessous nous proposons deux cartes conceptuelles, l'une dédiée au cycle 4 (élaborée pour les nouveaux programmes de collège 2016) sur le concept d'atome et une autre utilisable jusqu'en terminale S. La carte conceptuelle du cycle 4 comporte quelques concepts du cycle 3

³⁰² BO anciens et nouveaux programmes de collège (2006 – 2016) et programmes de lycée en vigueur.

³⁰³ Provenant du Projet Open Source basé à l'Université Tufts (US). Le projet de VUE se concentre sur la création d'outils pour la gestion et l'intégration des ressources numériques dans l'enseignement et la recherche.

que nous n'avons pas voulu mettre à part. En annexes³⁰⁴, une carte pour chaque niveau de classe est disponible de la 5^{ème} à la terminale S.

Ci-dessous nous présentons la carte du cycle 4, qui a fait l'objet d'une communication au séminaire ARDIST³⁰⁵ en 2016 à Lens et d'un article en ligne dans les cahiers pédagogiques³⁰⁶. La carte de terminale S rend compte de l'aboutissement de la construction du concept.

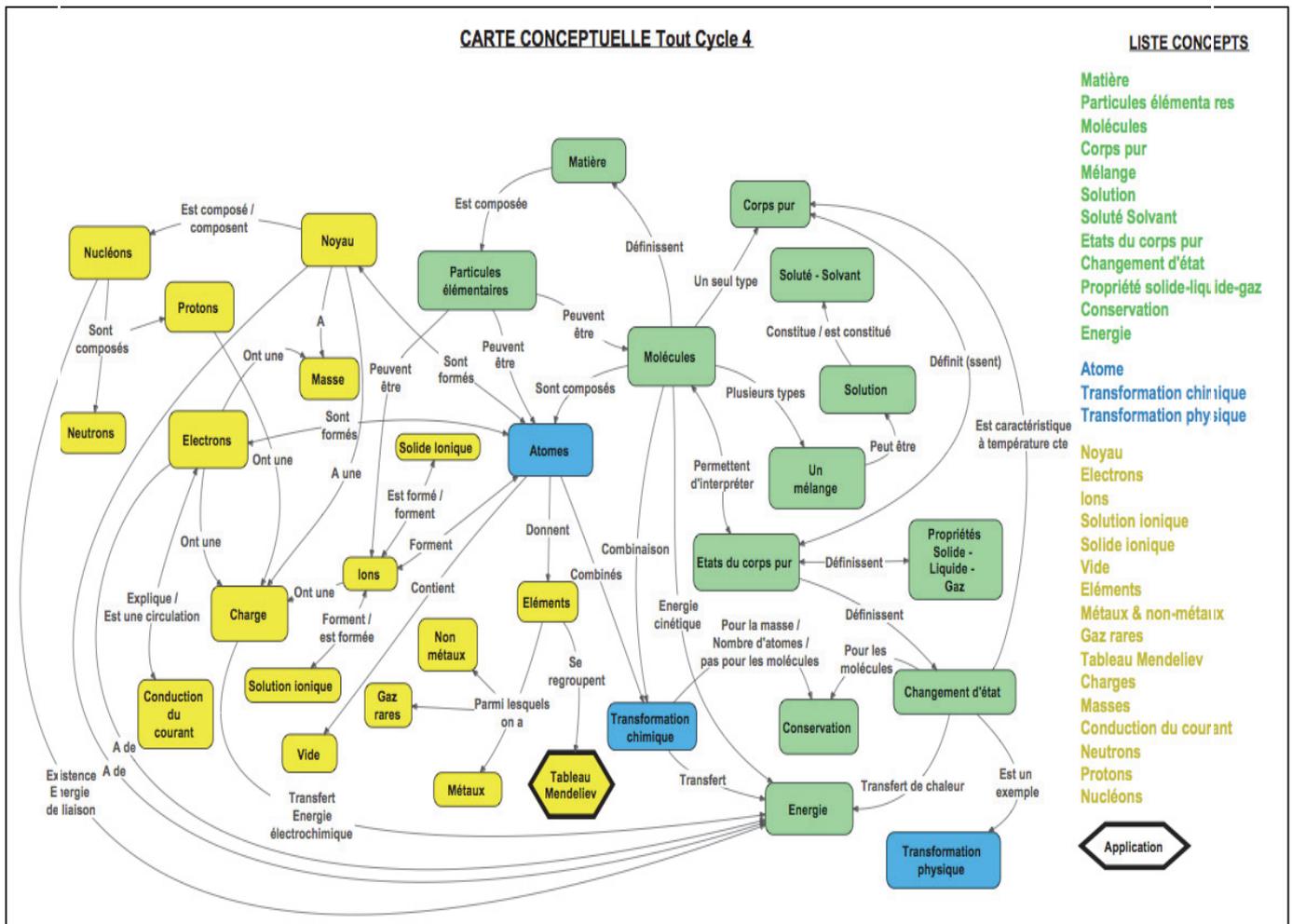


Figure 26. Carte conceptuelle cycle 4 sur le concept d'atome (Dubosq 2015)

La carte de première et terminale S ci-après est présentée de nouveau, agrandie, en annexe 30.

³⁰⁴ Annexe 27 classe de 5^{ème} et 4^{ème}, annexe 28 classe de seconde, annexe 29 première L. Cartes conceptuelles sur le concept d'atome de la 5^{ème} à la première L.

³⁰⁵ Association pour la Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies. Communication (2016) disponible sur <https://ardist2016lens.sciencesconf.org/82693/document>

³⁰⁶ Disponible sur <http://www.cahiers-pedagogiques.com/Trousse-d-urgence-pour-les-enseignants-de-Sciences-Physiques>.

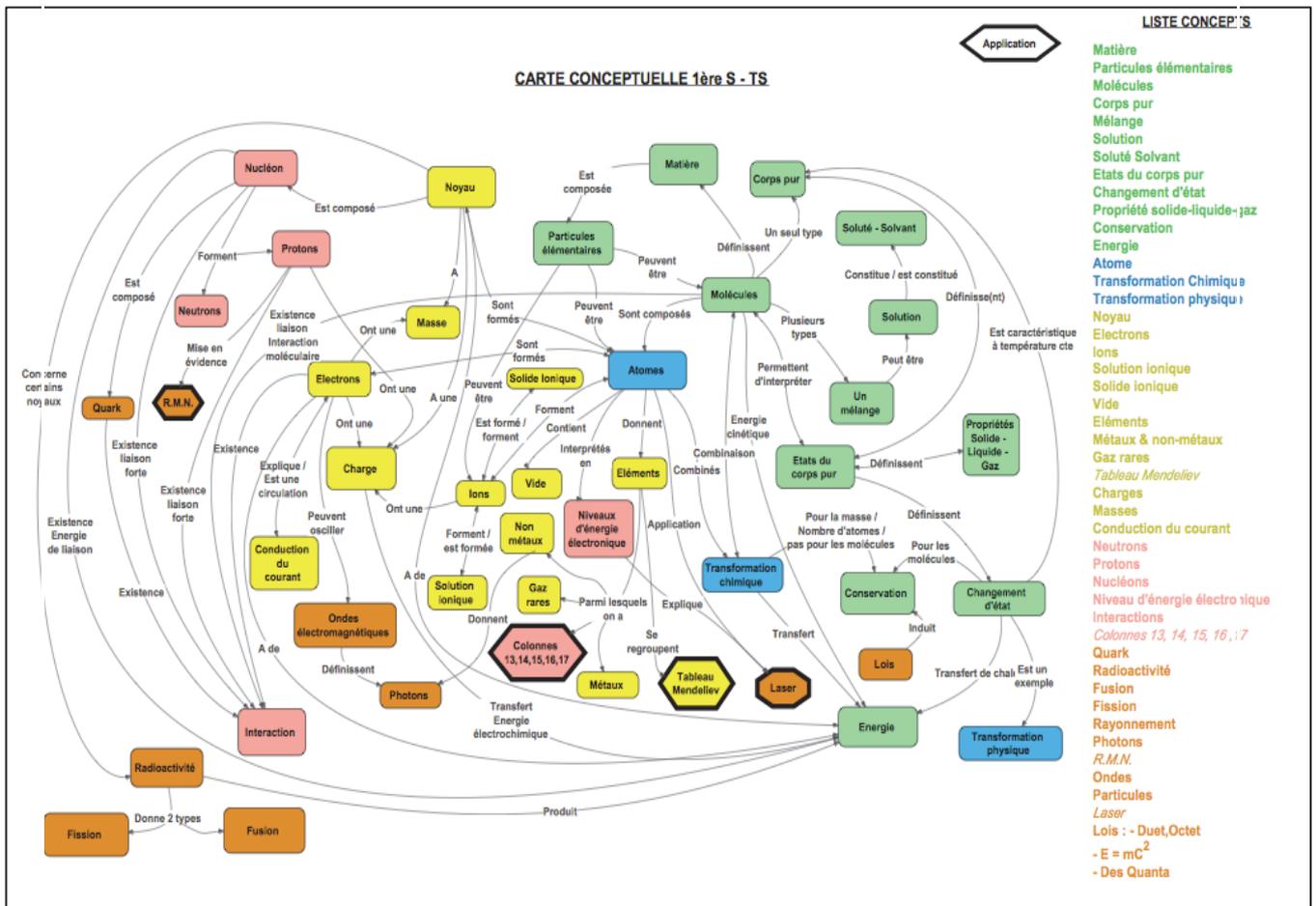


Figure 27. Carte conceptuelle de l'atome pour le lycée en terminale S (Dubosq 2015)

8.1. Limites de cet outil.

Ces cartes ont été construites sans comparaison avec les cartes d'apprenants, ce qui nous aurait permis de mieux identifier le cheminement cognitif des élèves. Les concepts sont rapprochés à un découpage du savoir et de définitions qui ne correspond pas à toutes les communautés (élèves, enseignants ou chercheurs).

8.2. Quelques applications.

Ces cartes viendront compléter notre expérimentation néanmoins nous proposons en aval, quelques applications pédagogiques avec les élèves, ci-dessous:

- l'établissement d'un résumé des acquisitions notionnelles des élèves après apprentissage sous forme d'une carte conceptuelle. L'élève, seul, pourra construire cette carte :
- selon le niveau des élèves, une activité complémentaire peut être proposée, basée sur une *expert skeleton map*³⁰⁷ soit une carte conceptuelle de référence dont certains éléments seront laissés vierges afin que les élèves la complètent à partir d'un « parking lot » ou liste pré établie de concepts ;

³⁰⁷ Novak J-D, Canas A-J (2006).

- l'établissement d'une carte effectuée par un groupe d'élèves ce qui permettrait de repérer, dans les interactions, les obstacles à la construction du concept ;
- plusieurs niveaux d'analyse peuvent être envisagés : comparaison de la carte conceptuelle propre à l'élève, celle que l'élève complète et celle réalisée par un groupe, avec la carte conceptuelle dite de référence.

Si nous résumons, ce travail va amener l'enseignant, plus facilement, pour un cycle donné, à :

Mettre en évidence les connaissances antérieures, les conceptions et les représentations de ses élèves sur un concept.

Identifier les connaissances erronées et/ou les connaissances partielles liées à ce concept.

Faire prendre conscience à l'élève de ses lacunes en créant le doute qui est un des facteurs de la motivation.

Aider à structurer et organiser la connaissance chez l'élève.

Visualiser comment les apprentissages se réalisent par la représentation des relations de « sens » entre les concepts.

Présenter le cheminement d'un concept dans sa discipline à un enseignant d'une autre discipline lors d'un EPI³⁰⁸ au collège.

9. Conclusion : vers une didactique instrumentale.

Cet outil construit ci-dessus s'incorpora dans nos expérimentations en tant que médiateur externe dans la ZPPD. Cette carte conceptuelle, intervenant comme « *étayage* », va construire le médiateur interne qui est l'atome.

Revenons à l'origine de nos difficultés d'enseigner les sciences et principalement ici d'enseigner le concept d'atome. Les didacticiens, dans le chapitre 4, m'ont donné des axes de travail intéressants sur la situation. J'ai effectivement à disposition des situations d'apprentissage qui sont brillantes pour le pédagogue mais cependant elles ne sont pas fondées sur le sens. Piaget considère qu'il suffit que les situations soient bien faites pour que l'auto-adaptation se fasse et qu'ainsi le concept naisse. Lors de visites auprès des enseignants stagiaires, j'observe des séances d'excellente qualité mais, où l'enseignant s'interdit d'intervenir sous prétexte que l'élève doit vivre la situation et que ce dernier doit se confronter à l'obstacle. Dans cette mécanique, il doit y avoir une auto-adaptation pour que le schème se transforme. La théorie de Vygotski s'oppose à cette vision. Ce dernier désigne le concept comme seule réponse à notre difficulté d'enseigner. Le concept posé, l'échange symbolique ainsi que l'action de l'enseignant vont tirer cette auto adaptation dont parle Piaget. La question de fond est : « *est-ce le développement qui permet le concept ou est-ce le concept qui tire le développement ?* » Me prononçant sur le choix vygotkien, la deuxième réponse s'impose ; ce sont les enjeux symboliques dans les situations didactiques qui vont tirer l'élève. Ceci m'amène à proposer une autre didactique qui est anthropologique. Face aux difficultés de l'apprentissage des sciences, il y a une alternative à la didactique traditionnelle, je la nommerai didactique instrumentale, elle place le concept dans une dimension qui est déterminante de la didactique. Dans cette nouvelle didactique, il n'est pas question d'évacuer les savoirs et de ne privilégier que l'approche pédagogique, de tomber dans une technicité extrême qui dissoudrait les savoirs mais il est indispensable de tenir compte de l'échange symbolique et de la place de l'enseignant. Cette didactique instrumentale doit s'appuyer sur des analyseurs tels que la ZPPD et des outils, que nous donne le modèle vygotkien.

³⁰⁸ « Enseignement de Pratiques Interdisciplinaires » dans le cadre de la réforme 2016 du collège.

PARTIE 3 : HYPOTHÈSES DE RECHERCHE ET DE TRAVAIL. MÉTHODOLOGIE.

Chapitre 10 : hypothèse de recherche, hypothèses de travail.

Les fondements de la thèse se situent à l'intersection de deux grandes théories, la théorie instrumentale de Vygotski et la théorie épistémologique-anthropologique.

Notre étude prend appui sur un postulat de base, issu de la théorie instrumentale de Vygotski : *Le développement culturel précède et tire le développement biologique.*

Nous conduirons notre travail sur des hypothèses directement liées aux cadres théoriques choisis. Elles seront mises à l'épreuve lors de nos analyses.

Nous rappelons ici notre question de recherche : « *en quoi les contenus d'enseignement transforment-ils la structure cognitive de l'élève ?* »

1. Hypothèse de recherche.

L'hypothèse de recherche constitue la réponse anticipée à la question de recherche. Au regard du cadre théorique présenté en partie 2, nous la formulons comme suit :

La construction du concept d'atome permet de comprendre l'évolution du mode de pensée de chaque élève.

Notre cadre théorique, reposant sur la théorie instrumentale de Vygotski, nous apporte des analyseurs, comme la ZPPD et les modèles de la cognomorphose et de la cognogénèse ainsi que des indicateurs permettant de mesurer les progrès de l'élève comme les types de pensée. Elle procure également des outils d'étayage qui accompagnent l'élève dans la ZPPD. Afin de répondre à notre question de recherche, nous utiliserons ces analyseurs et outils dans la ZPPD mais également, nous nous appuierons sur la construction de la pensée des scientifiques autour de l'atome et les modèles utilisés par les enseignants, décrits au chapitre 1, afin de rendre compte et d'analyser les conceptions des élèves sur le concept d'atome au fur et à mesure de leur scolarité. Dans ce travail de recherche, nous souhaitons établir des profils correspondant aux types de pensée des élèves sur le concept d'atome par niveau. Lorsqu'ils seront identifiés, nous tenterons de les faire évoluer si la construction du concept n'est pas complète.

Notre premier travail tentera de répondre à la première hypothèse relative à la mesure des types de pensée des élèves pour le concept d'atome.

2. 1^{ère} hypothèse de travail

Nous pouvons apprécier le niveau de construction du médiateur interne « l'atome ».

Nous souhaitons, grâce à la théorie instrumentale et au modèle de la cognogénèse et de la cognomorphose, estimer le niveau de construction de chaque élève pour le concept d'atome durant tout le curriculum (5^{ème} à la terminale S). Faisant suite à cette première hypothèse, nous constatons que le niveau de construction du médiateur interne l'atome, n'est pas toujours

suffisant pour un niveau requis. Notre cadre théorique nous précise qu'il est, alors, nécessaire d'avoir recours à des médiateurs externes.

Notre deuxième hypothèse sera donc présentée ainsi :

3. 2^{ème} hypothèse de travail

La construction du médiateur interne nécessite le recours d'un médiateur externe.

Nous considérons, que la construction du médiateur interne qui est l'atome, ne pourra aboutir sans l'aide de médiateurs externes. Ces derniers permettent de faire passer les concepts quotidiens (au sens de Vygotski) en concepts scientifiques et mettent des enjeux symboliques dans la construction du savoir.

Les cartes conceptuelles, issues de notre cadre théorique, seront envisagées comme médiateur externe, venant consolider le médiateur interne qui est l'atome. Ces cartes seront mises à l'épreuve lors de l'analyse et il conviendra de discuter de leur pertinence.

Nous ne manquerons pas de revenir sur le parallélogramme de Léont'ev. Celui-ci montre entre autres, l'usage des médiateurs externes et internes pour les élèves de l'école primaire³⁰⁹. Notre cible, dans cette recherche, est constituée d'élèves de collège et lycée. De fait, nous rendrons compte de l'utilisation des médiateurs externes et ne manqueront pas de mener une étude comparative avec les élèves de primaire dans notre discussion. In fine, notre travail est inventorié dans le tableau ci-dessous :

Mettre en évidence la ZPPD avec sa cognogénèse et sa cognomorphose (suivre la construction des modèles).
Évaluer la construction cognitive du concept d'atome chez des élèves du secondaire (vue d'ensemble de la cognogénèse).
Repérer les outils d'étayage, adaptés à un changement de mode de pensée. Nous proposerons comme médiateur externe la carte conceptuelle construite sur le concept d'atome.
Faire évoluer les modes de pensée des élèves dans la ZPPD à l'aide des cartes conceptuelles élaborées (transformation dans la cognomorphose).

Tableau 14. Récapitulatif de notre expérimentation dans le cadre de cette thèse.

³⁰⁹ Cité au chapitre 9.

Chapitre 11 : méthodologie de la recherche.

1. La démarche.

La démarche est fondée sur une *approche clinique / expérimentale*³¹⁰. Celle-ci nous permet d'articuler les démarches cliniques avec des contraintes expérimentales.

« Elle trouve place au sein du cadre établi par Foucault dans sa naissance de la clinique : les événements observés, isolés et aléatoires, se constituent en signes pouvant être regroupés pour constituer des suites convergentes ou divergentes³¹¹ ».

L'approche clinique (du grec « *klinê* » qui signifie lit) provient des méthodes utilisées en médecine. Elle renvoie à l'étude que le médecin pratique au chevet de son malade ; Le praticien confronte au savoir les symptômes relevés et infère un diagnostic. L'auteur précise également que cette méthode évite « *une coupure, au sein de ce champ, entre des études ethnographiques portant sur des éléments particuliers ou isolés et des constructions théoriques visant la description et l'explication de phénomènes généraux* ».

Dans notre recherche, il s'agit d'aborder le système « *élève et milieu culturel* » dans la ZPPD, c'est à dire les interactions qui ont lieu au sein de l'activité maîtresse et qui vont construire le type de pensée de l'élève dans la cognogénèse.

2. Le dispositif de recherche.

L'organisation du dispositif global de recherche dans lequel s'intègre cette thèse est présentée ci-dessous :

2013	Étude du cadre théorique. Étude des programmes, des préambules, des circulaires de rentrée, des documents du ministère de l'Éducation Nationale. Étude des formes de transmission sur les concepts d'atome (activités des enseignants et livres scolaires). Étude de l'adolescent d'aujourd'hui.
2014	Juin 2013 et juin 2014. Recueil des représentations de l'atome auprès des élèves de collège et lycée. Analyse de 660 questionnaires. Élaboration de cartes conceptuelles de la 5 ^{ème} à la terminale S. Entretien avec des enseignants en EPS ³¹² . Juin 2014. Expérimentation 1 : création d'une expérience test en classe de première L. C'est un projet pluridisciplinaire EPS SPC ³¹³ sous forme de chorégraphie autour de la structure de l'atome.
2015	Expérimentation 2 : construction d'une séquence d'enseignement EPS SPC sous forme de chorégraphie en classe de seconde. Mise en place des cartes conceptuelles pour faire évoluer les types de pensée. Analyses. Préparation de l'expérimentation 3 avec les enseignants EPS, SPC.

³¹⁰ Matheron Y, Leutenegger F (2010) p 138-139.

³¹¹ Ibid., p 138-139.

³¹² EPS Education physique et sportive.

³¹³ SPC sciences physiques et chimiques.

2016	Expérimentation 3 : elle est identique à l'expérimentation n° 2 mais réalisée en classe de troisième en collège. Expérimentation 4 : utilisation des cartes conceptuelles avec une classe de 3 ^{ème} sans projet pluridisciplinaire. Comparaison expérimentations 3 et 4. Analyses.
2017	Écriture

Tableau 15. Étapes de la thèse.

3. Sélection et articulation des données à analyser au sein du dispositif global.

La constitution du corpus de données émane à la fois du cadre théorique et de nos hypothèses de travail. Nous avons construit plusieurs corpus de données. Le corpus est constitué ainsi d'un corpus principal et d'un corpus secondaire.

3.1. Un corpus principal.

Nous débuterons par une étude sur les conceptions des élèves de la 5^{ème} à la terminale S sous forme de questionnaires, avec son analyse *à priori*, basée sur notre cadre théorique et les instructions officielles du ministère de l'Éducation nationale. Celle-ci nous permettra d'aboutir à une analyse fine de la construction cognitive de l'élève, sur le concept d'atome, ceci pour chaque niveau scolaire. En effet nous tenterons :

- de définir, pour chaque élève, le mode de pensée dans lequel il se situe en fin d'année scolaire par rapport à notre objet d'étude.
- d'établir un mode de pensée général par niveau de classe.

Nous postulons que ce modèle référé ci-dessus, nous permettra de mieux connaître la construction cognitive du modèle de l'atome de chaque élève. Les réponses des élèves seront analysées en tenant compte des programmes, des livres scolaires, des activités que les enseignants proposent aux élèves et de notre cadre théorique avec le modèle de la cognogénèse et cognomorphose. Cette analyse tentera de déterminer le niveau de classe où le médiateur interne n'est pas suffisamment construit et nécessite un médiateur externe. En effet, nous devrions cibler un niveau de classe correspondant à des élèves qui relèvent de deux types de pensée à la fois : un niveau où l'élève n'a pas totalement construit le concept d'atome et un niveau supérieur correspondant à un rapport au monde différent.

3.2. Un corpus secondaire.

Le corpus principal va montrer l'insuffisance de la construction du concept d'atome et la nécessité de recourir à un étayage. De ce corpus, découle le corpus secondaire qui est composé de quatre expérimentations :

- une expérience test³¹⁴ (*Exp 1*) pour rendre compte de la pertinence d'un projet pluridisciplinaire EPS SPC (chorégraphie sur le thème de l'atome) dans la construction du médiateur interne l'atome. Est-il suffisant pour permettre d'accéder à un type de pensée supérieure dans la cognogénèse ?

³¹⁴ Une seule séance.

- une deuxième expérience³¹⁵ (*Exp 2*) menée en classe de seconde (classe de niveau faible en SPC) qui permettra de choisir *un médiateur externe* comme la carte conceptuelle, pour venir consolider le médiateur interne l'atome, dans la cognomorphose ;
- une troisième expérience³¹⁶ (*Exp 3*) identique à la seconde, menée en 3^{ème} de collège (classe de très bon niveau) avec le même médiateur externe pour tenter de montrer l'*universalité* de ce médiateur ;
- une quatrième expérience³¹⁷ (*Exp 4*) en 3^{ème} de collège, venant confirmer le bien fondé du médiateur externe par rapport au projet interdisciplinaire. Nous souhaitons valider que l'action première dans la construction cognitive de l'élève dépend bien du médiateur externe proposé.

3.3. Production d'une analyse argumentée.

Voici le dispositif général permettant de produire une analyse argumentée du cheminement de ma démarche. Cette présentation synthétique reprend les cadres théoriques et aboutit aux trois questions relatives aux hypothèses de travail.

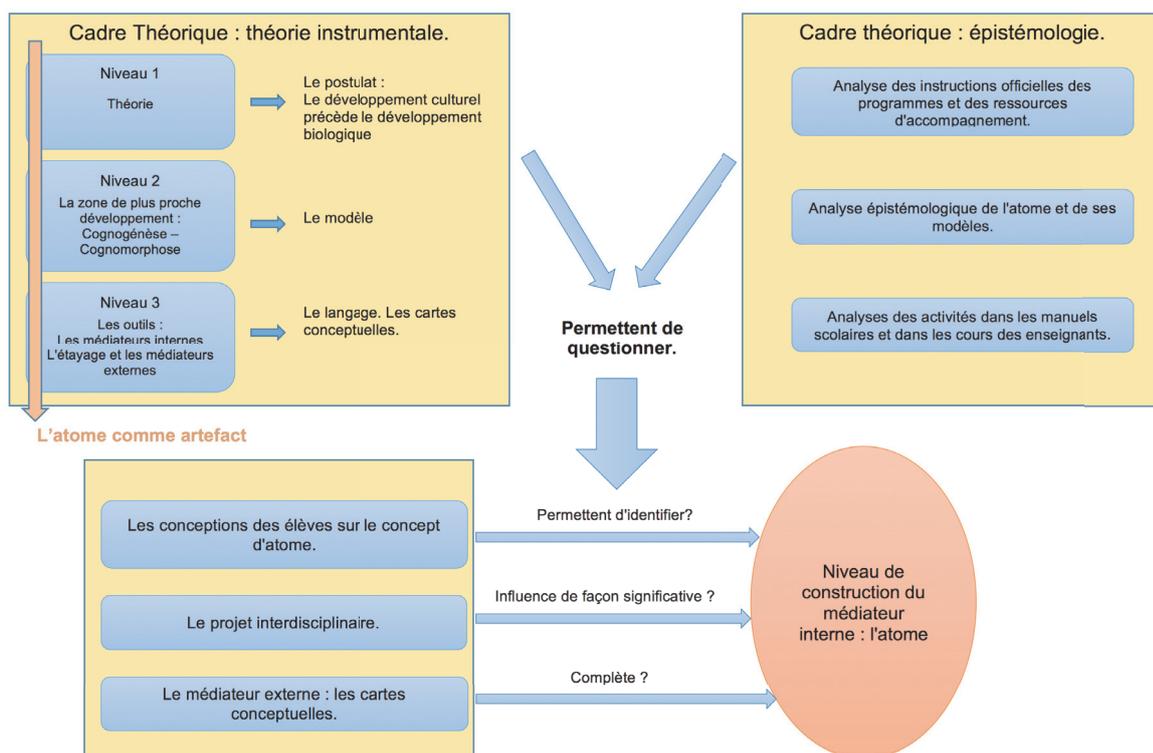


Figure 28. Dispositif général permettant de produire une analyse argumentée.

Nous identifions, sur ce schéma, trois niveaux relevant de la théorie instrumentale, qui sont respectivement la théorie elle-même de Vygotski, la ZPPD notre modèle, qui est un analyseur et les outils de la pensée avec le langage et les cartes conceptuelles. S'ajoute,

³¹⁵ Séquence d'enseignement correspondant à un ensemble de séances continues ou discontinues qui est intégrée dans une progression en vue d'atteindre les objectifs fixés par les programmes d'enseignement correspondant au guide pratique de l'enseignant Foucher.

³¹⁶ Ibid.

³¹⁷ Une seule séance.

parallèlement, notre cadre théorique épistémologique, incluant respectivement l'étude des démarches des scientifiques, de l'histoire de l'atome, des programmes et de quelques activités pour les élèves. Ces dernières ont été classées selon les démarches adoptées. L'atome est un artefact dans la théorie instrumentale, il traverse les différents niveaux évoqués. Nous le justifions par le fait que l'atome sert d'enjeu symbolique, d'outil et d'instrument de la pensée et du discours. La réunion de ces deux cadres théoriques va nous permettre de répondre aux hypothèses de travail que nous avons transformées ici en un questionnement sur :

- les conceptions des élèves vont-elles permettre d'identifier le niveau de construction du médiateur interne ?
- La réelle construction du médiateur interne l'atome, le projet pluridisciplinaire suffit-il à construire le médiateur interne ?
- Le bien-fondé des cartes conceptuelles, ce médiateur externe aidera-t-il à compléter la construction complète du médiateur interne ?

3.4. Recueil des données.

Notre question de recherche portant sur les types de pensées des élèves, il nous fallait trouver des outils pour analyser au mieux le type de pensée de l'élève dans son milieu ordinaire, ses interactions avec ses pairs et l'enseignant. Pour obtenir les conceptions des élèves sur l'atome, nous avons distribué des questionnaires sur toute l'académie via des enseignants que nous connaissions, afin que les conditions d'expérimentation soient bien respectées. Tous les niveaux ont été ciblés et nous avons respecté la proportion d'élèves en collège et en lycée ainsi que le genre. Il nous a fallu deux ans pour obtenir un échantillon de 655 élèves.

Selon Vygotski « *le sens d'un mot est inépuisable*³¹⁸ » et « *le mot pris isolément et dans le dictionnaire n'a qu'une seule signification. Mais cette signification n'est rien de plus qu'une potentialité qui se réalise dans le langage vivant où elle n'est qu'une pierre dans l'édifice du sens* »³¹⁹.

Dans le but de limiter les erreurs d'interprétation notamment, sur le sens des mots utilisés par les élèves, nous avons sollicité plusieurs outils pour les autres expérimentations 1, 2, 3 et 4 afin de les confronter les uns aux autres et de ne recueillir que des données incontestables. *Outre la comparaison du questionnaire général nominatif avant et après toute l'expérimentation, nous avons choisi de recourir à des questionnaires intermédiaires distribués à chaque fin de séance afin de mieux cerner l'évolution des types de pensée de chaque élève. Des enregistrements vidéo sont venus compléter cette étude afin d'identifier aussi bien les mots employés que les gestes effectués en classe dans la chorégraphie. Enfin, nous nous sommes assurés, que le sens des mots employés corroborait avec les questionnaires intermédiaires. L'avantage de l'enregistrement est de conserver la totalité des comportements et des interactions avec les élèves et de pouvoir revenir dessus. Selon Schubauer-Leoni et Leutenegger³²⁰, « le recours aux traces issues des récits produits dans les entretiens est considéré comme indispensable. Il permet de réduire l'incertitude quant aux possibles interprétations du chercheur à l'égard des significations élaborées dans les séances en classe par les acteurs étudiés »*

*Nous avons donc retranscrit tous les mots employés*³²¹ *lors des échanges avec les élèves autour du concept d'atome et les avons confrontés au discours des élèves dans les questionnaires intermédiaires et dans le questionnaire général. L'élaboration de cartes conceptuelles sur l'atome avec les élèves est venue renforcer notre recueil de données dans la*

³¹⁸ Vygotski (1997) p 481.

³¹⁹ Ibid.

³²⁰ Schubauer-Leoni, Leutenegger (2002) p 245.

³²¹ Appartenant au registre de l'objet d'étude.

mesure où nous avons pu nous rendre compte de la bonne utilisation ou au contraire de l'emploi inadapté, des mots par les élèves.

3.5. La méthode.

3.5.1. Avec les enseignants.

Nous avons choisi des enseignants EPS confirmés et spécialisés en danse afin de ne pas cumuler les difficultés. Les enseignants ayant une bonne maîtrise ont pris en charge toute la partie danse et particulièrement l'organisation de la chorégraphie. Chaque expérimentation a été préparée plusieurs mois en amont avec les enseignants concernés. Afin de bien comprendre les problématiques et la didactique de la discipline EPS, nous avons eu plusieurs entretiens avec les enseignants EPS. Nous avons également initié ces enseignants au concept d'atome. Certains n'ont pas eu de mal, d'autres au contraire, ont demandé des récapitulatifs écrits afin de mieux s'approprier ce concept. La préparation du projet s'est effectuée en trois rencontres et avec des échanges de mails puis lors de l'expérimentation, nous avons effectué un point en fin de séance chaque semaine. Parallèlement, les deux enseignants (SPC et EPS) du lycée se sont rencontrés toutes les semaines, durant l'expérimentation afin d'explicitier le concept d'atome au fur et à mesure des difficultés rencontrés par l'enseignant EPS avec les élèves. En collègue, ces rencontres ne furent pas nécessaires.

3.5.2. Avec les élèves.

Je me suis présentée une première fois en amont des expérimentations afin de faire connaissance et d'instaurer une relation de confiance avec les élèves. Nous avons pris le temps de leur expliquer notre objet de recherche d'une manière simplifiée (i.e cibler les difficultés des élèves sur le concept d'atome en vue d'une amélioration de l'enseignement de celui-ci). Nous avons présenté le projet de la chorégraphie sur le thème de l'atome. Nous avons insisté sur le caractère sérieux de mon étude afin que les questionnaires soient renseignés le plus minutieusement possible et que l'élaboration des cartes conceptuelles soit effectuée consciencieusement. Nous avons informé les parents d'élèves de l'existence de ce projet et nous avons demandé une autorisation d'utilisation de leur image.

3.5.3. Avec les cartes conceptuelles.

Les élèves ont élaboré les cartes, lors des travaux pratiques de physique en groupe pour le lycée et lors des séances de cours de SPC en groupe pour le collège. Chaque groupe a été encadré par l'enseignant de SPC et le doctorant. Après une phase de présentation réalisée par nous même, l'élève a commencé par lister tous les mots qui lui paraissaient importants en lien avec le concept choisi. La construction s'est poursuivie en reliant les concepts par des flèches auxquelles ont été ajoutés des verbes explicatifs. Nous appuyant sur Vygotski et plus particulièrement sur le gain développemental qui se produit dans la cognomorphose, les élèves, par groupe de 4, ont poursuivi l'élaboration de cette carte, assistés de l'enseignant ou du doctorant. Nous faisons l'hypothèse que les interactions vont conduire à la création de nouveaux processus mentaux et à la restructuration des anciens. Nous avons apporté, si nécessaire, des concepts auxquels les élèves n'avaient pas pensé afin qu'ils les incorporent dans leurs cartes. Puis, les élèves ont présenté leurs cartes aux autres initiant alors de nouvelles idées, de même, l'enseignant a pu présenter la sienne en ne manquant pas d'indiquer, qu'elle ne pouvait être considérée comme un modèle. Il est important de préciser que l'élève a construit sa carte, uniquement avec des concepts, qu'il s'est approprié. Aucune carte n'était bannie ;

l'objectif était, que chacun avance à son rythme et complète au fur et à mesure des compétences acquises, sa carte. Nous avons pris appui sur la carte construite dans notre cadre théorique³²²

3.5.4. Avec le dispositif mis en place dans la classe pour les expériences 2, 3 et 4.

Le dispositif retenu est une combinaison de plusieurs techniques. Nous avons eu recours à :

- une caméra grand angle sur un trépied munie d'un micro d'ambiance. Cette caméra, étant positionnée sur un des côtés de la salle de danse, nous a permis d'observer toute la chorégraphie et les échanges de la classe entière avec l'enseignante. Elle a permis par la suite, d'enregistrer les communications d'un seul groupe. Je me suis autorisée des changements de cadrage notamment pour suivre les élèves dans leur chorégraphie.
- une caméra mobile que j'ai tenue à la main.
- une tablette, pour filmer la chorégraphie au moment de l'évaluation formative, à chaque fin de séance.

Lors des séances, je me suis alors positionnée différemment dans la salle de danse afin d'enregistrer des échanges ou des gestes entre les élèves d'autres groupes. Lors d'une même séance, tous les groupes étaient, à un moment précis, filmés.

Même si le dispositif a été réfléchi en amont, je me suis montrée vigilante et très réactive sur le terrain afin de capter tout ce qui nous semblait appartenir à des événements en lien avec notre problématique. L'aide de l'enseignante EPS s'est avérée pertinente.

3.6. Le processus de traitement.

3.6.1. Les questionnaires.

Le questionnaire général³²³ a été analysé selon une grille d'analyse préalablement établie. Celle-ci s'est étoffée à la vue du vocabulaire utilisé par les élèves. Ces questionnaires ont permis de dresser un *profil de chaque élève puis de définir un profil général* des élèves d'un niveau de classe.

Nous n'avons pas eu recours à des logiciels de traitements, en effet ceux-ci ne nous ont pas paru pertinent pour la finalité de notre analyse. En revanche, nous avons utilisé un tableur Excel afin que nos résultats soient regroupés et bien présentés. Nos résultats n'aboutissent pas toujours aux 100% attendus, soit nous avons privilégié, par simplification, des résultats sans décimale, soit parce que les réponses sont multiples.

Les questionnaires intermédiaires, basés alternativement sur l'emploi des mots et/ou basés sur l'emploi des schémas pour décrire la chorégraphie, nous ont permis de mieux suivre l'évolution de chaque élève et d'identifier le moment propice dans la chronogénèse³²⁴ pour mettre en place les cartes conceptuelles.

3.6.2. Les enregistrements.

Sensevy³²⁵ nous met en garde :

« dans l'étude d'un film, on est confronté à une re-présentation de l'action, à une sorte d'analogie de l'action. Avant d'aborder la question de l'analogie, notons l'obstacle qui consiste à penser la vidéo

³²² Chapitre 9

³²³ Annexe 31. Questionnaire sur les conceptions alternatives du concept d'atome perçues par les collégiens et les lycéens

³²⁴ Le rythme d'introduction des savoirs varie. Tiberghien A, Malkoun L, Buty C, Souassy N, Mortimer E (2007) in Sensevy G, Mercier A (2007) p 93-122.

³²⁵ Sensevy G in Veillard L, Tiberghien A (2013) disponible sur <http://books.openedition.org/editionsmsmh/1954>

comme la pratique elle-même...: le film de l'action n'est pas l'action (contre une sorte de naïveté qui ferait croire que le réel filmé est le réel) ; le film est un analogon de l'action ».

Nous devons être très vigilant lors de notre analyse, à ne pas assimiler le modèle de l'atome avec la chorégraphie présentée. D'autant que le « *parti pris* » en EPS existe et qu'il incite les élèves, sciemment à choisir un geste en EPS, pour une raison par exemple symbolique mais qui ne représentera pas la « *vérité scientifique* » du modèle concerné.

Nous n'avons pas utilisé de logiciel et avons pratiqué une méthode dite de retranscription manuelle. Nous avons noté chaque mot ou groupe de mots correspondant au concept d'atome pour chaque élève lors des échanges. Lorsque les petits groupes se sont formés, je suis passée avec la caméra mobile et j'ai demandé aux élèves de me décrire et de m'expliquer ce qu'ils réalisaient. Selon Vygotski, la description orale permet de structurer le langage intérieur. L'auteur précise que le langage extérieur utilisera un vocabulaire plus riche que celui employé dans la pensée intérieure. « *Ce qui existe simultanément dans la pensée se développe successivement dans le langage* »³²⁶. C'est ainsi que nous pourrons nous rendre compte du type de pensée que l'élève adopte et ainsi identifier la construction de notre objet d'étude.

Nous avons conscience que certains échanges nous ont échappés mais, lors du questionnement des petits groupes, nous faisons l'hypothèse que les élèves ont repris l'ensemble de leurs idées.

3.6.3. Découpages du discours : du savoir quotidien au savoir scientifique en passant par le savoir empirique.

Nous avons catégorisé pour chaque élève les mots ou groupes de mots employés et/ou cibler les erreurs dans :

Le questionnaire général en début d'expérimentation.

Le discours en classe.

Les questionnaires intermédiaires.

Le questionnaire général en fin d'expérimentation.

Les gestes dans la chorégraphie sur les vidéos.

Les schémas réalisés.

Les cartes conceptuelles réalisées par l'élève seul et en groupe.

Nous proposons ci-dessous un découpage du discours des élèves en trois registres selon la théorie vygotkienne: un registre savoir quotidien, un registre savoir empirique et enfin un registre savoir scientifique selon des marqueurs langagiers. Les trois registres font référence au discours des élèves, comme les mots employés dans la définition de l'atome. Nous classerons ces mots par rapport au concept considéré. Cette étude sera enrichie de dessins et de gestes dans la chorégraphie, lors des expérimentations suivantes, qui viendront compléter le choix du registre. Des mots approximatifs, comme particule, molécule ou cellule, associés à la définition d'un atome, vont adhérer au registre savoir quotidien. La granulométrie va s'affiner et le registre du discours sera plus précis. Le registre savoir empirique correspondra à une description précise de l'atome. Notre troisième registre, savoir scientifique, montrera à travers les mots employés, que l'élève est capable d'expliquer des phénomènes physico chimiques avec la notion d'atome accompagné de ses particules.

³²⁶ Vygotski (1997) p 492.

Notre cadre théorique³²⁷ nous permet de proposer l'association d'un type de pensée à chaque registre, ce qui sous-tend, qu'à chaque type de pensée est associé un discours propre et bien défini. A chaque registre, correspondra un type de pensée, associé à une unité de discours, caractérisée par un marqueur spécifique qui sera langagier et symbolique comme un schéma et un ou plusieurs modèles de l'atome. L'unité de discours va permettre d'établir le registre et le type de pensée mais la réciproque est également vraie, à chaque type de pensée, nous pouvons associer un discours et un registre.

Ci-dessous nous avons établi un récapitulatif du découpage du discours.

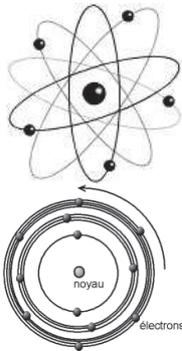
Registre	Types de pensée	Unité de discours caractérisé par des marqueurs langagiers	Schéma associé ³²⁸	Modèle associé
Savoir quotidien	Tas.	Des mots très approximatifs pour la notion d'atome : molécule, matière, cellule...		Molécule Démocrite Dalton.
Savoir empirique	Complexes.	Une description précise de l'atome : Noyau, électrons, protons, vide, neutrons...		Modèle de Rutherford, modèle de Bohr.
Savoir Scientifique	Concepts.	Un contenu qualifié de transversal : La formation d'un ion, une transformation chimique, la radioactivité...		Modèle probabiliste (Schrödinger).

Tableau 16. Découpage du discours en trois registres : savoir quotidien, savoir empirique, savoir scientifique.

Nous avons souhaité utiliser d'autres indicateurs qui permettraient de repérer dans le discours des élèves, l'attitude des élèves sur le sujet traité, en particulier leurs incertitudes et leurs doutes au savoir traité. L'utilisation d'auxiliaires modaux dans les échanges, comme *pourrait, devrait* nous a particulièrement aidée.

Il nous semble plus cohérent de présenter les analyses des expérimentations les unes après les autres, compte tenu que ce développement conduit à la cohérence du raisonnement en réponse à notre problématique.

Dans un but de clarté, nous expliciterons, par la suite, les découpages particuliers de notre analyse pour l'expérience 2 et 3 qui sont répertoriés en trois niveaux à la granulométrie de plus en plus fine.

³²⁷ Voir types de pensée chapitre 8 paragraphe 2.2.

³²⁸ Disponible sur http://physique.buil.pagesperso-orange.fr/activ_3e/chimie-3e/histor_atome-3e.pdf

PARTIE 4 : EXPERIMENTATIONS ET ANALYSE

Cette partie comprend cinq chapitres permettant de retracer notre travail d'investigation, afin de répondre à nos hypothèses de travail.

Le chapitre 11 retrace l'analyse à priori et à posteriori d'un questionnaire autour des conceptions de l'atome proposé à 655 élèves de la classe de 5^{ème} à la terminale S.

Le chapitre 12 expose une expérimentation Test (exp 1) permettant de repérer les difficultés autour d'une activité maîtresse et de mettre en évidence la faiblesse du médiateur interne l'atome.

Le chapitre 13 propose une expérimentation (exp 2) qui a pour objectif de circonscrire l'activité maîtresse par la mise en place d'un étayage et en particulier nous démontrons l'apport bénéfique des cartes conceptuelles nouvellement construites comme médiateur externe.

Le chapitre 14 reprend l'expérimentation précédente en changeant de niveau de classe dans le but de conforter les résultats précédents.

Enfin, le chapitre 15 retrace une expérimentation qui validera les cartes conceptuelles comme le médiateur externe *principal* dans l'expérimentation.

Chapitre 12 : étude des conceptions de l'atome perçues par des collégiens et lycéens. Analyse de l'enquête.

Reprenons notre première hypothèse de travail : grâce à la théorie instrumentale et au modèle de la cognomorphose et de la cognogénèse, « *nous pouvons apprécier le niveau de construction du médiateur interne, l'atome* ».

Nous augurons dans le cadre de notre recherche que l'accès, même partiel, aux conceptions des élèves sur le concept d'atome, son origine, ses relations avec la vérité nous permettra de caractériser le mode de pensée générale des élèves.

1. La démarche.

Notre hypothèse nous conduit à élaborer un questionnaire en vue de rendre compte des conceptions des élèves de 5^{ème} à la terminale S. Il a pour but d'analyser verticalement d'un point de vue épistémologique, les conceptions des élèves de la 5^{ème} à la terminale mais également horizontalement, sur un même niveau, du point de vue pédagogique et didactique. Nous ne nous posons pas comme des statisticiens. C'est un questionnaire diagnostique, suivi d'une proposition de typologie des modes de pensée des élèves. Celui-ci a été proposé aux élèves en fin d'année scolaire, afin que l'enseignement relatif à l'atome soit achevé pour tous. Dès lors, les comparaisons entre des élèves de collèges ou lycées différents semblent possibles.

L'échantillon observé est de 655 élèves de collèges et de lycées de la région lyonnaise et stéphanoise. Le panel est représentatif, puisque les établissements sont implantés intra-muros, en proche banlieue et en zone plus rurale. L'échantillon des élèves est réparti ainsi : 52% en collège et 48% au lycée. La proportion filles - garçons est de 54 % de filles et 46% de garçons. La répartition de l'effectif dans les classes est relativement homogène. La première L ne devait pas faire partie de l'échantillon mais comme nous avons expérimenté (Exp 2) avec cette classe, nous l'avons ajoutée à l'échantillon. Nous sommes conscients que les résultats obtenus pour ce niveau de classe ne sont pas représentatifs.

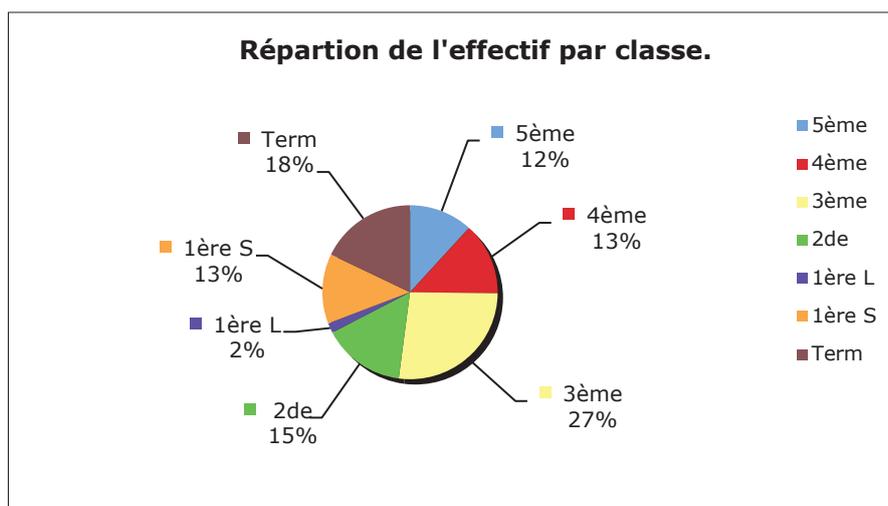


Figure 29. Répartition de l'effectif par classe.

2. Présentation de l'outil de recueil des données.

2.1. La conception du questionnaire.

Le questionnaire, constitué de plusieurs paliers, permet aux élèves de s'exprimer sur le concept d'atome sous différentes formes : définition, modèle et schéma. Nous pouvons ainsi considérer que l'élève ne sera pas ou peu gêné pour expliciter ses conceptions. Selon les mots employés, les schémas réalisés, les modèles énoncés, nous pourrions définir le mode de pensée par niveau et observer les classes déterminantes où les changements s'opèrent. Le déchiffrement des questionnaires a demandé l'élaboration d'une grille d'analyse, celle-ci nous a permis d'identifier les mots utilisés par les élèves, d'élaborer ainsi un registre nommé *registre de l'élève* et de le comparer au *registre institutionnel* que nous avons réalisé, à partir des programmes. De même les réponses, quant aux schémas réalisés, ont été classées en quatre catégories : schéma juste correspondant au programme, schéma juste mais correspondant à un niveau en dessous du programme, schéma faux et pas de schéma. Toutes les réponses des élèves ont été enregistrées dans un tableau.

Nous adoptons ici une démarche inductive ancrée dans les données. Nous ne prétendons pas tendre vers une théorie à partir de nos données de terrain. Nous adoptons une stratégie de lecture multiple fréquemment utilisée dans les travaux exploratoires didactiques des sciences lorsqu'on cherche à identifier des conceptions (Giordan, 1987; Viennot, 1996; Morrison & Lederman, 2003).

Le questionnaire est présenté ci-dessous sous forme réduite, ceci pour avoir un aperçu général avant l’analyse *a priori*.

L’ATOME À TRAVERS LES ÂGES.

Vous êtes :

- Une fille Un garçon

Vous êtes en classe de :

- 5ème 4ème 3ème
 2sde 1ère Terminale

Nom de votre établissement :

Il est impératif de remplir ce questionnaire dans l’ordre des questions sans revenir sur la question précédente.

Question 1 : En classe, vous entendez parler de l’atome (Cocher la case correspondante) ...

Chaque cours.	Assez souvent.	Rarement.	Jamais.	Sans avis.
<input type="checkbox"/>				

Question 2 : Écrivez votre propre définition d’un atome.

Question 3 : Parmi les modèles d’atomes proposés ci-dessous, cochez ceux que vous connaissez.

- A- Le modèle de Rutherford.
- B - Le modèle de Thomson.
- C - Le modèle de Démocrite.
- D - Le modèle de Bohr.
- E - Le modèle de Schrödinger.

- Aucun.

Quel est le modèle le plus récent selon vous ?

- A B C D E

Question 4 : Dessinez un atome de la façon dont vous vous le représentez.

Question 5 : Les connaissances que vous avez utilisées pour répondre à ce questionnaire ont été apprises (Vous pouvez cocher plusieurs cases) ...

- À l’école.
- Sur Internet.
 - Dans des livres ou revues scientifiques.
- Autre : précisez

2.2. Analyse a priori du questionnaire

Nous allons reprendre et analyser chaque question.

Question 1 : en classe, vous entendez parler de l'atome (Cocher la case correspondante) :

<i>Chaque cours.</i>	<i>Assez souvent.</i>	<i>Rarement.</i>	<i>Jamais.</i>	<i>Sans avis.</i>

Cette question nous permet de mieux connaître l'échantillon des élèves sur lequel porte l'étude. Nous serons à même, d'identifier le niveau d'implication des élèves dans ce questionnaire, puisque tous ont reçu l'enseignement du niveau correspondant au programme de physique. Ainsi nous pourrions estimer si :

- les élèves se sentent dans l'injonction de donner une réponse.
- au contraire ils sont suffisamment honnêtes pour répondre « *je ne sais pas* ».
- l'élève est capable de transférer ses connaissances sur l'atome à d'autres champs, telles les transformations chimiques et la formation d'un ion.
- l'enseignant utilise le concept d'atome tout au long de l'année scolaire ou au contraire s'il suit scrupuleusement les instructions du programme en traitant cette notion uniquement lors de la partie du programme qui la demande.

Question 2 : « écrivez votre propre définition d'un atome. »

Cette question ouverte, demandant une production écrite, va nous éclairer sur la construction cognitive de l'élève. Nous accédons à cette construction dans l'interaction entre le langage formel (académique, scientifique, scolaire) et le langage informel (empreint d'approximations, de confusions ou de métaphores plus ou moins pertinentes). C'est pourquoi, nous référencerons pour chaque élève les mots utilisés afin d'établir un registre appelé *registre de l'élève*. Nous ferons de même avec les programmes du bulletin officiel, pour chaque niveau afin de construire un *registre référentiel*. La comparaison des registres devrait apporter un éclairage sur certaines conceptions des élèves. Nous identifierons trois registres permettant de définir le type de pensée selon Vygotski :

- le registre du savoir quotidien³²⁹, correspondant à une pensée par tas³³⁰, regroupe un vocabulaire relatif à une analogie de l'atome (molécule, cellule, planètes...) ou a une description peu précise de l'atome ;
- le registre du savoir empirique³³¹, correspondant à une pensée par complexes³³², regroupe un vocabulaire attaché à la structure de l'atome (noyau, électrons, protons, neutrons...) ;
- le registre du savoir scientifique³³³, correspondant à une pensée par concepts³³⁴, regroupe un vocabulaire plus transversal basé sur les possibles transformations de l'atome comme la formation d'un ion, une réaction chimique, un atome radioactif.

³²⁹ Le registre savoir quotidien a été défini partie 3 chapitre 11 paragraphe 3.6.3.

³³⁰ Pensée par tas définie en partie 2, chapitre 8 paragraphe 2.2.1.

³³¹ Le registre savoir empirique a été défini partie 3 chapitre 11 paragraphe 3.6.3.

³³² Pensée par complexes définie en partie 2, chapitre 8 paragraphe 2.2.2.

³³³ Le registre savoir scientifique a été défini partie 3 chapitre 11 paragraphe 3.6.3.

³³⁴ Pensée par concepts définie en partie 2, chapitre 8 paragraphe 2.2.3.

Question 3 : « parmi les modèles d'atomes proposés ci-dessous, cochez ceux que vous connaissez.

- A - Le modèle de Rutherford.
- B - Le modèle de Thomson.
- C - Le modèle de Démocrite.
- D - Le modèle de Bohr.
- E - Le modèle de Schrödinger.
- Aucun.

Cette question rend compte de la valeur du modèle aux yeux des élèves. Nous pourrions appréhender si l'élève :

- comprend la définition d'un modèle ;
- différencie les différents modèles proposés par l'enseignant ;
- attache une importance à cette notion ;
- retient des éléments constructifs d'un enseignement très théorique où seule l'histoire des sciences peut l'éclairer au vu des activités proposées par les enseignants.

Nous n'avons pas tenu compte dans un premier temps du modèle de Thomson quasiment jamais cité dans les livres scolaires. Cependant, pour les expérimentations du chapitre 14, nous avons ajouté ce modèle au questionnaire de base et avons ainsi vérifié la méconnaissance de celui-ci, dans les classes de 3ème et seconde. Nous ne citons pas, sciemment, le modèle standard puisqu'il est absent du programme de terminale S et de plus cette information n'est pas utile dans le cadre de notre recherche.

Question 4 : « Dessinez un atome »

Cette question ouverte donne l'occasion à l'élève de s'exprimer en utilisant un autre langage que l'écrit. Le symbolique ici prend place. Si l'on se réfère à la théorie instrumentale de Vygotski, les langages (l'écrit, l'oral, mais aussi le dessin, ainsi que leurs combinaisons) sont des expressions d'un rapport au monde plus ou moins empirique. Les langages accompagnent l'action de l'élève qu'elle soit concrète ou abstraite. Cette question nous permettra de mieux comprendre la pensée de l'élève quant à :

- son mode de fonctionnement : par tas (i.e. par compilation des éléments de surface de l'objet), par complexes (i.e. par reconnaissance des liaisons entre (tous) les éléments de l'objet ou du système), par concepts (i.e. usage d'invariants et de propriétés de l'objet) ;
- son cheminement, désigné par Vygotski comme la cognogénèse (de la pensée et des concepts). Tout concept scientifique se construit par dépassement d'une conception par tas, par complexes puis par concepts.

Ces résultats viendront compléter ceux de la question 2. Nous nous interrogerons sur quatre critères :

Le dessin est juste.	Le dessin est juste mais en dessous du programme.
Le dessin est faux.	Il n'y a pas de dessin.

Ainsi nous identifierons si le modèle de l'année a été acquis ou au contraire si l'élève est resté sur un modèle antérieur.

Question 5 : « Les connaissances que vous avez utilisées pour répondre à ce questionnaire ont été apprises (Vous pouvez cocher plusieurs cases) ...

- À l'école.
- Sur Internet.
- Dans des livres ou revues scientifiques.
- Autre : précisez »

Cette question va nous permettre de dresser un profil de l'élève d'aujourd'hui. L'École n'est plus la seule à transmettre des informations et des connaissances. Internet apporte, à chacun, des éléments de construction à son propre point de vue. Nous ne pouvons pas occulter cette donnée, même si nous pouvons, par ailleurs, discuter de la pertinence de certains points. Cette question nous donne l'occasion de préciser la différence entre éducation formelle et éducation informelle (telle que Vygotski aurait peut-être pu la proposer quand il fait référence au pédagogue allemand Herbart du XIX^{ème} siècle. L'éducation informelle transmet des informations et des connaissances qui ne visent ni l'universalité, ni la généralisation. Elle forme un point de vue qui est partagé par une communauté qui partage des valeurs, des usages, un langage et une culture commune. Elle construit des concepts quotidiens dont la vocation est de résoudre les problèmes quotidiens. L'éducation informelle vise une vérité de bon sens, d'usage et de référence dans une communauté. En revanche, l'éducation formelle, donne sens à la discipline scolaire³³⁵ qui donne forme à l'esprit et à l'action, elle vise l'universalité, la généralisation et la vérité scientifique. Elle ne ressort donc pas de la croyance, de l'usage ou de la bonne foi.

Prenant appui sur notre analyse *a priori*, nous pouvons exploiter nos résultats.

3. Recueil des données et analyse.

L'entretien préalable avec chaque enseignant de sciences physiques nous a éclairés sur la pédagogie et principalement la progression mise en place par les enseignants.

Nous posons d'emblée une prémisse : les enseignants suivent les instructions du bulletin officiel.

Après l'entretien, nous avons proposé ces questionnaires à l'enseignant et c'est lui, seul, qui les a présentés aux élèves dans son cours de sciences physiques en fin d'année scolaire. L'enseignant a précisé aux élèves que ce n'était pas une évaluation. Nous avons choisi de les rendre anonymes afin que chaque élève soit libre dans ses réponses.

Les analyses se sont appuyées sur un tri croisé et ont été effectuées à partir de grilles préétablies par niveau. Nous n'avons pas utilisé de logiciels de traitement, les dépouillements des 655 questionnaires se sont effectués manuellement au cours des années et ont été enregistrés dans différents tableaux Excel. Chaque classe a été répertoriée. En annexes³³⁶ sont référencées les modèles des grilles d'analyse utilisées pour ce questionnaire pour chaque niveau de classe. En annexe³³⁷ sont joints tous les tableaux Excel des différentes classes observées correspondant aux figures présentées ci-après.

³³⁵ Herbart (2007).

³³⁶ Annexe 32. Grilles d'analyse des questionnaires des classes de la 5^{ème} à la Terminale S.

³³⁷ Annexes 33. Tableaux récapitulatifs des résultats du questionnaire question par question (répertoriés dans des tableaux Excel de la 5^{ème} à la terminale S).

Nous choisissons de présenter nos résultats (réponses des élèves) par question pour tous les niveaux. L'homogénéité des tableaux n'est pas toujours respectée, ceci pour obtenir, une meilleure lisibilité, dans les figures très fournies en données.

3.1. Question 1

À la question : « *En classe, vous entendez parler de l'atome : chaque cours, assez souvent, rarement, jamais, sans avis* », nous obtenons le diagramme suivant :

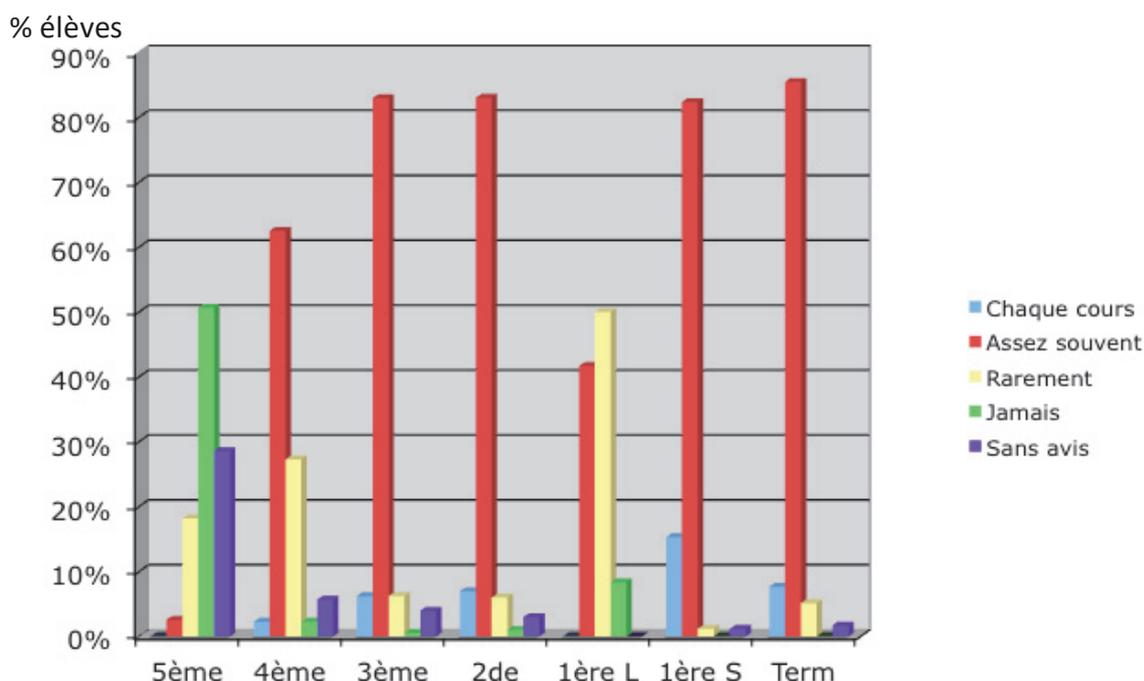


Figure 30. Question 1 du questionnaire général. % d'élèves en fonction des niveaux de classe.

Nous observons qu'en 5^{ème}, 18 % d'élèves cochent la case « *rarement* » alors que l'enseignement de l'atome ne débute qu'en 4^{ème}. Ce pourcentage renvoie à diverses interprétations. Soit l'élève :

- préfère répondre « *rarement* » pour ne pas déplaire à l'enseignant ;
- se trompe de cadre et confond l'école avec un autre lieu d'information ;
- répond au hasard.

Par ailleurs, 29% osent dire « *je ne sais pas* » et 51% « *jamais* » ce qui tend à montrer qu'une grande majorité des élèves s'engage sérieusement dans ce questionnaire.

En 4^{ème}, la situation est plus compliquée. L'enseignant a expliqué les transformations chimiques par le concept de la molécule et les combustions par le concept d'atome, d'où 63% des élèves qui répondent « *assez souvent* ». Ceci sous-entend que les élèves font un amalgame entre la molécule et l'atome. Ceci ne nous surprend pas, les interactions entre élèves démontrent cette confusion dans le langage quotidien.

De la 3^{ème} à la terminale, le pic rouge représentant « *assez souvent* » corrobore assez bien avec le contenu du programme. De même, celui-ci traduit une certaine volonté de

l'enseignant, à utiliser l'atome tout au long de l'année et à obliger ainsi l'élève à trouver les liens possibles entre l'atome et les notions enseignées.

La première L est mise à l'écart de notre analyse, puisque notre échantillon est peu significatif pour une généralisation, cependant nous reviendrons sur cette classe puisqu'elle participe à une de nos expérimentations.

3.2. Question 2

Rapprochons-nous maintenant de la question 2 : « *Écrivez votre propre définition d'un atome* ». Cette question a pour objectif de référencer le vocabulaire de l'élève et de le classer soit dans un savoir formel ou informel. En préambule, nous avons voulu nous rendre compte du pourcentage d'élèves qui ne répondent pas à cette question.

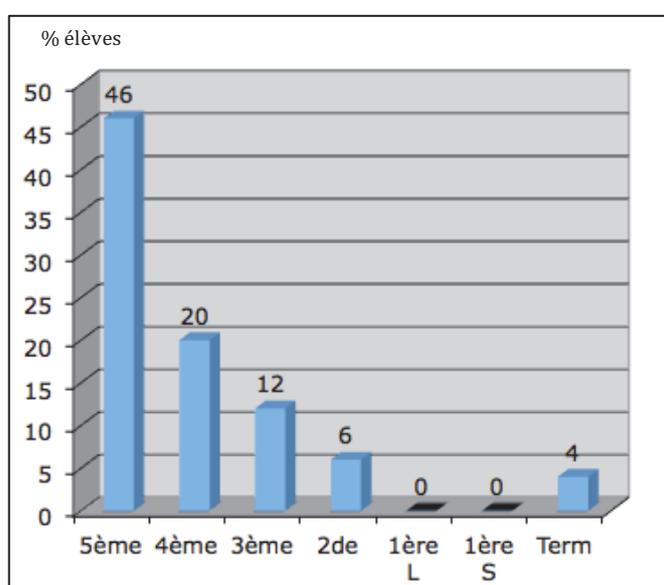


Figure 31. Pourcentage des élèves par niveau n'ayant pas répondu à la question 2.

Le mot atome n'étant pas défini en 5^{ème}, il est légitime que 46 % des élèves ne puissent parvenir à donner une définition. Ces résultats sont étayés par une étude plus précise qui montre que 6% donnent la définition correspondant au programme : « *l'atome est une particule* ». En classe de 4^{ème}, aux 20% qui ne donnent pas de définition, s'ajoutent 16% d'élèves qui assimilent l'atome à la molécule. En classe de 3^{ème}, aux 12% qui ne donnent pas de définition s'ajoutent 16% qui assimilent l'atome à la molécule. Nous constatons que le concept d'atome est loin d'être assimilé au collège. L'objectif des programmes n'est pas atteint. Nous sommes en droit de penser que le cours de présentation de l'atome, sous forme d'activité documentaire, ne porte pas vraiment ses fruits et qu'il ne permet pas de modifier les concepts quotidiens. Nous pouvons également nous interroger sur les 4% d'élèves de terminale S qui ne répondent pas à cette question ; les questionnaires n'étant pas nominatifs, nous ne pouvons émettre que des hypothèses, comme celle relevant d'un manque d'implication.

Nous allons maintenant analyser niveau par niveau, les résultats de cette question. Dans notre étude, nous avons catégorisé les registres *référentiel* de chaque classe en *figure* et non en tableau, afin qu'apparaissent dans la table des figures, les deux registres³³⁸ ensemble. Cette catégorisation est faite dans un souci de facilité de lecture et de comparaison possible.

³³⁸ Registre *référentiel* et registre *élève* répertoriés dans les *figures*.

3.2.1. Classe de 5^{ème}.

Nous appuyant sur notre cadre théorique, nous assimilons le registre *référentiel* au langage formel utilisé dans les programmes, les manuels scolaires et les enseignants. Ci-dessous nous comparons deux registres, celui que nous avons qualifié *référentiel* et celui de *l'élève* pour le niveau de 5^{ème}. La figure nous indique le pourcentage des élèves de 5^{ème} (axe vertical) utilisant les mots référencés (axe des abscisses).

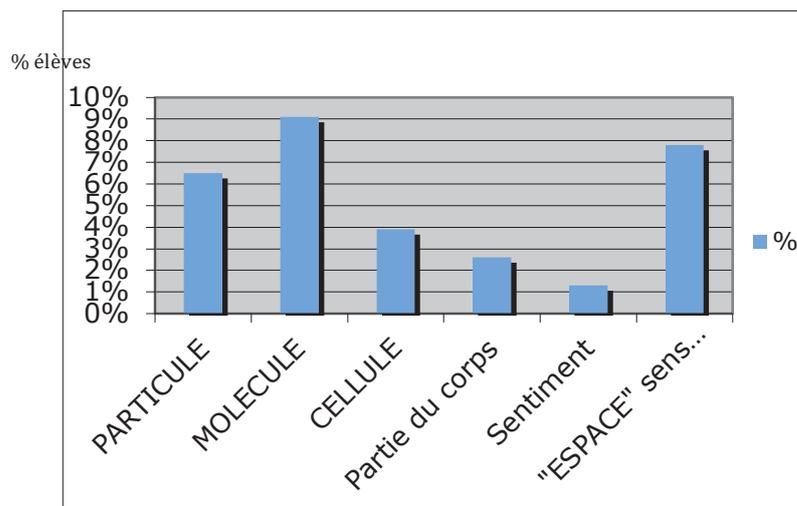


Figure 32. Registre élève 5^{ème}.

Registre : Référentiel
Corps pur
Particule
Molécule
Élément
Composé
Substance
Cristaux
Solide
Liquide

Figure 33. Registre référentiel 5^{ème}.

- En 5^{ème} le mot atome n'étant pas défini, nous remarquons, que seul 6%, ont une réponse juste, ils utilisent le registre référentiel : « *l'atome est une particule* ».
- 4% font le lien avec les sciences de la vie et de la terre en proposant la cellule.
- 3% ne répondent pas à la définition, mais utilisent tout de même un langage formel en constatant que « *notre corps est constitué d'atomes* ».
- 8% désignent le soleil et ses planètes en se référant aux analogies que l'enseignant peut donner dans son cours (i.e le modèle planétaire) même si ce n'est pas indiqué dans le programme.
- 9% assimilent l'atome à une molécule.
- Le 1% désigné par « *sentiment* » désigne les élèves qui ont confondu le mot « *atome* » avec le mot « *hématome* ».

Nous observons que le vocabulaire utilisé n'est pas en adéquation avec le registre *référentiel* et que celui-ci appartient à un registre, pouvant être assimilé au registre savoir quotidien qui correspond, selon Vygotski, à une pensée par tas. Les questions suivantes nous permettront d'affiner si, cette hypothèse se confirme et se généralise sur tout le niveau de 5^{ème}.

3.2.2. Classe de 4^{ème}.

L'année de 4^{ème} est différente de la précédente. En effet, l'atome s'inscrit dans l'enseignement, notamment lors de l'apprentissage des changements d'état de la matière.

Ci-dessous nous retrouvons les registres *élève* et *référentiel* ; la figure nous communique le pourcentage des élèves de 4^{ème} utilisant les mots référencés sur l'axe des abscisses.

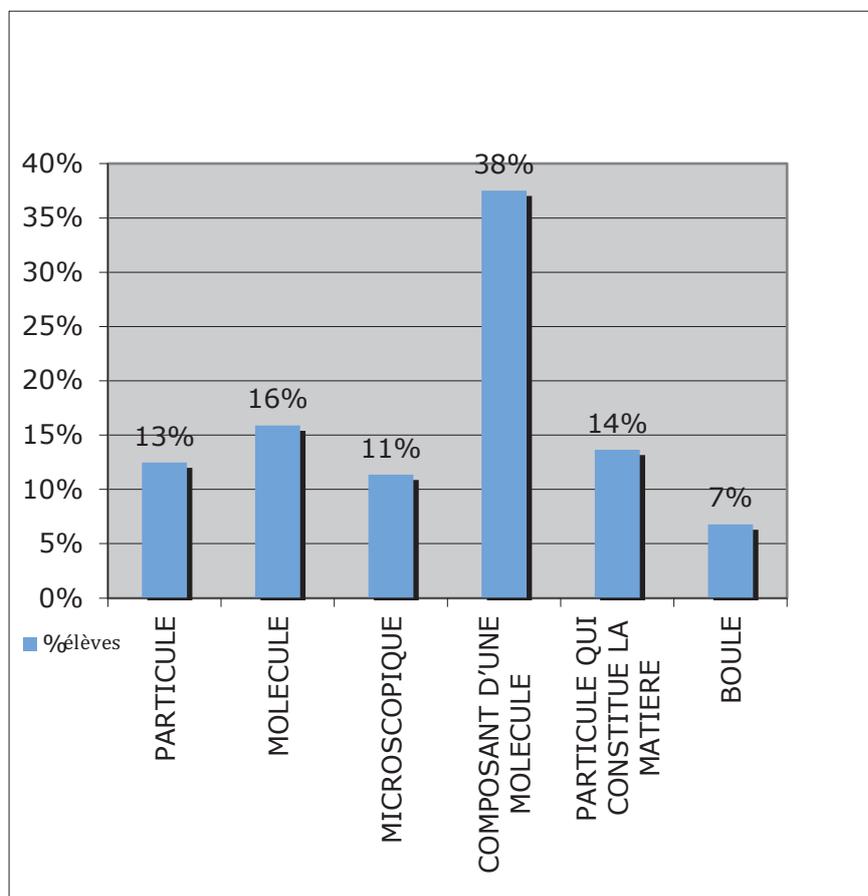


Figure 34. Registre élève classe de 4^{ème}.

Registre référentiel 4 ^{ème}	
Corps pur	
Particule	
Molécule	
Élément	
Composé	
Substance	
Cristaux	
Solide	
Liquide	
Modèle	
Equation	
Démocrite	
Dalton	
Nom d'un atome	
Nom d'une molécule	
Composant d'une molécule	

Figure 35. Registre référentiel de 4^{ème}.

Nous remarquons que le registre « élève » est composé seulement de six mots tandis que le registre référentiel en comporte seize. Le vocabulaire des élèves reste donc très limité. 16% des élèves assimilent encore l'atome à la molécule, nous considérons qu'il est difficile pour un élève en cours d'année de passer du modèle moléculaire, qui explique les transformations chimiques, au modèle atomique qui va permettre de comprendre les combustions. Au vu du discours, nous concluons que le registre des mots employés appartient au registre des savoirs quotidiens ce qui correspond, de fait, à une pensée par tas.

3.2.3. Classe de 3^{ème}

C'est en classe de 3^{ème} que, véritablement, le registre référentiel devient plus important et plus spécifique à l'atome. Ci-après nous retrouvons les registres élève et référentiel.

La figure nous communique le pourcentage des élèves de 3^{ème} utilisant les mots référencés sur l'axe des abscisses.

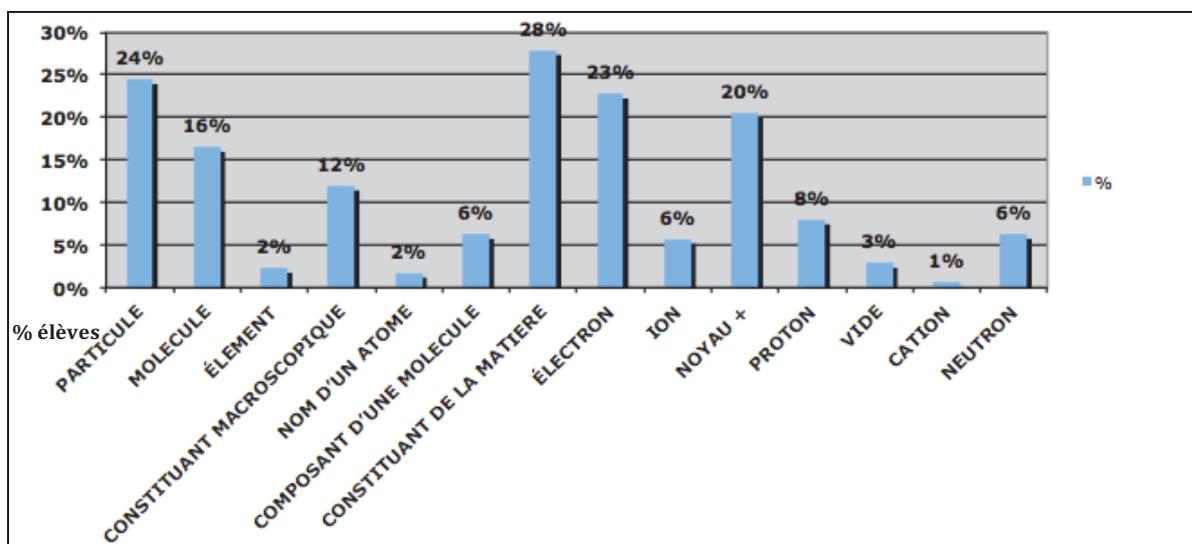


Figure 36. Registre élève 3^{ème}.

Registre référentiel 3ème	Registre référentiel 3ème
Corps pur	Démocrite
Particule	Dalton
Molécule	Nom d'un atome
Élément	Nom d'une molécule
Composé	Composant d'une molécule
Substance	Électron
Cristaux	Ion
Solide	Noyau +
Liquide	Proton
Atome	Neutre
Modèle	Vide
Équation	Thomson
	Rutherford

Figure 37. Registre institutionnel 3^{ème}.

Les mots utilisés sont plus nombreux, ce qui montre que la pensée se construit autour de ce concept. Quelques résultats interpellent cependant :

- 16% des élèves l'assimilent encore à une molécule. Deux ans d'enseignement n'ont pas suffi à faire évoluer le modèle de 5^{ème}. Au total plus de 70% des élèves restent sur une pensée par tas ;
- si nous nous conformons au modèle de Rutherford, dernier modèle présenté en 3^{ème}, peu d'élèves le décrivent. 20% ont retenu qu'un atome est constitué d'un noyau avec des électrons. Seuls 10% pensent à évoquer le vide contenu dans l'atome ;
- le mot *neutron* et *proton* ne sont normalement pas abordés en 3^{ème}, pourtant 8% en font mention. Après enquête auprès des enseignants, son utilisation est fréquente lorsque la classe reflète un niveau satisfaisant ;
- le modèle, quand il est compris, est assimilé dans son ensemble ;
- notons que les élèves utilisent majoritairement le vocabulaire de l'année précédente.

Prenant appui sur notre cadre théorique, nous pouvons déterminer à quel registre l'élève appartient, en nous référant aux mots utilisés. De fait, ce registre nous renseigne sur le type de pensée de l'élève sur le concept d'atome. En conclusion, notre analyse pour le collège se résume ainsi :

Nous observons en 5^{ème} et en 4^{ème} un type de pensée par tas, relatif à un registre correspondant à des savoirs quotidiens. En effet, les élèves décrivent l'atome par analogie ou par comparaison. Le vocabulaire employé est peu précis. A partir de l'observation d'un modèle et/ou de la fonction de l'objet, ils déduisent de façon doxique et/ou à priori une définition. Le registre élève nous montre que c'est le langage informel qui domine. Le mode cognitif *par tas* domine en 5^{ème} et 4^{ème}, il produit des concepts quotidiens parfois empiriques, souvent incomplets et basiques, qui donnent des explications rapides à des problèmes simples.

C'est en 3^{ème} que l'élève (20%) commence à adopter un mode cognitif (une pensée) par complexes. En effet, celui-ci précise les caractéristiques de l'atome en percevant certaines interrelations entre les éléments de l'objet. Le vocabulaire utilisé ressemble davantage à un langage formel. Il appartient au registre du savoir empirique.

Le concept d'atome (le mot) joue le rôle d'instrument (psychique), parce qu'il renvoie à ses fonctions et à ses modélisations dans l'interprétation et la discussion des phénomènes physiques (l'instrument est fait pour...). Mais il sert également d'outil, parce qu'il renvoie à la possibilité de fabriquer les modèles résolutifs des situations problème (l'outil sert à...). C'est un artefact.

Ces résultats demandent encore un approfondissement que nous expliciterons un peu plus loin après avoir analysé la question 4. Cette dernière peut nous apporter des indications complémentaires. Observons maintenant les résultats des questionnaires des lycées.

3.2.4. Classe de Seconde

Ci-dessous nous retrouvons les registres *élève* et *référentiel*, la figure nous communique le pourcentage des élèves de seconde utilisant les mots référencés sur l'axe des abscisses.

Registre référentiel Seconde	Registre référentiel Seconde
Corps pur	Ion
Particule	Noyau positif
Molécule	Neutre
Élément	Vide
Composé	Thomson
Substance	Rutherford
Cristaux	Bohr
Solide	Électron
Liquide	Structure lacunaire
Modèle	Symbole Z, A, X
Équation	Nucléon A
Démocrite	Numéro atomique
Dalton	Neutron
Nom d'un atome et symbole	Répartition par couches K, L, M ; règle du Duet et Octet
Nom d'une molécule et symbole	Dimensions
Composant d'une molécule	Mendeleïev : classification périodique
	Structure lacunaire

Figure 38. Registre référentiel classe de seconde.

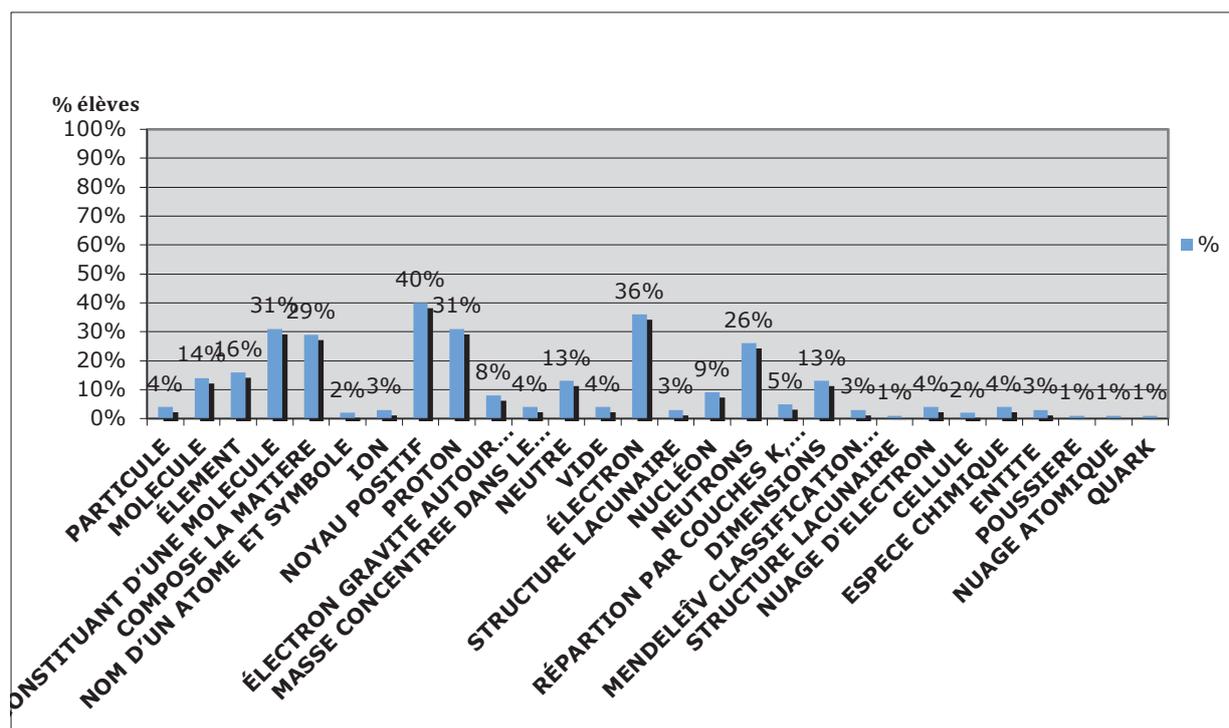


Figure 39. Registre élève classe de seconde.

6% des élèves de seconde ne donnent pas de définition, auxquels s'ajoutent 13% d'élèves qui confondent toujours molécule et atome. La seconde, étant une classe charnière quant à l'orientation, ces résultats sont facilement prévisibles. Certains élèves présentent peu d'intérêt pour les sciences. Le registre élève s'est enrichi et se rapproche du registre institutionnel. Le type de pensée des élèves tend vers une pensée par complexes puisque le registre est associé au registre empirique.

Si nous approfondissons cette étude³³⁹, en regardant les modèles que les élèves restituent, nous remarquons d'une part, que 46% prennent appui sur le modèle de Rutherford et seulement 15% sur le modèle de Bohr (proposé en classe de seconde).

A l'instar des élèves de collège, l'élève de la classe de seconde garde en mémoire le modèle de l'année précédente.

3.2.5. Classe de Première et Terminale S

Les résultats des classes de première S et Terminale S, classes où l'enseignement des sciences devient plus spécifique et scientifique, nous montrent, cette fois, un registre élève proche du registre institutionnel avec des pourcentages nettement supérieurs. Par simplification, nous avons regroupé les référentiels des deux classes (première et terminale S). Pour une meilleure lisibilité, la colonne « registre référentiel de terminale S » n'est composé que du vocabulaire de l'année. Il faut ajouter le vocabulaire relatif à la première S pour qu'il soit complet.

³³⁹ En nous reportant aux résultats de la question 3 au paragraphe 3.3.

Registre référentiel Première S	Registre référentiel Première S	Registre référentiel Terminale S uniquement
Corps pur	Rutherford, Thomson, Bohr	Microscope à effet tunnel
Particule	Électron	Microscope à effet atomique
Molécule	Structure lacunaire	Constante d’Avogadro
Élément	Symbole Z, A, X	Photons
Composé	Nucléon A	Interaction électrique
Substance	Numéro atomique	
Cristaux	Neutron	
Solide	Répartition par couches K, L, M) règle du Duet et Octet	
Liquide	Dimensions	
Modèle	Mendeleïev. Classification périodique	
Équation	Structure lacunaire	
Démocrite	Atome radioactif	
Dalton	Désintégration α	
Nom d’un atome et symbole	Désintégration $\beta +$	
Nom d’une molécule et symbole	Positron	
Ion	Désintégration $\beta -$	
Noyau positif	Interaction forte	
Neutre	Électronégativité	
Vide	Liaison hydrogène	
Thomson	Neutrino	

Figure

40. Registre référentiel classe de première S et terminale S.

Ci-après, nous retrouvons les registres élève de la 1^{ère} S et terminale S ; les figures nous communiquent le pourcentage des élèves de 1^{ère} S et TS utilisant les mots référencés sur l’axe des abscisses. Pour une meilleure lisibilité, nous avons :

- retenu les mots dont les pourcentages étaient égaux ou dépassaient 4%.
- modifié le fond de l’image.

Néanmoins en annexe³⁴⁰ figurent les tableaux avec l’ensemble des mots employés.

³⁴⁰ On retrouve ces résultats en annexe 33.

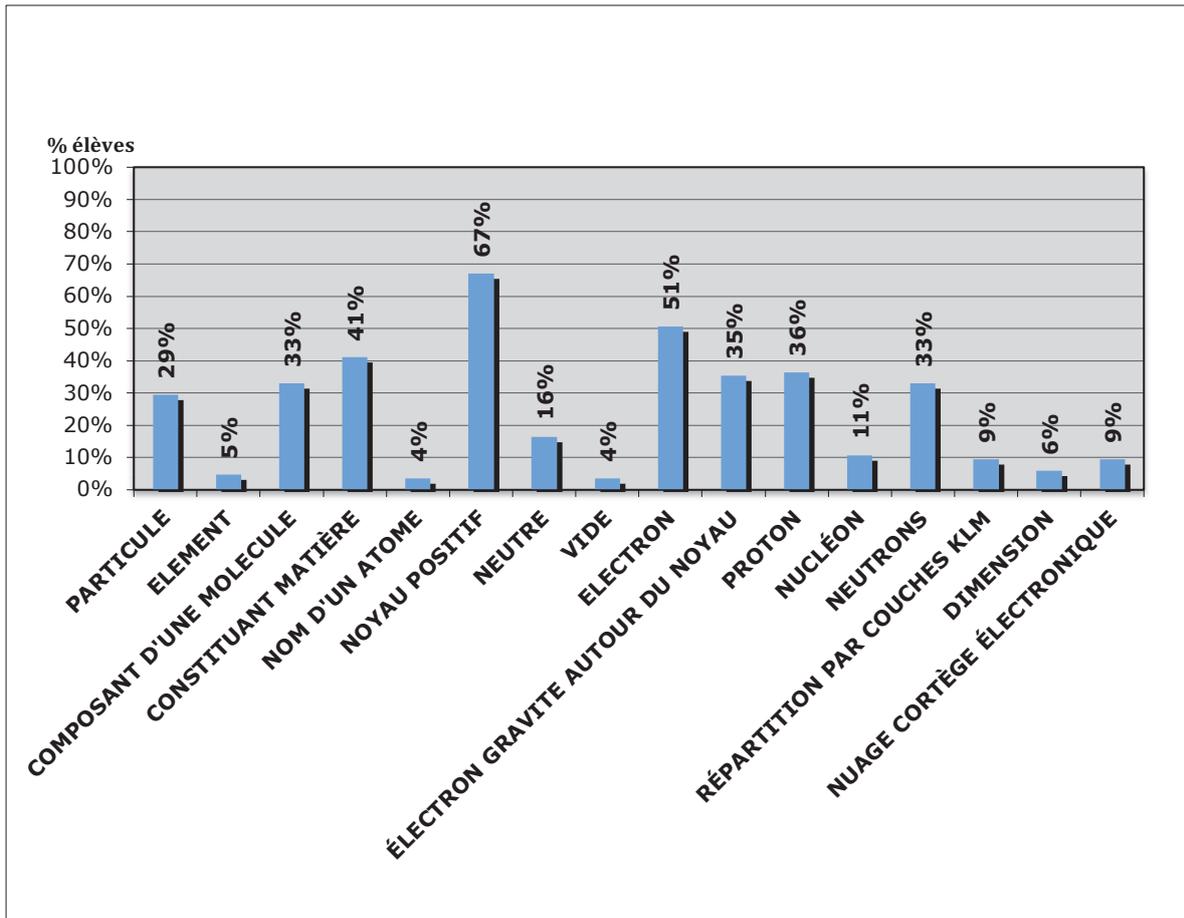


Figure 41. Registre élève 1ère S.

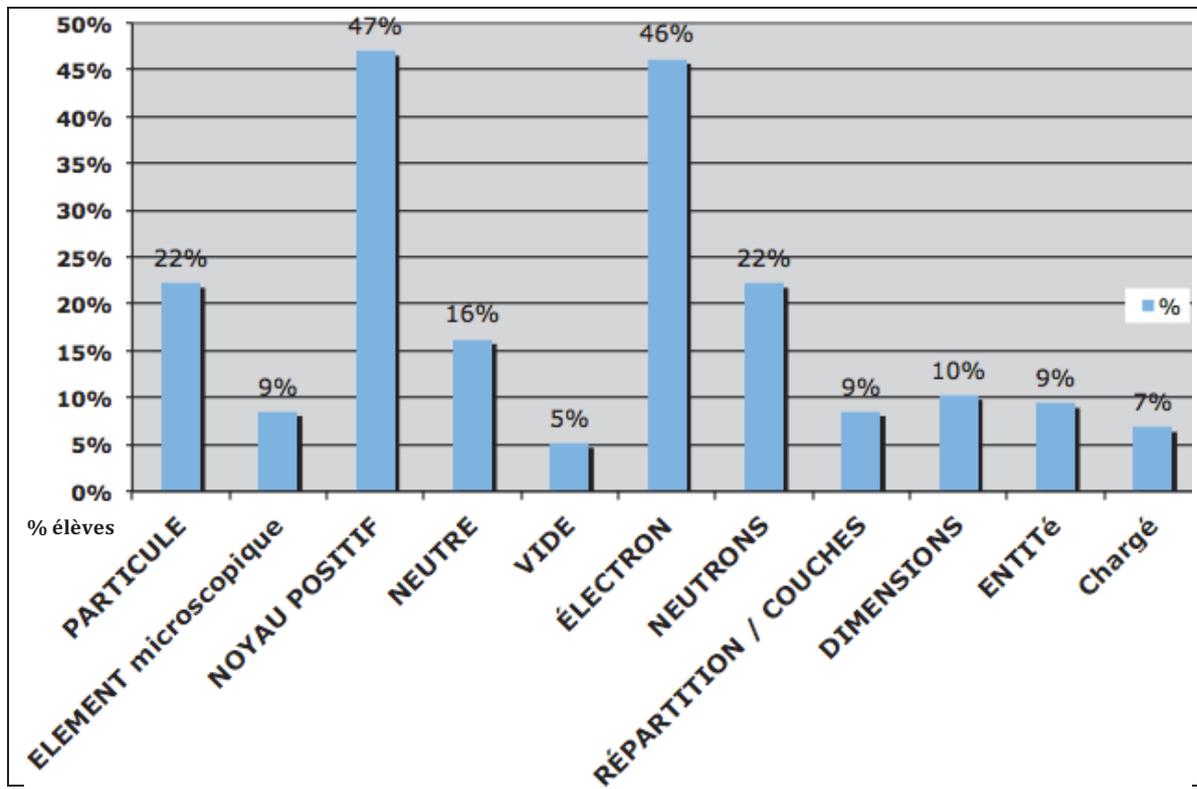


Figure 42. Registre élève Terminale S.

Les résultats sont significatifs pour les raisons suivantes :

- le pourcentage augmente sur les termes comme *noyau positif* et *électrons* en 2^{de} pour atteindre son maximum en classe de Terminale S ;
- c'est à partir de la 1^{ère} S, que la majorité des élèves transcrivent correctement la structure de l'atome et font les liens quant à la formation d'un ion par exemple ;
- les modèles sont également mieux connus et en concordance avec les programmes. Les élèves accèdent à des raisonnements plus scientifiques en établissant les liens nécessaires qui permettent d'expliquer la formation d'une molécule plutôt qu'une autre ou la création d'un ion plutôt qu'un autre ;
- le recueil des données convoque deux types de registres : le registre du savoir empirique et scientifique.

En conclusion, notre analyse pour le lycée se résume ainsi :

Le type de pensée de tous les élèves bascule peu à peu d'une pensée par complexes à une pensée par concepts. Les concepts quotidiens donnent place aux concepts scientifiques sans pour cela disparaître. Le langage réfère à une pensée formelle à partir de la 1^{ère} S. Les élèves s'enrichissent d'un vocabulaire plus spécifique à l'atome et plus rigoureux d'un point de vue scientifique. Le savoir s'apparente au registre scientifique.

La poursuite de l'étude porte sur les modèles mémorisés et intégrés par les élèves au cours de leur scolarité.

3.3. Question 3 :

« Parmi les modèles d'atomes proposés ci-dessous, cochez ceux que vous connaissez.

- A- Le modèle de Rutherford.
- B - Le modèle de Thomson.
- C - Le modèle de Démocrite.
- D - Le modèle de Bohr.
- E - Le modèle de Schrödinger.
- Aucun.

Quel est le modèle le plus récent selon vous ?

- A B C D E »

Pour nous rendre compte du niveau d'acquisition des élèves, nous avons recueilli dans les programmes, les modèles étudiés par les élèves durant leur scolarité.

Le tableau ci-dessous reprend les modèles de l'atome étudié par niveaux. Le modèle en gras étant le dernier à acquérir.

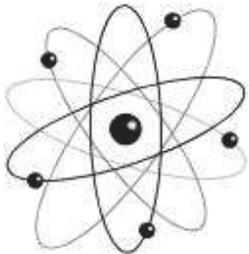
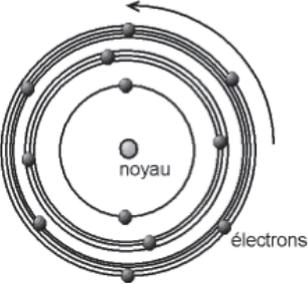
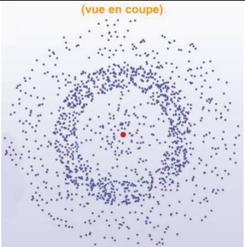
CLASSES	MODELES	DESCRIPTION ³⁴¹ DU DERNIER MODELE
5 ^{ème}	MOLECULE.	
4 ^{ème}	MOLECULE ATOME = PARTICULE <i>Les modèles DEMOCRITE & DALTON ne sont cités que par quelques ouvrages. La connaissance de ces noms de modèle est donc aléatoire.</i>	
3 ^{ème}	DEMOCRITE DALTON THOMSON RUTHERFORD.	
2 ^{de}	DEMOCRITE DALTON THOMSON RUTHERFORD BOHR.	
1 ^{ère} S et terminale S	DEMOCRITE DALTON THOMSON RUTHERFORD BOHR SCHRÖDINGER.	

Figure 43. Modèles de l'atome étudiés entre la 5^{ème} et la terminale S.

³⁴¹ Les schémas sont disponibles sur : http://physique.buil.pagesperso-orange.fr/activ_3e/chimie-3e/histor_atome-3e.pdf

Nous avons recensé ci-dessous toutes les réponses des élèves pour la question 3. La somme de celles-ci est supérieure à 100 % du fait des réponses multiples possibles.

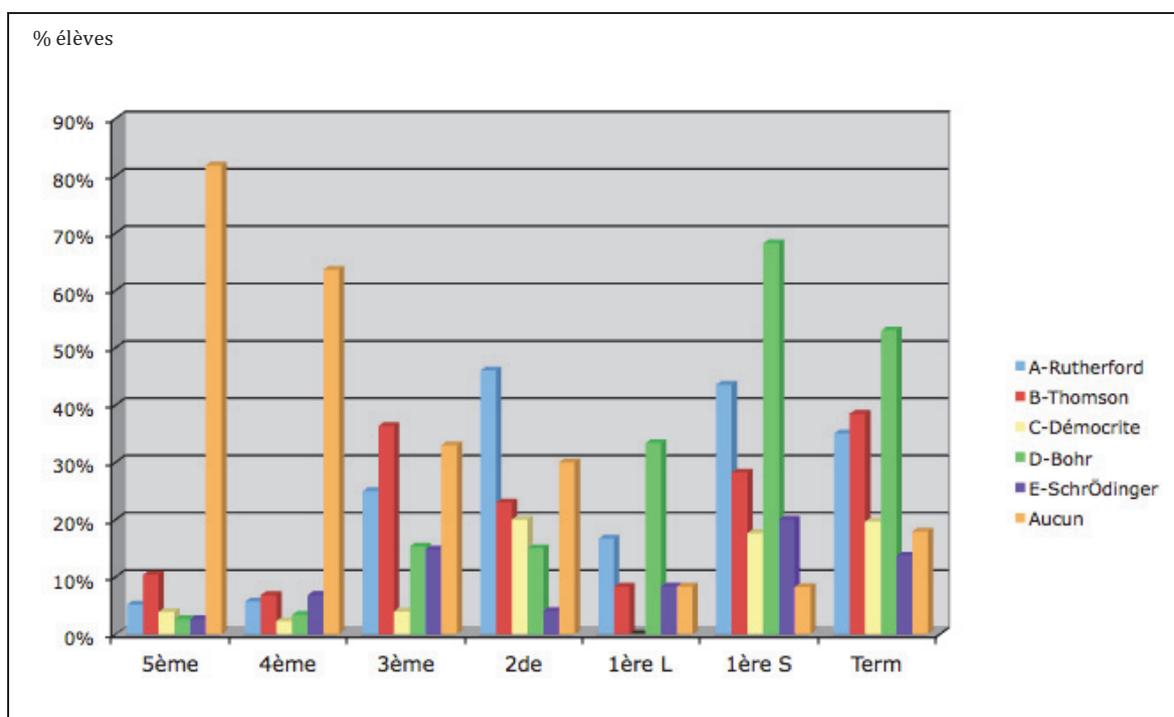


Figure 44. Récapitulatif du modèle connu pour toutes les classes.

3.3.1. Au collège.

En 5^{ème}, les résultats sont cohérents avec la question précédente, les élèves en majorité (82%) ne connaissent aucun des modèles proposés. En 4^{ème}, il semble qu'aucun nom de modèle en particulier ne soit assimilé, ce qui est en adéquation avec les programmes qui encouragent les enseignants à utiliser le modèle particulière sans référence particulière.

En 3^{ème}, deux modèles sont connus, le modèle de Thomson (appris en début d'année) avec 36% d'élèves et le modèle de Rutherford (appris en fin d'année) avec 25%. 33% d'élèves restent cependant sans réponse.

En conclusion, nous constatons une évolution notable de la construction cognitive de l'élève en 3^{ème}, cependant les contenus disciplinaires ne permettent pas à la plupart des élèves de s'approprier le modèle de l'année. Nous avons pu observer, qu'en moyenne, ces modèles sont présentés en une seule activité annuelle, il est donc logique que leur acquisition prenne du temps.

L'évolution se traduit par un changement de type de pensée, les élèves dépassent la conception par tas qui correspond au modèle particulière pour passer à la pensée par complexes qui correspond au modèle de Rutherford. Le pourcentage est prometteur et nous laisse supposer que si l'apprentissage se place dans la ZPPD de chacun des élèves, tous les élèves peuvent atteindre ce niveau.

De fait, nous tenterons une expérimentation en 3^{ème} dans le but de mener chaque élève à cette transformation.

3.3.2. Au lycée

Les constatations observées en 3^{ème} se confirment en 2^{de}. Les résultats montrent un fait pédagogique connu. Le modèle intégré est celui de l'année précédente, nous présumons que les élèves préfèrent solliciter des connaissances (plus ou moins) consolidées plutôt que de solliciter les connaissances nouvelles peu maîtrisées. Nous résumons ci-dessous nos observations :

Les quatre modèles étudiés dépassent les 15%.	30% ne restituent pas de modèle.
48% citent le modèle de Rutherford (modèle de 3 ^{ème})	15% propose le modèle de Bohr (modèle de seconde).

Nous déduisons que 30% adoptent encore une pensée par tas. L'expérimentation envisagée en 3^{ème} peut donc être menée également sur ce niveau.

Pour la classe de 1^{ère} S et Terminale S, c'est le modèle de Bohr, appris en seconde, qui est le plus cité. Le décalage de la restitution se confirme, les automatismes se mettent en place et les rappels des années antérieures portent leurs fruits. La pluralité des modèles ainsi que l'accroissement des pourcentages confortent le bon choix de la filière S. Cependant, nous sommes interpellés par les 18% d'élèves de terminale S qui ne restituent aucun modèle. Nous attendrons la question 4 avant d'interpréter ce résultat.

Nous réaffirmons les conclusions de la question 2, c'est en classe de seconde que la pensée par complexes s'installe pour tous, il faudra attendre la 1^{ère} S pour observer la transformation en pensée par concepts (*i.e.* la possibilité de faire référence aux invariants de l'artefact, l'atome, pour échanger, débattre ou résoudre des problèmes).

3.3.3. Les limites de cette question

Nous nous sommes interrogés à l'issue de l'exploitation de ces réponses, comment le mot « *connaître* » avait été interprété par les élèves. Est-il traduit par « *j'ai déjà vu* » ou plutôt par « *je sais dessiner le modèle* » ? Nous ne pouvons répondre. Cependant, les questions 2 et 3 rendent compte de la construction du modèle de l'élève et permettraient d'affiner ce flou. En vue de répondre à notre problématique et d'être le plus concis possible, nous avons dirigé principalement la suite de notre recherche à l'analyse des questions 2 et 4.

3.4. Question 4.

Nous avons récapitulé ci-dessous toutes les réponses des élèves de la 5^{ème} à la terminale S à la question : « *Dessinez un atome* » afin de nous rendre compte du niveau des élèves. Nous découvrons le pourcentage des élèves dans les quatre registres proposés. Ces réponses seront rapprochées de la question 2 (*donner une définition*) afin de nous éclairer quant à la construction cognitive des élèves. Ils nous permettront, s'ils sont en adéquation, de proposer les types de pensées des élèves, par niveau de classe, sur le concept d'atome.

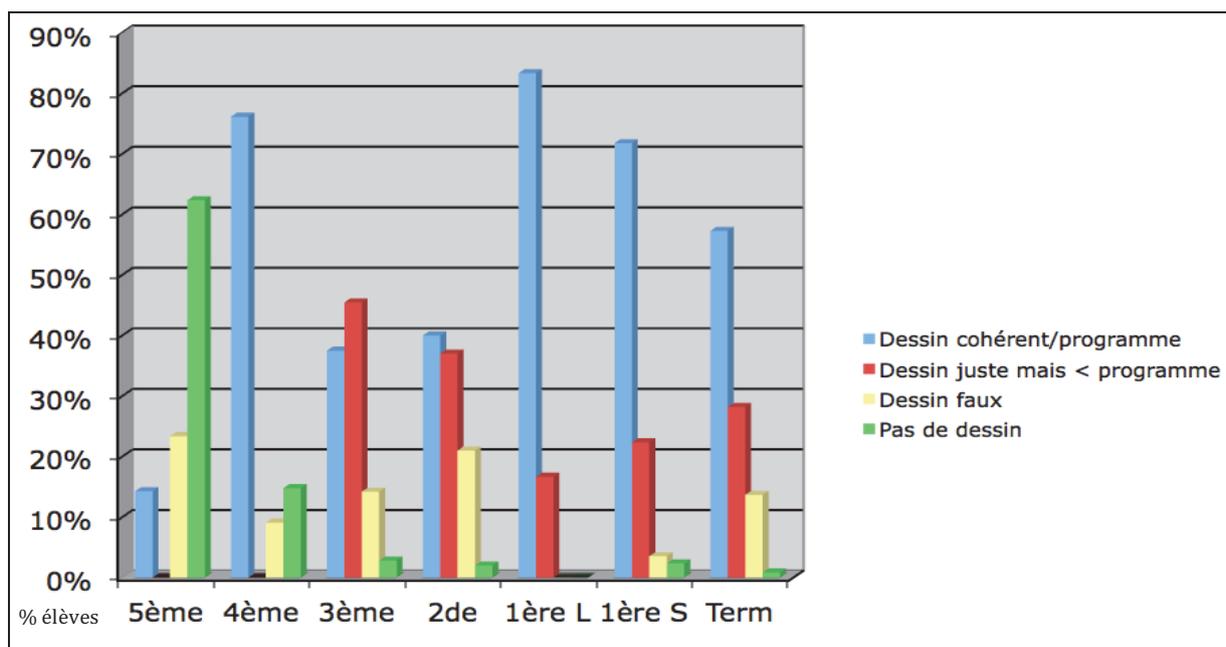


Figure 45: Récapitulatif des dessins du modèle de l'atome pour toutes les classes.

En 5^{ème}, nous observons une absence significative de dessin. En 4^{ème}, l'élève est en adéquation avec le programme, puisqu'il propose le modèle particulière ou moléculaire. Ce résultat trouve écho avec notre analyse en question 2, *l'élève pense par tas*. Les mots inscrits dans sa pensée intérieure, sont encore flous et en pleine construction, l'atome reste une entité abstraite.

En classe de 3^{ème} et seconde, les histogrammes des « *dessins cohérents* » ou « *juste mais inférieurs au programme* » sont à peu près identiques. L'élève rejoint un type de pensée par complexes. L'élève, d'un niveau de performance indépendante accède à un niveau de performance supérieure grâce à l'intervention de l'enseignant et au travail effectué avec les autres élèves. En classe de 1^{ère} S et terminale S, les dessins sont globalement justes et viennent renforcer notre analyse des résultats de la question 2.

3.5. Question 5.

Ci-après se trouve le tableau récapitulatif des réponses pour l'ensemble des niveaux à la question :

« *Les connaissances que vous avez utilisées pour répondre à ce questionnaire ont été apprises (Vous pouvez cocher plusieurs cases)*

- À l'école.
- Sur Internet.
- Dans des livres ou revues scientifiques.
- Autre : précisez »

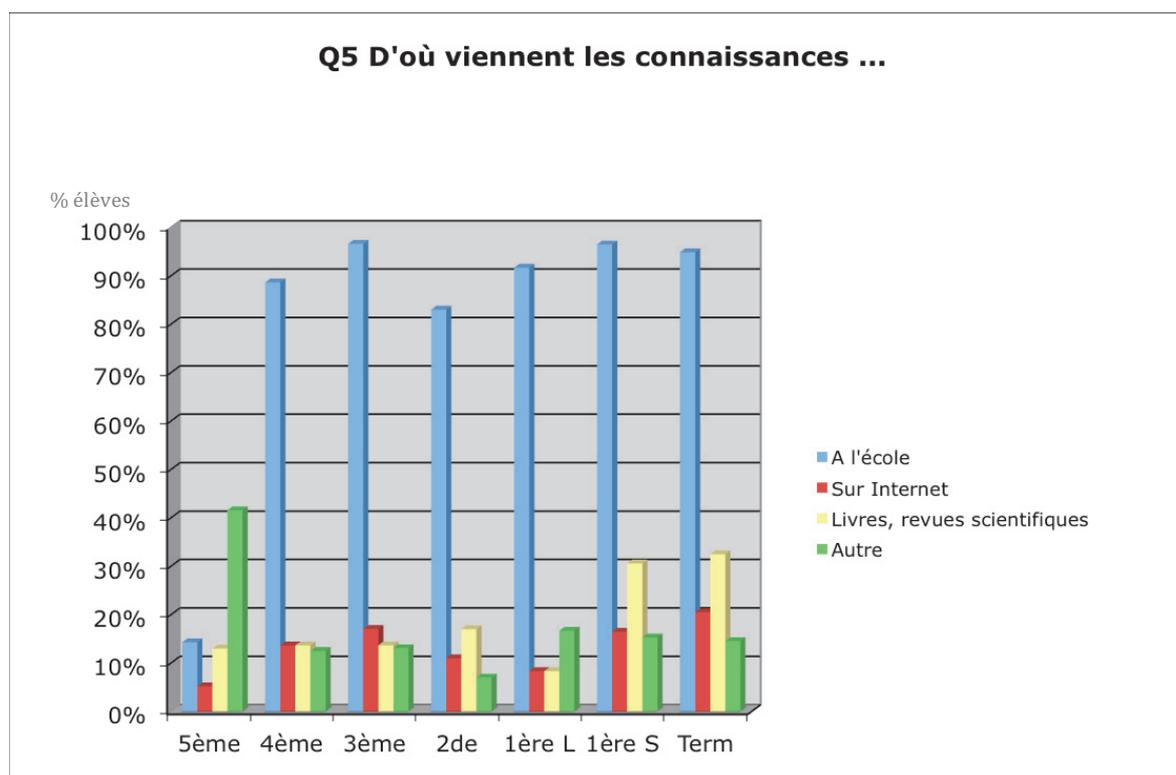


Figure 46. Récapitulatif des réponses à la question 5 relatives à la provenance des connaissances.

Les résultats sont sans appel, malgré les réponses multiples, l'école reste le lieu principal où les connaissances sont transmises. De même, nous pouvons ajouter que nos adolescents n'utilisent pas internet pour s'approprier des connaissances scientifiques entre la classe de 5^{ème} et terminale. Nous prenons pleine conscience de la lourde responsabilité que détient l'École mais également des concepteurs de programme.

4. Conclusion : profil des types de pensée des élèves de la 5^{ème} à la terminale S.

L'analyse de ces 655 questionnaires nous a permis d'établir, d'un point de vue général sur le concept d'atome, le profil des élèves dans la cognogénèse.

Voici le tableau récapitulatif des différents types de pensée des élèves de notre échantillon selon le niveau de classe sur le concept d'atome.

Niveau	Types de pensée	Choix des expérimentations à tenter
5 ^{ème}	Pensée par TAS	
4 ^{ème}	Pensée par TAS	
3 ^{ème}	Pensée par TAS → COMPLEXES	X
2 ^{de}	Pensée par COMPLEXES → CONCEPTS	X
1 ^{ère} S	Pensée par CONCEPTS	
T S	Pensée Par CONCEPTS	

Tableau 17. Récapitulatif des types de pensée des élèves en collège et lycée pour le concept d'atome.

À la lecture de nos travaux, nous pouvons valider notre première hypothèse de travail, en effet nous rendons compte du niveau de construction du médiateur interne, l'atome .

Nous remarquons que dans la cognomorphose, le profil d'un élève est variable, puisqu'il est dans l'apprentissage, assisté de l'enseignant et de ses pairs. Certains élèves de la première S par exemple, peuvent emprunter la pensée par tas lors de la découverte d'un nouveau concept et très vite à l'aide des médiateurs internes et externes passer à une pensée conceptuelle. D'après le tableau ci-dessus, nous considérons que, lorsque les élèves sont dans l'interface entre deux modes de pensée, nous pouvons contribuer à une progression plus rapide de l'élève, soit ici, en troisième ou en seconde. Nous appuyant sur Vygotski, nous pouvons penser qu'il faudra mettre en place dans la ZPPD une activité maîtresse, qui puisse faire évoluer l'élève à un niveau de performance supérieure dans la cognomorphose. De fait, nous pouvons entrevoir la possibilité d'un projet pluridisciplinaire, avec les élèves, comme c'est couramment effectué dans les établissements, dans lequel ces derniers devront développer des actions leur permettant de dégager dans le matériel étudié, le principe substantiel de l'objet d'étude et de le reproduire en modèle. De nombreux enseignants favorisent ce type de projet en créant des situations problèmes. Pour qu'il y ait développement des fonctions supérieures, nous aurons recours à des instruments contenus dans les artefacts de la culture. Ces instruments psychologiques supérieurs renvoient à l'enjeu symbolique du développement humain sous forme de mots et de discours. En convoquant les discours, qui renvoient aux conceptions individuelles, nous donnerons lieu à des hypothèses émises par les élèves.

Selon Vygotski, nous pouvons affirmer que le concept d'atome joue le rôle d'instrument psychique. En effet il renvoie d'une part à ses fonctions, à ses modélisations dans la discussion des phénomènes physiques, mais également à la possibilité de construire des modèles permettant d'expliquer les situations problèmes, c'est-à-dire à l'outil. L'incorporation des instruments psychologiques supérieurs se déroulera, selon Vygotski dans une zone de proche développement où l'enseignant accompagnera les élèves sur le lien à faire entre la constitution de l'atome et la constitution de la matière, ainsi la double médiation s'opérera. Dans ce projet, l'enseignant aura en charge d'instrumentaliser la pensée verbale, d'outiller la pensée intérieure en créant une ou plusieurs situations problèmes qu'il devra finement préparer et animer.

Reprenons maintenant notre deuxième hypothèse de travail qui va donner lieu à notre expérimentation suivante : *nous augurons que la construction du médiateur interne nécessite le recours d'un médiateur externe.*

Celle-ci nous conduit à faire un zoom, sur la construction du médiateur interne l'atome, dans une activité maîtresse. Nous avons choisi de le réaliser, au travers d'un projet interdisciplinaire EPS³⁴², SPC³⁴³ particulier, puisqu'il s'agit de monter une chorégraphie sur le thème de la structure de l'atome. Nous faisons l'hypothèse, que la rencontre de ces deux disciplines est un atout dans l'élaboration de sens pour l'élève. De plus, l'enjeu symbolique étant très fort, nous pensons que la construction du médiateur interne en sera renforcée.

Nous considérons, que la construction du médiateur interne qui est l'atome, ne pourra aboutir sans l'aide de médiateurs externes. Ces derniers permettent de faire passer les concepts quotidiens (au sens de Vygotski) en concepts scientifiques et mettent des enjeux symboliques dans le savoir. Cette *expérience test* viendra infirmer ou valider notre hypothèse de travail.

³⁴² Education physique et sportive

³⁴³ Sciences Physiques et Chimiques

Chapitre 13 : Création d’une activité maîtresse interdisciplinaire (EPS-SPC) sur le thème de l’atome en classe de première L.

Afin de simplifier notre discours par la suite, nous nommerons cette mise en place : expérimentation 1.

Suite aux conclusions précédentes, nous avons souhaité créer une *activité maîtresse test* en classe de seconde mais le projet particulier que nous avons présenté aux enseignants n’était pas applicable à ce moment-là ; en revanche, nous avons pu le réaliser avec une première L. Sachant que cette classe n’a pas choisi comme orientation la filière scientifique, nous pouvons émettre l’hypothèse que *les modes de pensée des élèves se rapprochent du niveau de la classe de seconde* d’autant que l’enquête du chapitre 12 a été réalisée en fin d’année scolaire.

1. Présentation.

Suite à notre conclusion du chapitre précédent, nous souhaitons, à travers un projet pluridisciplinaire reconnaître une évolution collective de la pensée. Notre objectif est de répondre à la question suivante : *Le projet pluridisciplinaire choisi sera-t-il suffisant pour faire évoluer les élèves dans la cognomorphose et les faire aboutir, tous, à une pensée conceptuelle sur le thème de l’atome ?*

Cette expérimentation s’est effectuée en une seule séance sur une classe de première L, option danse, en fin d’année scolaire. Devant la réussite de cette chorégraphie, elle a été présentée³⁴⁴, parmi d’autres, en fin d’année devant les élèves du lycée, les parents d’élèves et le personnel éducatif.

Le tableau ci-dessous récapitule la mise en œuvre :

Effectif	12 filles
Groupes formés	4 élèves
Durée de la séance	2 H
Durée de la chorégraphie présenté	2 minutes

Tableau 18. Récapitulatif de la mise en œuvre expérimentation 1.

La séance a été préparée en amont avec l’enseignante de EPS. L’objectif pour l’enseignante EPS de cette séance est de préparer les élèves à l’épreuve³⁴⁵ EPS option danse du baccalauréat. L’enseignante demande aux élèves de créer par groupe une écriture chorégraphique à partir de mouvements, d’enchaînements acquis, communément appelée composition ou improvisation. Celle-ci de réalisera sur le thème de la structure de l’atome. Cette séance a été entièrement filmée et plus précisément les échanges dans les différents groupes.

³⁴⁴ Annexe 34. Programme de la soirée relative à l’expérimentation en première L.

³⁴⁵ En annexe 35. Instructions de l’épreuve au baccalauréat EPS option danse.

6 moments didactiques sont à considérer dans cette séance :

1 ^{ère} rencontre avec les tâches à accomplir.
Exploration du type de tâches et émergence de la technique.
Construction de la composition.
Institutionnalisation
Travail sur l'organisation (la technique).
Évaluation.

Voici le canevas préétabli avec l'enseignante EPS :

Activités proposées	Contenus
Présentation de la séance par l'enseignante en EPS durée : 5'	Les objectifs et le cadre.
Consignes données ³⁴⁶ purement EPS Danse durée : 10'	Présentation des outils de création : le corps, l'espace, le temps du mouvement, l'énergie, le poids, les trajets dans l'espace, l'imaginaire, le poétique, ce qui est révélé et le modèle choisi pour mettre en valeur ce qui est révélé.
Temps d'échauffement. Durée : 10'	Présentation de différents gestes pouvant être utiles dans la chorégraphie.
Discussion entre élèves sur le concept d'atome. Construction par groupe de 4 d'une chorégraphie. Durée : 45'	Film sur les échanges et tâtonnements des élèves : « <i>Comment est fait un atome ?</i> » « <i>Comment le représenter ?</i> » Mise au point par groupe sur la création. L'enseignant EPS et SPC sont considérés comme médiateur au sens de Vygotski dans la ZPPD.
Présentation des chorégraphies. Échanges. Durée : 20'	Film de la chorégraphie créée par chaque groupe
Questionnaire donné en fin de séance. Durée : 10'	

Tableau 19. Canevas de la séance test EPS SPC expérimentation 1.

2. Recueil des données.

N'ayant qu'une seule séance pour mener cette expérimentation, nous avons distribué le questionnaire général présenté au chapitre 12 qu'en fin de séance. La partie traitée sur l'atome en première L, aborde les concepts de radioactivité, de fission et de fusion nucléaire.

Nous faisons l'hypothèse que, si les élèves établissent des liens entre l'atome et la fission et la fusion nucléaire, la pensée se rapproche d'une pensée conceptuelle, il est évident que d'autres facteurs rentrent en jeu que nous ne manquerons pas d'évoquer au moment de l'analyse.

Notre corpus est composé :

- des questionnaires de fin de séance pour chaque élève;
- la vidéo de cette séance avec les échanges entre élèves ;
- Notre questionnement, lors des échanges entre pairs, pour mieux comprendre un geste.

³⁴⁶ Annexe 36. Cahier des charges demandé par l'enseignante EPS aux élèves.

Lors de l’élaboration du film et de l’analyse de la vidéo, nous avons rencontré quelques difficultés de:

- compréhension lorsque les élèves parlent ensemble ou parlent très bas ;
- Tournage quand les élèves partent dans tous les sens.

Il nous a fallu être vigilant avec des élèves qui prenaient « *des partis pris*³⁴⁷ » afin de ne pas les prendre en considération dans les erreurs.

3. Analyse des données.

Nous avons utilisé les mêmes grilles qu’au chapitre 12 et comptabilisé, en analysant le film, tous les mots relatifs à l’atome dans les échanges. Ces mots sont reportés dans la grille. Si un élève nomme deux fois la fission, nous comptabiliserons 1 mot. Par contre s’il est repris par un autre élève, nous tablerons sur 2 mots. Puis nous catégorisons les mots en trois registres : Le registre du savoir quotidien correspondant à une pensée par Tas, basé sur un vocabulaire approximatif autour de l’atome, le registre du savoir empirique correspondant à une pensée par complexes basé sur la description d’un atome et enfin le registre du savoir scientifique correspondant à une pensée par concepts basé sur les liens³⁴⁸ que peut établir un atome. Nous avons également pris en compte les obstacles des élèves.

Notre analyse reste cependant qualitative, nous souhaitons pouvoir apprécier l’impact d’un projet pluridisciplinaire. Nous nous attacherons à étudier les questions 2, 3 et 4 de notre questionnaire afin de rendre compte de l’évolution du type de pensée des élèves. Les tableaux de résultats du questionnaire général sont répertoriés dans le chapitre 12.

3.1. Analyse du vocabulaire.

Les résultats ci-dessous tiennent compte du questionnaire et des mots employés par les élèves au cours de la séance. La figure retrace le pourcentage des élèves qui utilise les mots référencés sur l’axe des abscisses.

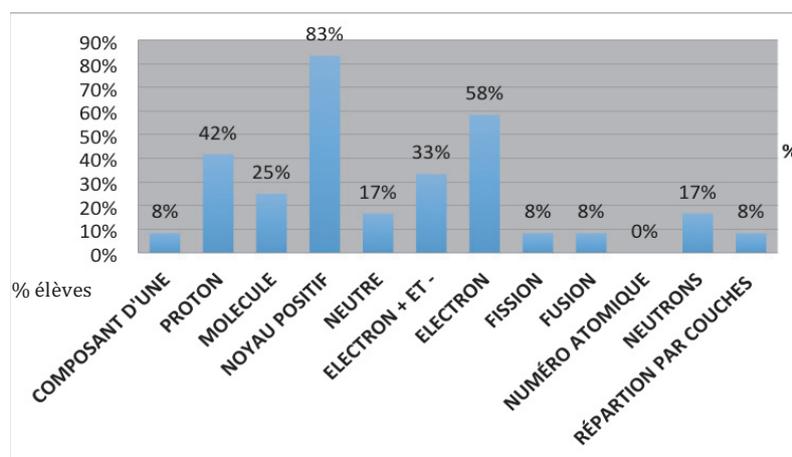


Figure 47. Registre élève première L expérimentation 1.

Nous pouvons comparer le *registre élève* au registre *institutionnel* ci-dessous

³⁴⁷ Un parti pris en EPS c’est réaliser un choix artistique qui ne correspond pas à la réalité, en pleine conscience.

³⁴⁸ Formation d’un ion, d’une transformation chimique, d’un atome radioactif...

Registre référentiel Première L	Registre référentiel Première L
Corps pur	Rutherford
Particule	Bohr
Molécule	Électron
Élément	Structure lacunaire
Composé	Symbole Z, A, X
Substance	Nucléon A
Cristaux	Numéro atomique
Solide	Neutron
Liquide	Isotope
Modèle	Répartition par couches K, L, M ; règle du Duet et Octet
Équation	Dimensions
Démocrite	Mendeleïev : classification périodique
Dalton	Structure lacunaire
Nom d'un atome et symbole	Oxydation
Nom d'une molécule et symbole	Fission nucléaire
Ion	Fusion nucléaire
Noyau positif	Énergie
Neutre	Pile
Vide	Échanges ioniques
Thomson	

Tableau 20. Registre institutionnel première L expérience 1.

Nous remarquons que le vocabulaire des élèves reste très restreint et principalement axé sur les caractéristiques de l'atome. L'analyse de la vidéo vient renforcer cette remarque. Voici le pourcentage des élèves dans chaque registre :

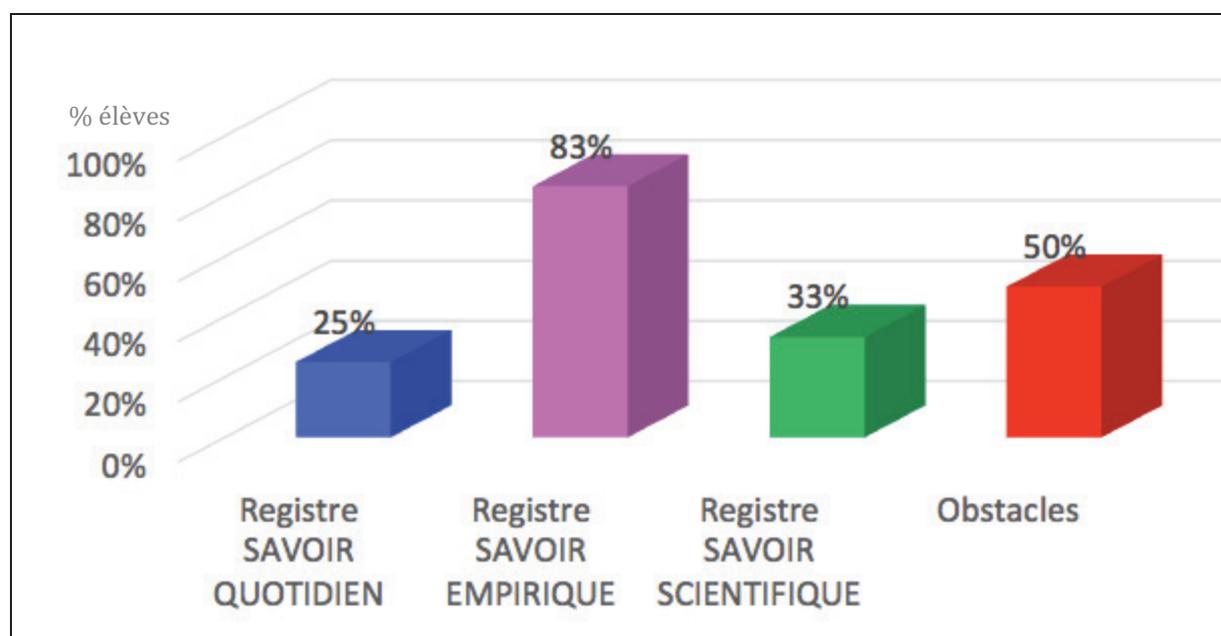


Figure 48. Pourcentage des élèves de première L dans chaque registre expérimentation 1.

Lors de la construction de la chorégraphie, un quart des élèves parlent de fission et de fusion, lexique utilisé en SPC uniquement en première. Nous serions tentés de conclure que la pensée de ces élèves se dirige vers une pensée par concepts mais l'analyse de la vidéo nous démontre que les mots *fission et fusion* ne sont pas stabilisés. En effet pour un même geste en

danse, les élèves font la confusion entre les deux. Nous pouvons statuer que ces élèves particuliers sont à la fois, dans deux rapports au monde différents qui correspondent à deux types de pensée distincts. Cette observation vient conforter les allers et retours dans la cognomorphose que nous avons signifiés dans notre modèle³⁴⁹ par une double flèche.

Dans les 50% d'obstacles relevés, 2 types d'erreurs nous ont interpellés :

- 17% pensent encore que la molécule est assimilée à l'atome. Certains élèves restent sur des représentations de l'atome correspondant à la classe de 5^{ème} voire 4^{ème} ;
- 33 % attribue une charge positive à l'électron. L'hypothèse explicative la plus probante serait que les élèves soient en cours d'acquisition du langage. Nous pouvons supposer qu'ils font consécutivement, un rapprochement avec un chapitre³⁵⁰ de leur livre sur l'énergie et un amalgame avec les particules d'antimatière. Le positon ou positron est défini comme l'anti-électron de charge positive. Nous n'avons pas pu vérifier cette hypothèse puisque le projet a été réalisé sur une séance.

3.2. Analyse des modèles.

L'analyse de la vidéo montre que les élèves évoquent des modèles sans les nommer. Le fait, de les décrire dans la chorégraphie, nous a permis de connaître leur modèle de référence. La question 3 est venue éclairer notre questionnement. La figure ci-dessous illustre les modèles utilisés par les élèves lors de cette expérimentation.

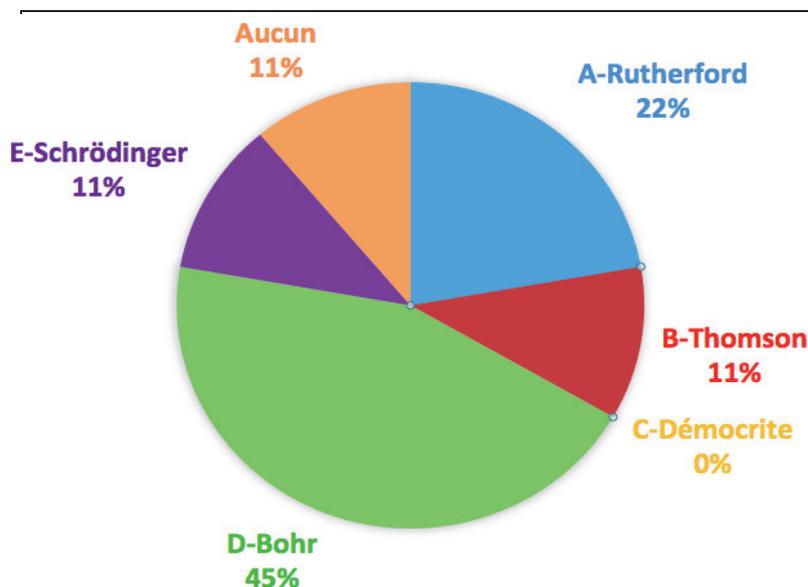


Figure 49. Modèles connus par les élèves de première L expérimentation 1.

Le modèle de référence pour la classe de première L est celui de Bohr déjà acquis en seconde. Le modèle de Schrödinger a été simplement évoqué en cours de sciences physiques pour les plus avancés. 45 % des élèves restituent, dans le questionnaire, le modèle de référence et la production des chorégraphies confortent ce résultat. 11% des questionnaires évoquent

³⁴⁹ Modèle de la cognomorphose au cours de la cognogénèse dans la ZPPD chapitre 8 paragraphe 3.4.

³⁵⁰Jubault Bregler M, Prévost V (2011) p 244.

Schrödinger, c'est faible et peu représentatif. Nous supposons que 45 minutes d'interactions entre pairs, ne sont peut-être pas suffisantes pour déstabiliser le modèle de référence.

3.3. Analyse des schémas.

L'analyse des schémas, décrits ci-dessous par la figure, est en adéquation avec la production de la chorégraphie des élèves. Le modèle de Bohr est bien représenté et comme aucune erreur n'est observée, nous sommes tentés de conclure qu'il semble stabilisé.

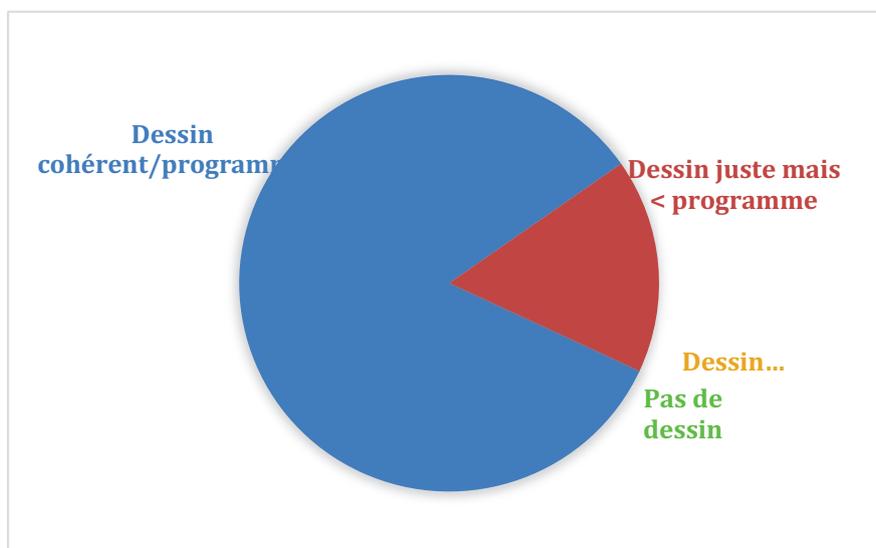


Figure 50. Représentation de l'atome par les première L expérimentation 1.

83% des élèves ont représenté l'atome en adéquation avec le niveau de leur classe. Ceci est également très encourageant. L'expérimentation prouve que la mise en place de la chorégraphie a permis de stabiliser en grande majorité le modèle de Bohr.

4. Conclusion de l'expérimentation 1.

Tous ces constats nous permettent de mieux cibler la construction de la pensée des élèves, sur le modèle de l'atome, après l'expérimentation. Nous avons été amenés à introduire des catégories intermédiaires dans les types de pensée, lorsque celle-ci n'est pas stabilisée. Nous définissons la pensée quasi par complexes, comme une pensée intermédiaire, entre la pensée par tas et la pensée par complexes. Elle signifie que l'élève utilise des signes (mots principalement) correspondant aux registres du savoir empirique et du savoir quotidien. De même, nous avons référencé, la pensée quasi par concepts qui se situe entre la pensée par complexes et la pensée par concepts, correspondant aux registres du savoir empirique et scientifique. Nous présentons ci-après le récapitulatif de nos résultats.

La figure ci-dessous présente les modes de pensée du groupe observé.

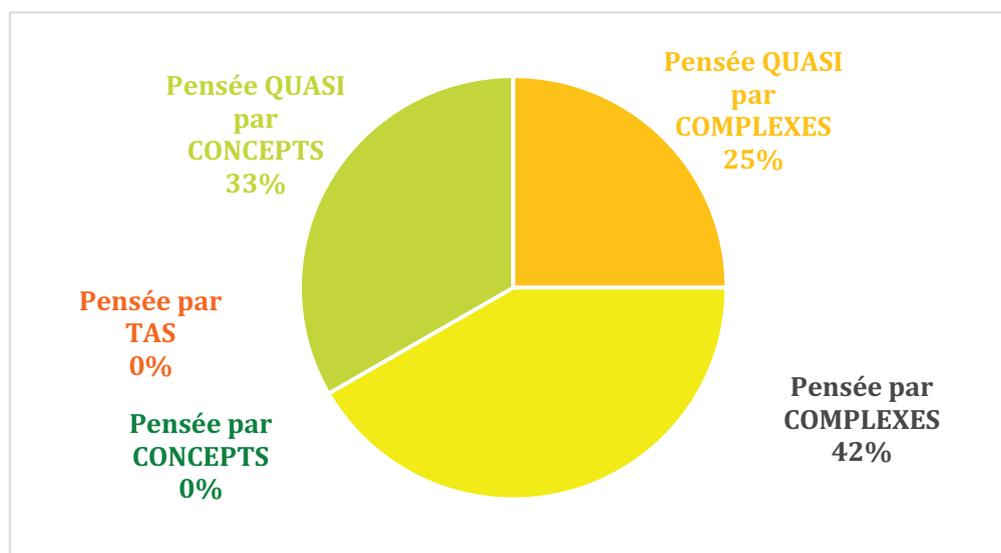


Figure 51. Récapitulatif des types de pensée des élèves après l’activité maîtresse expérimentation 1.

Au niveau de la première L, nous pourrions prétendre atteindre un mode de pensée par concepts. D’autant que les élèves se sont bien appropriés la problématique, ont participé activement à l’activité mise en place et étaient dotés de très bonnes connaissances et compétences en danse pour créer la chorégraphie. Nous voyons, qu’un tiers des élèves adoptent une pensée quasi par concepts. Les allers et retours dans la cognomorphose³⁵¹ sont prouvés par les vidéos qui montrent que, dans la zone de plus proche développement, les élèves collectivement, accèdent à une pensée par concepts. Puis, se retrouvant seuls, tous descendent de niveau de performance et ne sont plus capables de mener le même raisonnement. Cette scrutation prouve que l’activité maîtresse est bien choisie mais que le médiateur interne ne suffit pas. Une grande majorité des élèves (67%), se situent, soit dans la pensée par complexes, soit quasi par complexes. Rappelons que l’objectif de cette expérimentation, était de permettre aux élèves, d’accéder à la pensée par concepts. 33% sont sur le chemin mais les autres ne l’ont pas atteint, même dans la ZPPD.

Nous tirons, de cette expérimentation 1, les conclusions intermédiaires suivantes :

Le projet interdisciplinaire, proposé seul, a ses limites, il n’a pas suffi à atteindre l’objectif que nous nous étions fixés, à savoir la construction du mode de pensée par concepts pour la classe de première L considérée. L’activité maîtresse choisie est bien ciblée mais ne suffit pas à lever les conceptions. L’artefact et médiateur interne, l’atome, est défailant. Il nous faut avoir recours à un étayage selon Bruner.

Nous validons notre hypothèse de travail 2 : la construction du médiateur interne nécessite le recours d’un médiateur externe.

³⁵¹ Référence à notre modèle 3 de la cognogénèse et cognomorphose chapitre 8 paragraphe 1.

Leontiev précise qu'un médiateur externe est là pour aider à construire le médiateur interne, ceci pour des enfants en primaire (6 à 11 ans). Rencontrant les mêmes difficultés auprès d'élèves de lycée, nous proposons d'incrémenter le projet, d'un étayage qui devra faciliter la construction cognitive de l'élève et venir renforcer le médiateur interne qui est l'atome. Nous faisons l'hypothèse que les cartes conceptuelles élaborées dans notre cadre théorique viendront consolider le médiateur interne. Notre expérimentation 2 va tenter de le démontrer.

Chapitre 14 : création d'une séquence d'enseignement interdisciplinaire (EPS-SPC) sur le thème de l'atome en classe de seconde (option danse) avec comme médiateur externe les cartes conceptuelles.

Notre expérience test en première L nous a montré qu'un projet interdisciplinaire sans étayage n'était pas toujours suffisant pour engendrer une évolution rapide et conséquente de la construction cognitive des élèves. Les nouveaux programmes de collège (2016) proposent de construire ce type de projet³⁵² mais n'interpellent pas les enseignants sur cette difficulté. Nous proposons, de réitérer cette expérimentation en classe de seconde, cette fois en utilisant un médiateur externe, la carte conceptuelle³⁵³, lorsque nous observerons un besoin de l'élève dans la zone de plus proche développement. Notre objectif premier est d'aboutir, pour tous les élèves, à une pensée conceptuelle sur notre objet d'étude.

1. Présentation.

La mise en œuvre de cette chorégraphie sur le thème de l'atome s'est organisée de la manière suivante :

Préparation du projet	Octobre 2015 à Novembre 2015.
Période du projet	Décembre 2015 à Février 2016.
Enseignants concernés du lycée	2: EPS, SPC .
Classe	Seconde option danse.
Effectif	12 élèves filles.
Groupes	2.
Nombre de séances	7.
Durée de chaque séance	2H.
Moyenne de la classe en SPC /20	1 ^{er} trimestre 7, 5. 2 ^{ème} trimestre 8, 3.

Tableau 21. Récapitulatif de la mise en œuvre classe de seconde option danse expérimentation 2.

Le profil des élèves est différent de notre expérimentation précédente avec la 1^{ère} L. En effet, ces élèves débutent en danse et ont, de fait, très peu de connaissances dans la composition de chorégraphies. De plus le niveau en sciences physiques des élèves est faible. En revanche, les élèves sont motivés, puisque l'option danse n'est attribuée qu'à des élèves volontaires.

La construction d'un projet interdisciplinaire consiste, dans un premier lieu, à repérer entre les disciplines, les concepts communs, afin de mieux les construire ensemble.

³⁵² Création à la rentrée 2016 des EPI (Enseignement de Pratiques Interdisciplinaires) en collège.

³⁵³ Annexe 29. Carte conceptuelle sur le concept d'atome, classe de seconde. Elaborée au chapitre 9 paragraphe 8.

Partie 4 – Chapitre 14 : création d'une séquence d'enseignement interdisciplinaire
(EPS-SPC) sur le thème de l'atome en classe de seconde (option danse) avec
comme médiateur externe les cartes conceptuelles

1.1. Repérage des concepts communs.

Le tableau ci-après, recense les concepts communs EPS SPC utilisables dans le cadre de notre objet d'étude.

Concepts ³⁵⁴ en EPS	Concepts ³⁵⁵ en SPC	Exemples
La masse	La masse.	Le noyau de l'atome est la partie la plus dense.
La distance	Niveaux d'énergie. Forces. Accélération	Tous les électrons ne sont pas à la même distance du noyau.
L'espace	Le vide.	L'atome est constitué en grande partie de vide.
Le rythme	Vitesse.	La vitesse d'un électron par rapport aux autres particules.
L'énergie	Charges. Transformation chimique.	Le noyau est chargé positivement.

Tableau 22. Quelques concepts communs EPS SPC autour de l'atome.

1.2. Contenu de chaque séance.

Voici, ci-dessous, ses différentes étapes :

Séances	Présence	Contenu
Séance 1.	Enseignants EPS et SPC.	Présentation du projet et de notre recherche. Comment former une chorégraphie ? les gestes. Que pouvons dire sur l'atome ? quel modèle ?
Séance 2.	Enseignant SPC.	Apport du médiateur externe. Élaboration de cartes conceptuelles.
Séance 3.	Enseignant EPS et SPC.	Reprise de la chorégraphie avec la carte conceptuelle.
Séance supplémentaire vidéo.	Enseignant SPC.	Apport d'un deuxième médiateur externe : séance d'analyse des vidéos de la chorégraphie avec les élèves.
Séance 4.	Enseignant EPS et SPC.	Reprise de la construction de la chorégraphie avec l'aide des médiateurs externes.
Séance 5.	Enseignant EPS et SPC.	Mise en place définitive de la chorégraphie.
Séance 6.	Enseignant EPS et SPC.	Finalisation et présentation des productions. Évaluation commune SPC EPS.

Tableau 23. Déroulement des séances expérimentation 2.

³⁵⁴ Concept permettant l'analyse du mouvement en danse..

³⁵⁵ Utilisables sur le concept d'atome.

Par souci de simplification, nous nommerons cette séquence d'enseignement : expérimentation 2. A chaque séance, un concept commun EPS SPC est présenté et l'enseignant EPS apporte les gestes chorégraphiques s'y référant, dans la partie échauffement. Les élèves peuvent les reprendre dans leur chorégraphie, s'ils le jugent opportun.

1.3. Le corpus.

Le corpus est composé ainsi :

Le questionnaire général avant et après expérimentation.
Les questionnaires ³⁵⁶ donnés à chaque fin de séance (soient 7 séances).
Les enregistrements des échanges entre élèves lors des séances (durée = 6H 21mn.
Les cartes conceptuelles élaborées (seul et en groupe).
L'enregistrement de la séance de remédiation intitulée « <i>retour sur la vidéo de la chorégraphie</i> ».
La vidéo de la chorégraphie.

Tableau

Récapitulatif du corpus expérimentation 2.

24.

2. Résultats et analyse.

Notre analyse qualitative s'est effectuée de la même manière qu'aux chapitres 12 et 13, même si, nous avons dressé une analyse complète par élève. Après lecture des vidéos, nous avons créé un mini dossier pour chaque élève, dans la chronogénèse³⁵⁷ selon Sensevy, qui est composé :

- de l'analyse des questionnaires avant après l'expérimentation ;
- d'une liste chronologique des mots ou groupes de mots utilisés correspondant au registre institutionnel ou s'y rapprochant, lors des différentes séances ;
- d'une liste chronologique des obstacles de l'élève.

Nous allons reprendre les découpages de notre analyse qui sont répertoriés en trois niveaux à la granulométrie de plus en plus fine :

Le premier découpage concerne l'analyse du questionnaire général avant après, le deuxième porte sur l'analyse du discours dans les questionnaires et les vidéos de toute les séances (1 à 7) et le troisième découpage établit un bilan par élève, en retraçant la construction cognitive de l'élève sur le concept d'atome du début jusqu'à la fin de l'expérimentation. *Nous avons ainsi réalisé un dossier par élève reprenant tout le discours obtenu dans les différents découpages.*

2.1. Découpage 1 à l'échelle macroscopique.

Afin de répondre à notre question de recherche, nous avons choisi de nous intéresser uniquement aux questions 2 et 4. Nous avons comptabilisé et catégorisé tous les mots ou

³⁵⁶ Annexe 37. Questionnaires fin de séance expérimentation 2.

³⁵⁷ Sensevy (2011) p 68.

groupes de mots employés, conformes³⁵⁸ à notre objet d'étude, avant et après expérimentation ainsi que les erreurs³⁵⁹ rencontrées, dans les définitions ou les schémas. De la même manière, nous avons classé les schémas. Nos tableaux intermédiaires se trouvent en annexe³⁶⁰.

Nos résultats ci-dessous, sont peu significatifs et ne révèlent pas une augmentation notable du registre de mots utilisés mais préfigurent une évolution conséquente dans l'élaboration des modèles de l'atome.

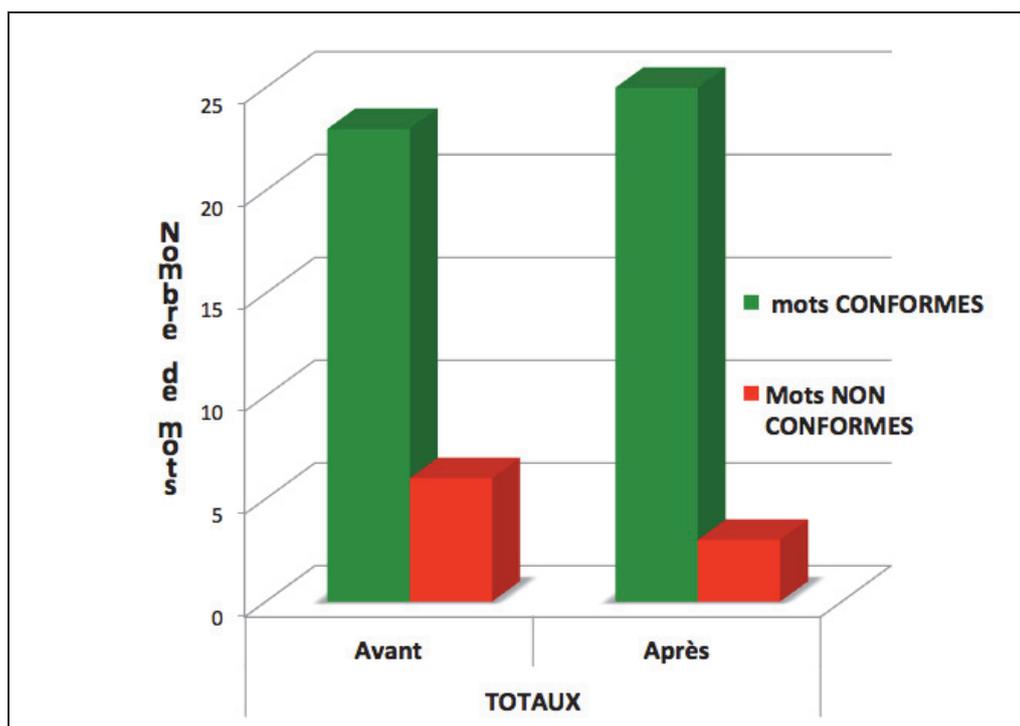


Figure 52. Bilan récapitulatif du vocabulaire utilisé et des erreurs avant après expérimentation 2.

10/12 élèves ont progressé. L'enrichissement du vocabulaire entre les deux questionnaires, n'est pas très éloquent mais il a le mérite d'être stabilisé. La réduction des erreurs est avérée puisque 75% des élèves restituent des définitions exemptes de fautes. Ce travail dans la ZPPD a permis de conforter l'existant et d'induire des futures transformations dans la cognomorphose.

Les cartes conceptuelles n'ont pas comblé toutes les lacunes dans le domaine du savoir empirique mais, elles ont permis de changer de registre, du savoir quotidien avec leurs conceptions, les élèves ont basculé au savoir empirique avec des représentations différentes. Ce travail montre l'importance du choix des activités maîtresses dans la ZPPD qui doit coïncider avec chaque élève, pour une progression assurée. Le faible niveau des élèves n'est pas, à première vue, un facteur bloquant dans la progression.

Nous avons relevé les deux plus importantes erreurs, elles sont décrites ci-dessous.

³⁵⁸ Correspondant aux définitions des instructions pédagogiques du collège et lycée, conféré *registre institutionnel* élaboré au chapitre 12.

³⁵⁹ Mot ne correspondant pas à la définition de l'atome ni au registre institutionnel élaboré au chapitre 12.

³⁶⁰ Annexe 38 ; Registre de mots par élève découpage 1 expérimentation 2 et récapitulatif des schémas par élève.

- La confusion entre le modèle et la chorégraphie. Cette erreur a certainement été encouragée, en début de projet, par l'enseignante d'EPS, qui a proposé aux élèves de se mettre dans « *la peau d'un électron ou d'un proton* ». De même, notre questionnaire interroge les élèves sur la vue synoptique de la chorégraphie sans précision. Les réponses des élèves recouvrent différents ordres et amalgament l'expérience, la réalité et le modèle de l'atome, ils ont ainsi retracé une situation avec des petits personnages adoptant une fonction dans le modèle de l'atome. Ne pouvant laisser de côté cette conception, nous avons sollicité le professeur de sciences physiques de la classe, afin qu'il rétablisse les statuts du modèle et de l'expérimentation et qu'il canalise son éclairage sur l'ambiguïté des termes *représentation et modèle* qui ne s'apparentent pas à la réalité³⁶¹.
- Des savoirs fragiles sur le « *fonctionnement interne* » de l'atome.

Les élèves se sont bien appropriés le contenu de l'atome comme le noyau constitué de protons et neutrons et les électrons qui gravitent autour, mais ne se représentent pas le positionnement des électrons en sous couches (correspondant au modèle de l'année scolaire), leurs probabilités de présence et/ou leurs déplacements de façon aléatoire. Les liens attendus pour former, par exemple, une transformation chimique sont de fait, inaccessibles.

Les réponses, à la question 4, augurent une évolution conséquente des schémas au cours de l'expérimentation. Nous l'attribuons au rapprochement institué par l'élève, entre la chorégraphie et le modèle. La transposition semble faciliter la modélisation. Ci-dessous, nous obtenons le pourcentage d'élèves dans les quatre registres.

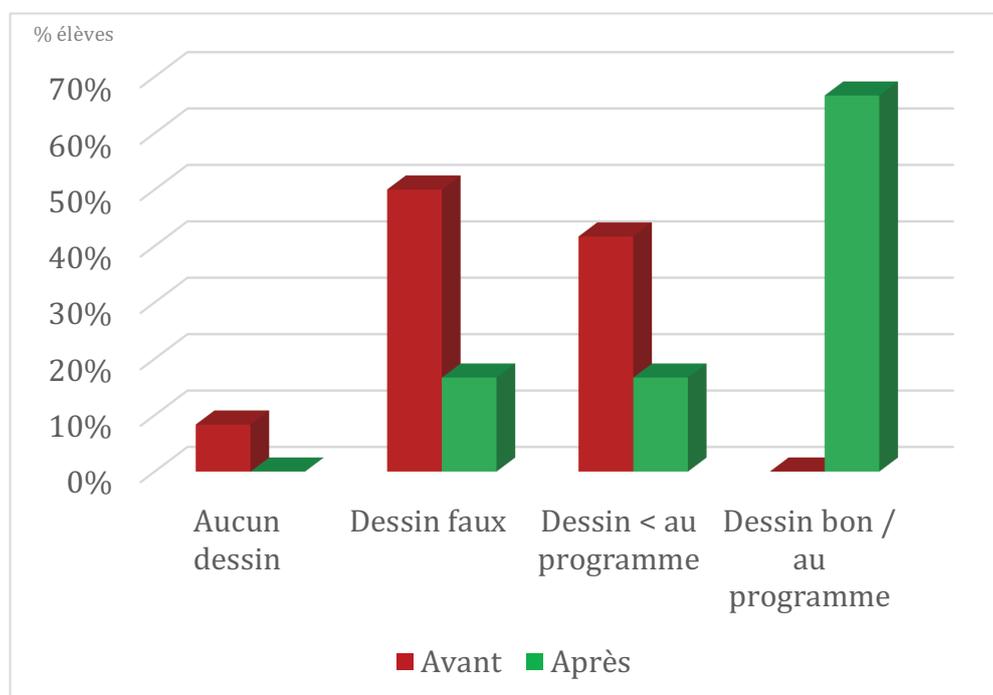


Figure 53. Progression des schémas des élèves dans le questionnaire général AVANT APRES expérimentation 2.

³⁶¹ Nous rejoignons Bachelard (1979) en parlant du modèle: « *Il représente non pas les propriétés du réel, mais seulement certaines propriétés* » p 9.

83% des élèves ont progressé durant cette expérimentation et 67% ont obtenu le niveau requis de leur classe. Tous réalisent une production sur le modèle et seulement 17% font encore des erreurs. Le fait de s'imaginer être un électron et de le faire « vivre » à travers la chorégraphie, apporte une nouvelle construction cognitive à l'élève et semble engendrer un caractère plus concret et une vision plus pragmatique du modèle de l'atome.

Les interactions entre pairs sont plus vives dans ce type de projet que dans la résolution d'un exercice classique. Des questionnements comme : « *un proton est-il statique ou bouge-t-il comme un électron, est-ce qu'il y a un sens au mouvement des électrons, quel modèle peut m'aider dans cette réflexion ?* » ont engagé des débats au sein des groupes.

Nous rejoignons Vygotski³⁶² qui explique : « *Prendre conscience d'une opération c'est en effet la faire passer du plan de l'action à celui du langage, et la réinventer en imagination pour pouvoir l'imprimer en mots...la prise de conscience de la ressemblance exige la formation d'une généralisation ou d'un concept primaire, englobant les objets qui ont entre eux ce rapport* »

Les mouvements incessants dans la ZPPD contribuent à la construction des différents rapports au monde et permet le passage d'un mode de pensée à l'autre.

2.2. Découpage 2 à l'échelle mésoscopique.

Nous ne présentons ci-dessous, qu'une vue synoptique des différents registres utilisés lors des différentes séances.

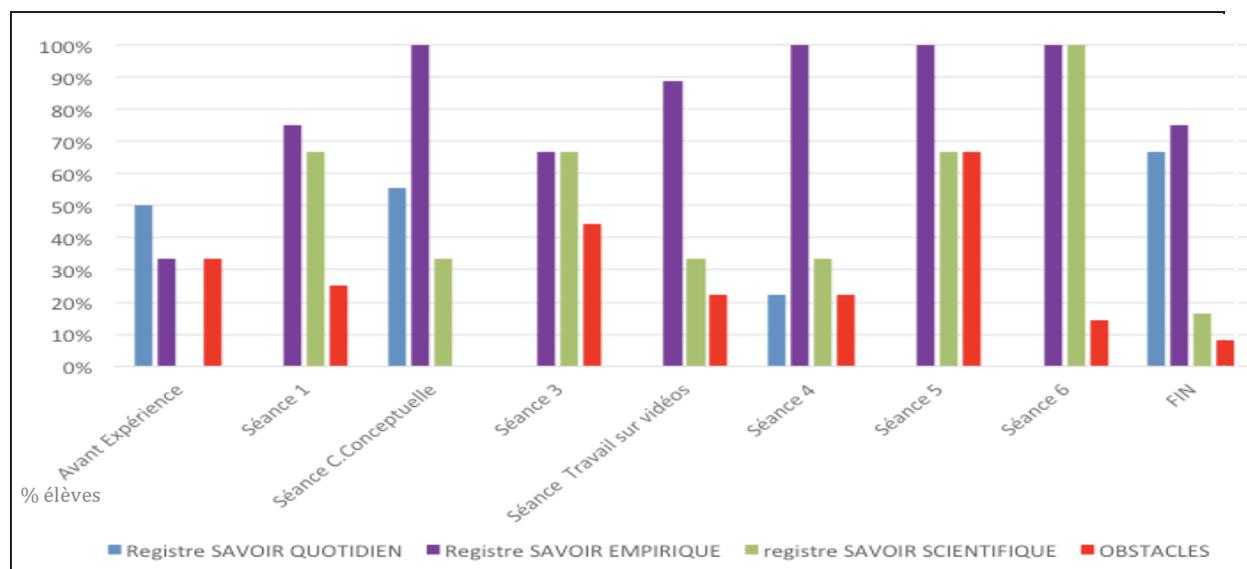


Figure 54. Registres utilisés dans le discours des élèves lors des différentes séances expérimentation 2.

En annexe³⁶³, sont référencés les tableaux des résultats. Les questionnaires de chaque séance ainsi que les vidéos ont été analysés. Pour chaque séance, nous avons récapitulé

³⁶² Vygotski (1997) p 303-304 cité par Vergnaud (2000) p 17.

³⁶³ Annexe 39. Résultats des élèves découpage 2 expérimentation 2.

Partie 4 – Chapitre 14 : création d’une séquence d’enseignement interdisciplinaire
(EPS-SPC) sur le thème de l’atome en classe de seconde (option danse) avec
comme médiateur externe les cartes conceptuelles

le discours³⁶⁴ de chaque élève et identifié dans quel(s) registre(s) il se situait. Un élève peut se retrouver dans deux registres à la fois, c’est pourquoi la somme des pourcentages n’est pas égale à 100.

Avant l’expérimentation, nous remarquons que les élèves utilisent deux registres, le savoir quotidien et empirique et un tiers des élèves font des erreurs sur l’objet d’étude. Pour chaque séance, nous avons inventorié les résultats obtenus, ci-dessous, en fonction des objectifs EPS et SPC fixés, suivis de notre interprétation :

Séance	Objectifs EPS	Objectifs SPC	Résultats
1	Apprentissage sur la création d’une chorégraphie ; Paramètres à mettre en place.	Comment décrire l’atome en danse et que représenter de l’atome ?	Disparition du registre <i>savoir quotidien</i> au profit du <i>savoir empirique</i> (75%) et du <i>savoir scientifique</i> (67%). Les auxiliaires modaux tels <i>pourrait, devrait</i> sont très employés.
Interprétation : Les élèves ont travaillé sur le modèle de l’atome de seconde d’où un registre du <i>savoir empirique</i> en augmentation. Le registre du <i>savoir scientifique</i> correspond au concept d’énergie que 67% des élèves représentent symboliquement dans la chorégraphie. Le niveau des élèves a bien évolué mais n’atteint pas le registre du <i>savoir scientifique</i> . Nous décidons de programmer la séance « <i>carte conceptuelle</i> ».			
2 ³⁶⁵	Pas d’enseignant	Apport du médiateur externe Élaborer des cartes conceptuelles.	Tous les élèves utilisent le registre du savoir empirique. 33% des élèves utilisent un registre supplémentaire celui du savoir scientifique du fait de l’approfondissement du concept. Le registre du savoir quotidien refait son apparition avec 56% des élèves. Ce n’est pas étonnant puisque nous leur demandons de reprendre leur raisonnement depuis le début.
Interprétation : Le médiateur externe est venu conforter la construction du médiateur interne dans le registre du savoir empirique, ce qui sous-tend une pensée par complexes pour l’ensemble des élèves après la séance 2. Les va-et-vient observés, entre les deux autres types, démontrent la légitimité de notre modèle 3 de la cognomorphose.			
3	Construire la chorégraphie avec des connaissances plus importantes en SPC.	Consolider les concepts apportés par la carte conceptuelle.	67% sont dans le registre des savoirs scientifique et empirique. Le registre du savoir quotidien a disparu. 44% des élèves font des erreurs.
Interprétation : Cette séance a permis de se rendre compte que certains élèves étaient en double tâche et que les difficultés étaient cumulées : les gestes en danse représentent un nouvel apprentissage et l’atome en SPC n’est pas conceptualisé. Cette double difficulté n’a pas permis d’atteindre nos objectifs, cependant des transformations s’opèrent et sont encourageantes.			

³⁶⁴ Nous entendons par *discours* toutes formes de langage : mots et schémas dans le questionnaire mais aussi les symboles et gestes dans la chorégraphie.

³⁶⁵ Annexe 40. Description de la séance et production des élèves séance 2 expérimentation 2. Exemples de cartes conceptuelles produites.

Partie 4 – Chapitre 14 : création d’une séquence d’enseignement interdisciplinaire
(EPS-SPC) sur le thème de l’atome en classe de seconde (option danse) avec
comme médiateur externe les cartes conceptuelles

Nous rejoignons Vygotski qui nous précise que nous ne pouvons travailler en dehors de la ZPPD. Un étayage supplémentaire est nécessaire.			
Séance vidéo	Pas d’enseignant.	Étayage de l’activité maîtresse : analyser les erreurs scientifiques en observant les vidéos.	89% des élèves emploient un registre du savoir empirique et 33% un registre du savoir scientifique.
Interprétation : Partant du fait « <i>qu’une notion est toujours enracinée dans son contexte social</i> » ³⁶⁶ , il nous a fallu décontextualiser l’objet considéré pour qu’un nouvel aspect du concept soit traité. Nous sommes revenus sur les gestes chorégraphiques, afin d’identifier les erreurs, les choix et supprimer l’effet double tâche. La grande progression des élèves prouve que l’étayage était en adéquation avec les possibilités cognitives de l’élève. Il en suit que l’activité a bien respecté la ZPPD.			
4	Ajuster la chorégraphie avec les corrections que les élèves apportent	Consolider l’étayage.	Peu de changement : 100% des élèves sont dans le registre du savoir empirique. 22% reviennent également dans le registre de savoir quotidien. Les auxiliaires modaux sont très employés, les élèves semblent s’élever peu à peu vers une pensée conceptuelle.
Interprétation : La correction de certains gestes chorégraphiques oblige certains élèves à débiter, de nouveau, un raisonnement relatif à la pensée par tas. En fin de séance, tous les élèves adoptent le second registre qui laisse présager que la pensée par complexes se construit.			
5	Répétition de la chorégraphie. Ajustement. Coordination au sein des deux groupes.	Consolider l’étayage.	On note une bonne progression des élèves. Le vocabulaire des élèves se stabilise dans le registre du savoir empirique. L’observation des 67% d’élèves, dans le registre du savoir scientifique, est à rapprocher de l’augmentation des erreurs.
Interprétation : Le changement de rapport au monde est un grand progrès mais il engendre de nombreuses erreurs dans les interactions entre pairs. La façon de transposer une transformation chimique en gestes chorégraphiques a questionné les élèves et transformé des conceptions bien établies ; c’est ainsi que nous observons les allers-retours entre les deux registres.			
6	Présentation et évaluation ³⁶⁷ de la chorégraphie		Les deux chorégraphies présentées sont justes d’un point de vue scientifique. Les partis pris choisis par les élèves sont justifiés.
Interprétation : Nous remarquons une nette avancée dans la cognomorphose, les élèves, ensemble, se rapprochent d’une pensée conceptuelle. En effet ils établissent des liens sur le concept d’énergie, sur la formation des molécules et sur les changements d’état de la matière.			

³⁶⁶ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 116.

³⁶⁷ Annexe 41. Grille d’évaluation de l’enseignante EPS et notes de l’enseignante EPS expérimentation 2.

La chorégraphie s'achève sur la formation de l'ADN. Les questionnaires avant après, ne sont pas le reflet de cette progression et montrent que l'élève seul, le plus souvent, redescend à une pensée par complexes. La construction cognitive n'est donc pas achevée. Nous démontrons que l'analyse des questionnaires avant après ne permet pas de rendre compte parfaitement de la construction cognitive de l'élève et qu'il est indispensable d'adopter ici la notion *d'évaluation dynamique* de Vygotski qui rend compte d'une *phase interpsychique* où les interactions structurent la pensée dans l'espace social de la classe et d'une *phase intrapsychique* où l'élève incorpore les instruments psychologiques (le concept d'atome) par la mise en jeu symbolique (le discours) de l'artefact (l'atome). La phase *interpsychique* présage de l'avenir et permet d'estimer ce que deviendra l'élève.

Tableau 25. Analyse découpage 2 expérimentation 2.

Nous avons référencé durant les séances, toutes les erreurs des élèves. Le récapitulatif figure ci-dessous.

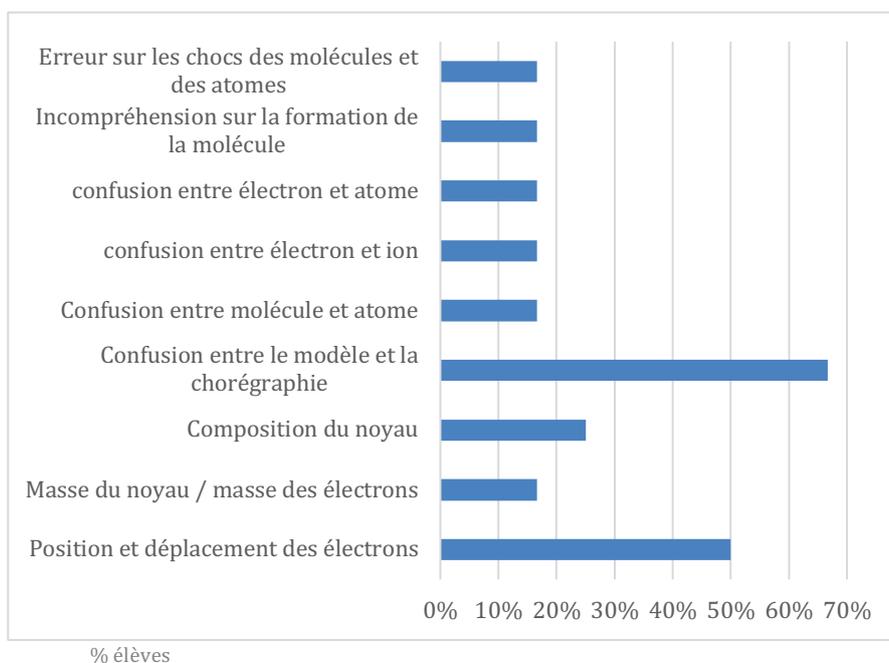


Figure 55. Les obstacles relevés au cours des séances expérimentation 2.

Nous ne reviendrons pas sur la confusion entre modèle et chorégraphie interprétée au paragraphe 2.1 de ce chapitre. Les difficultés ont eu des répercussions instantanées dans la mise en place de la chorégraphie. La confusion entre électron et atome, entre molécule et atome, entre électron et ion, ainsi que l'absence de connaissances sur la composition du noyau, ont différé la construction du concept de l'atome chez les élèves. 17% des élèves n'avaient aucune idée de l'ordre de grandeur des masses du noyau et des électrons. La notion d'espace a donc été très discutée. « *Qui est plus dense que...? Je suis proton, est-ce-que je prends plus de place que l'électron ...* » De même, les notions de probabilité de présence et vitesse d'un électron ont, dans 50% des cas, été explicitées afin que chaque groupe puisse les retranscrire. Tant que ces obstacles n'ont pas été surmontés, l'élève est resté dans une pensée par tas ou par complexes.

2.3. Découpage 3 à l'échelle microscopique.

Dans le souci d'une bonne et rapide lisibilité, nous avons utilisé un code couleur afin de rendre compte des types de pensée. Le code plus ou moins grisé viendra compléter notre analyse puisqu'il souligne les absences des élèves. Les états sont explicités ci-dessous :

- L'état initial reflète le type de pensée des élèves dans le questionnaire général donné en amont de l'expérimentation.
- L'état intermédiaire reflète le type de pensée provenant des échanges et des questionnaires en fin de séances.
- L'état final reflète le type de pensée dans le questionnaire général en fin d'expérimentation.

Nous avons, à partir des questionnaires avant et après, dresser une vue synoptique du profil cognitif de chaque élève sur le concept d'atome durant cette expérimentation.

	Etat/nom	ABSENCES	Initial	Intermédiaire	Final
1	Lison			←→	
2	Imane			←→	
3	Agathe			←→	
4	Ange			←→	
5	Ines			←→	
6	Anaïs			←→	
7	Donya			←→	
8	Manon				
9	Maïssa			←→	
10	Leïlou			←→	
11	Camille			←→	
12	Salomé			←→	
Pensée par TAS					
Pensée par COMPLEXES					
Pensée par CONCEPTS					
Pensée quasi par COMPLEXES					
Pas d'absence					
Absence 1 - 2 jours					
Absence 3 jours et +					

Figure 56. Évolution des types de pensée par élève expérimentation 2.

A la fin de la séquence d'enseignement, la plupart des élèves sont dans une pensée par complexes, deux élèves ont atteint une pensée conceptuelle. Les élèves Donya et Salomé basculent alternativement de la pensée par tas à la pensée par complexes. Nous les avons classés dans la catégorie pensée quasi par complexes. Il nous a semblé intéressant de rapprocher ces résultats aux nombres de jours d'absence. Ils ne sont pas sans conséquence sur

l'état final. Le codage, plus ou moins grisées dans la colonne 3, montrent que la progression n'a pas toujours lieu, si les absences sont répétées. Les élèves en difficulté restent toujours les plus touchés. Globalement, nous observons une progression satisfaisante. En début d'expérimentation, la majorité des élèves détient une pensée par tas qui va évoluer en pensée par complexes, en fin d'expérimentation. Si nous rapprochons ces résultats de notre étude générale au chapitre 12, nous pourrions être déçus, puisque le niveau général atteint correspond à des élèves de seconde. Cependant, la classe concernée est en grande difficulté aussi bien en SPC qu'en EPS. La réussite de cette recherche ne réside pas uniquement en la mesure entre l'état initial et l'état final, mais est renforcée par le niveau atteint par les élèves, lors des interactions avec leurs pairs. Huit élèves sur douze ont atteint dans la cognomorphose, le registre du savoir scientifique, deux l'ont conservé en fin d'expérimentation mais, nous référant à Vygotski, nous augurons que les six autres élèves accéderont à celui-ci un jour. Cette mesure a permis d'identifier à la fois, les niveaux de savoir autour d'un concept et le potentiel disponible de l'élève et ainsi d'augurer ses compétences futures.

3. Conclusion de l'expérimentation 2.

Nous avons pu développer dans la ZPPD avec différents médiateurs externes, les fonctions psychiques supérieures des élèves. Le but était d'aboutir à un mode d'organisation pour chaque individu et que l'action *interpsychique* observée devienne *intrapsychique*, en utilisant la méthode d'étayage selon Bruner. Les élèves ont développé des actions qui leur ont permis de dégager dans le matériel étudié, le principe substantiel de l'objet proposé et de le reproduire en modèle. L'enseignant s'est chargé d'accompagner l'élève dans la ZPPD, dans le but d'établir des liens entre le monde macroscopique et microscopique, plus spécifiquement il a outillé la pensée intérieure et instrumentaliser la pensée verbale de l'élève lors de l'élaboration de la chorégraphie. Les premières observations aboutissent à quelques éléments de discussion que nous expliciterons dans notre discussion générale. Néanmoins il semble que le médiateur externe choisi, la carte conceptuelle remplisse pleinement son rôle et permette la transformation des structures cognitives de l'élève de façon significative.

Une seule expérimentation nous paraît insuffisante pour tirer des conclusions généralisables. Nous soumettons ci-dessous une autre expérimentation qui change de contexte puisqu'il s'agit d'une classe de troisième de collège. Le niveau de classe n'est pas choisi au hasard, il répond à un commentaire initié lors de l'analyse du questionnaire général au chapitre 12.

Chapitre 15 : création d'une séquence d'enseignement interdisciplinaire (EPS- SPC) sur le thème de l'atome en classe de troisième (cycle danse) avec comme médiateur externe les cartes conceptuelles.

Nous désignerons cette expérimentation par expérimentation 3.

Nous souhaitons avec celle-ci poursuivre notre démonstration, quant au bien-fondé d'utiliser des médiateurs externes en collège qui viennent asseoir le statut du médiateur interne, et plus spécifiquement, nous augurons que la construction d'une carte conceptuelle sur l'objet concerné, aboutira au développement des fonctions psychiques supérieures. Les objectifs et le cadre de l'expérimentation 2 et 3 sont analogues.

1. Présentation.

La mise en œuvre de cette chorégraphie sur le thème de l'atome s'est organisée de la manière suivante :

Préparation du projet	Septembre 15 à Décembre 15.
Période du projet	Mars 2016 à mai 2016.
Enseignants concernés du lycée	2 : EPS, SPC .
Classe	Troisième cycle danse.
Effectif	28 (18 filles, 12 garçons).
Groupes	6.
Nombre de séances	6.
Durée de chaque séance	1H30.
Moyenne de la classe en SPC /20	1 ^{er} Trimestre 13,03 - 2 ^{ème} T : 14,25 - 3 ^{ème} T : 15,08.

Tableau 26. Récapitulatif de la mise en œuvre classe de troisième cycle danse expérimentation 3.

Le profil des élèves est différent de notre précédente expérimentation, en effet nous observons une classe :

- De très bon niveau en sciences physiques.
- Débutant en danse.
- Ne reflétant pas ou peu de motivation (surtout les garçons) pour ce cycle danse obligatoire.

Les concepts communs EPS SPC étudiés sont identiques à l'expérimentation précédente.

1.1. Contenu de chaque séance.

Voici les différentes étapes du projet :

Séances	Présence	Contenu
Séance 1	Enseignants EPS et SPC	Présentation de notre recherche et du projet. Distribution d’une « feuille de route ³⁶⁸ » par l’enseignant EPS.
Séance Cartes conceptuelles	Enseignant SPC	Apport du médiateur externe. Élaboration de cartes conceptuelles en groupe.
Séance 2	Enseignant EPS	Construction de la chorégraphie
Séance 3 et 4	Enseignant EPS et SPC	Ajustement de la chorégraphie.
Séance 5	Enseignant EPS et SPC	Finalisation et présentation des 6 groupes. Évaluation commune SPC EPS.

Tableau 27. Déroulement des séances expérimentation 3.

Chaque séance EPS débute par une partie échauffement, dans laquelle un nouveau geste en danse est présenté. Ainsi au fur et à mesure les élèves peuvent, s’ils le jugent opportun, ajouter un élément dans leur chorégraphie.

1.2. Le corpus.

Il est composé de :

Le questionnaire ³⁶⁹ général avant et après expérimentation.
Les questionnaires ³⁷⁰ donnés à chaque fin de séance (soient 6 séances).
Les enregistrements des échanges entre élèves lors des séances (durée = 2H 47mn).
Les cartes conceptuelles élaborées ³⁷¹ (seul et en groupe).
La vidéo de la chorégraphie élaborée.

Tableau 28. Récapitulatif du corpus expérimentation 3.

³⁶⁸ Annexe 42. Feuille de route pour les groupes d’élèves de 3^{ème} expérimentation 3 ; celle-ci retrace les intentions des différents groupes durant les premières séances et est complétée lors des premières séances.

³⁶⁹ Annexe 43. Questionnaire général avant après expérimentation 3 avec ajout du modèle de Dalton.

³⁷⁰ Annexe 44. Questionnaires à chaque fin de séance expérimentation 3.

³⁷¹ Annexe 45. Exemples de cartes conceptuelles réalisées par les élèves expérimentation 3.

L'effectif important de la classe nous a contraint à filmer les groupes successivement, chacun relatant sa procédure et exprimant ses difficultés. Tous les questionnaires sont en revanche restés individuels, permettant ainsi d'identifier l'évolution des niveaux de savoir et de suivre la transformation *interpsychique* en *intrapyschique* des fonctions supérieures.

2. Résultats et analyse.

Même si nos marqueurs langagiers ciblent chaque individu, notre analyse reste qualitative. Notre échantillon nous permet d'approcher la construction cognitive au cours de l'apprentissage avant et après l'apport de la carte conceptuelle. Nous avons ainsi dépouillé :

- les questionnaires avant après l'expérimentation ;
- la feuille de route de l'enseignant EPS ;
- les questionnaires après chaque séance et les vidéos sont venus compléter nos incertitudes dans les écrits.

Pour chaque séance, nous avons parcouru le discours de chaque élève en recueillant tous les mots ou groupes de mots, employés par les élèves, sur le concept d'atome ainsi que les schémas et modèles s'y référant. Les découpages de notre analyse sont répertoriés en trois niveaux, à la granulométrie de plus en plus fine : le premier découpage concerne l'analyse du questionnaire général avant après, le deuxième découpage porte sur les questionnaires et les vidéos de toutes les séances (1 à 5) et le troisième découpage établit un bilan qui retrace la construction cognitive de l'élève sur le concept d'atome, durant cette expérimentation et en particulier, les transformations dans la cognomorphose et la cognogénèse.

2.1. Découpage 1 à l'échelle macroscopique.

Suite aux difficultés rencontrées lors de l'expérimentation 2 (le regroupement, dans les deux registres conformes et non conformes, nous a semblé trop restrictif), il nous a paru plus pertinent de catégoriser le vocabulaire recueilli dans les 2 questionnaires (avant après), directement dans les trois registres de référence : savoir quotidien, savoir empirique et savoir scientifique. La reconnaissance des erreurs s'est effectuée comme l'expérimentation 2.

Ci-dessous la figure rend compte du pourcentage des élèves, ayant utilisé les trois registres avant et après, l'expérimentation 3.

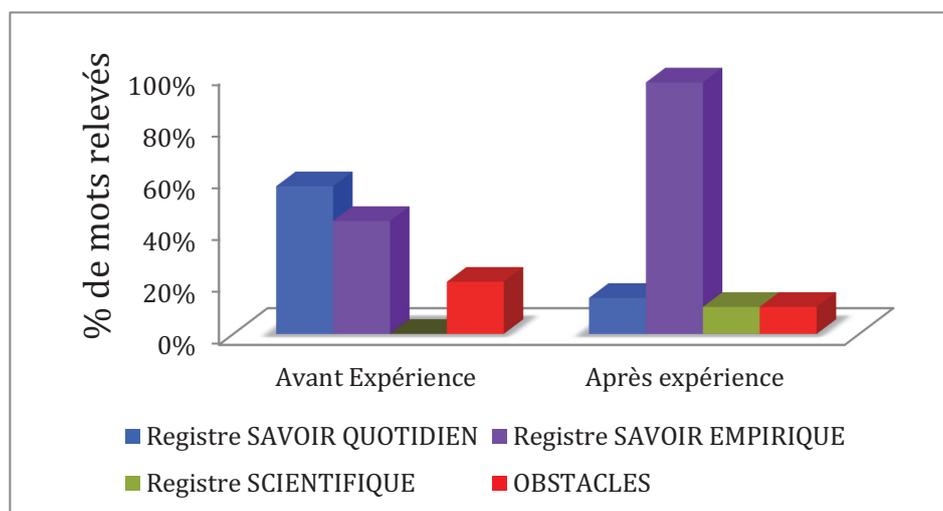


Figure 57. Récapitulatif des registres utilisés avant après expérimentation 3.

Avant expérience, le discours est réparti dans les registres savoir quotidien et savoir empirique, au fur et à mesure, les élèves adoptent majoritairement un discours appartenant au savoir empirique. La qualité et la quantité du vocabulaire employé, nous ont surpris et dénotent un développement cognitif supérieur aux résultats de l’enquête générale du chapitre 12. Ces résultats sont très encourageants. La figure ci-dessous traduit les erreurs persistantes qui appartiennent au registre du savoir quotidien. Le faible pourcentage augure une grande stabilité dans les types de pensée concernés et prouve que le rapport au monde est installé. Les interactions vives amènent les élèves à modifier leur discours, leur chorégraphie et les choix qu’ils souhaitent incrémenter. C’est delà que les erreurs jaillissent ou disparaissent.

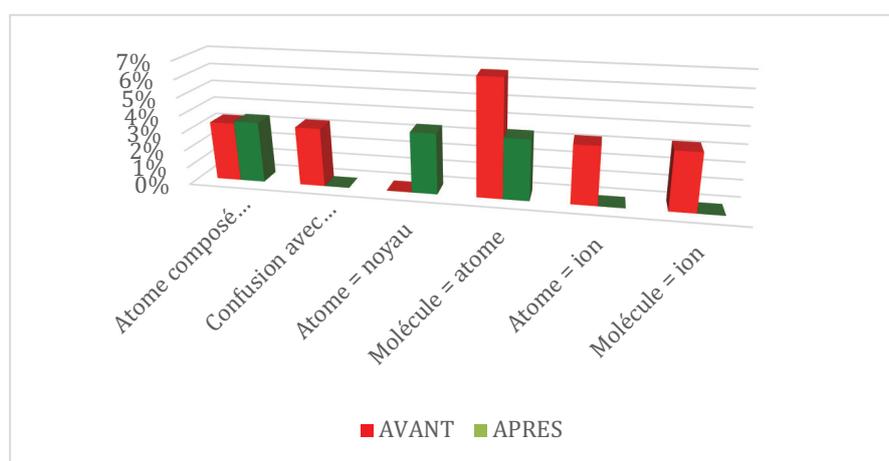


Figure 58. Erreurs citées dans le questionnaire général avant et après expérimentation 3.

La figure ci-dessous retrace l’exploitation des schémas, la progression significative des élèves est bien en adéquation avec les résultats précédents.

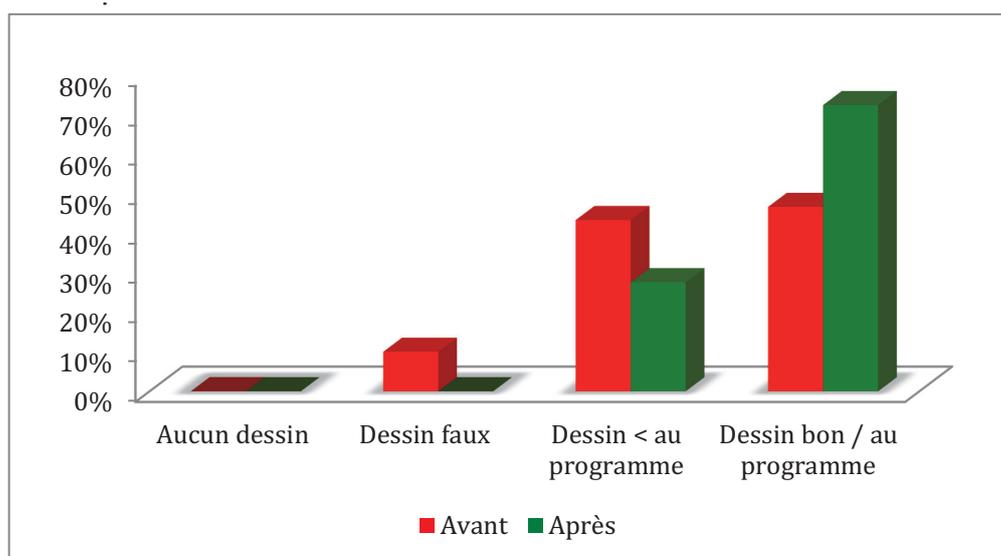


Figure 59. Évolution des schémas avant et après expérimentation classe de troisième expérimentation 3.

Après l’expérimentation, 100% des schémas représentent l’atome sans erreur et 72% correspondent à la demande institutionnelle. Devant une telle progression dans le discours, nous avons élargi notre analyse en incrémentant le nom des modèles restitué en question 3, les résultats ci-dessous témoignent également d’une forte progression.

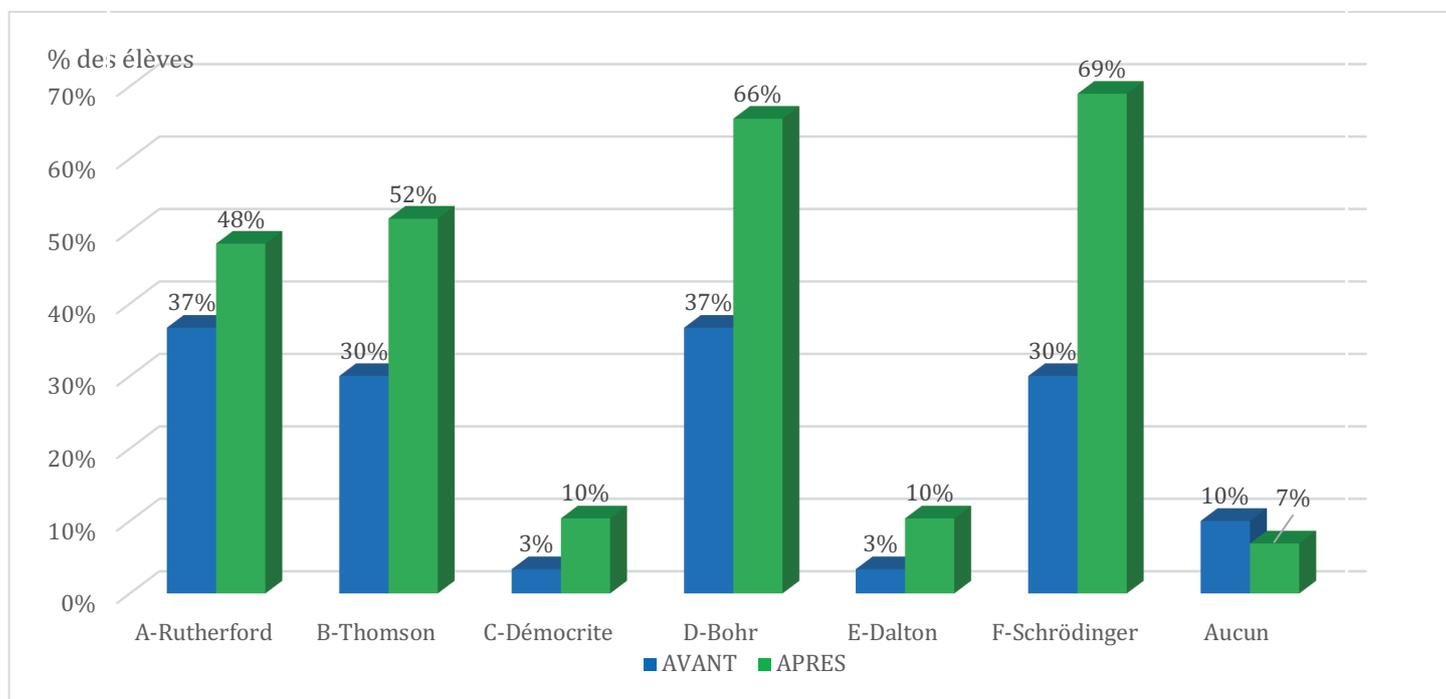


Figure 60. Choix du modèle avant après expérimentation classe de 3^{ème} expérimentation 3.

Le tableau ci-dessous résume les modèles utilisés à partir de la 3^{ème}.

classe	Modèle utilisé
3 ^{ème}	Rutherford
Seconde	Bohr
Première et Terminale S	Schrödinger

Tableau 29. Modèles utilisés à partir de la 3^{ème}.

Les élèves ont dépassé le niveau requis de la classe de troisième puisqu’ils sont 69% à proposer le modèle de Schrödinger. L’étayage, suivi des interactions, dans la ZPPD ont rempli leurs rôles respectifs en construisant le médiateur interne bien au-delà de nos espérances. Notre analyse rejoint la remarque de Vygotski qui postule que « le développement n’est pas subordonné au programme scolaire³⁷² ». Dans notre contexte, celui-ci a puisé son origine au sein du milieu culturel des différents groupes et les fonctions psychiques supérieures ont pu se développer par le guidage de l’enseignant qui a joué un rôle essentiel.

³⁷² Vygotski (1997) p 348 349.

2.2. Découpage 2 à l’échelle mésoscopique.

Nous ne présentons ici qu’une vue synoptique des registres utilisés par les élèves lors des différentes séances. Cependant, nous avons répertorié en annexe³⁷³ tous nos tableaux de résultats de chacune des séances. Les élèves pouvant être dans plusieurs registres à la fois, nos pourcentages ne totalisent pas 100 %.

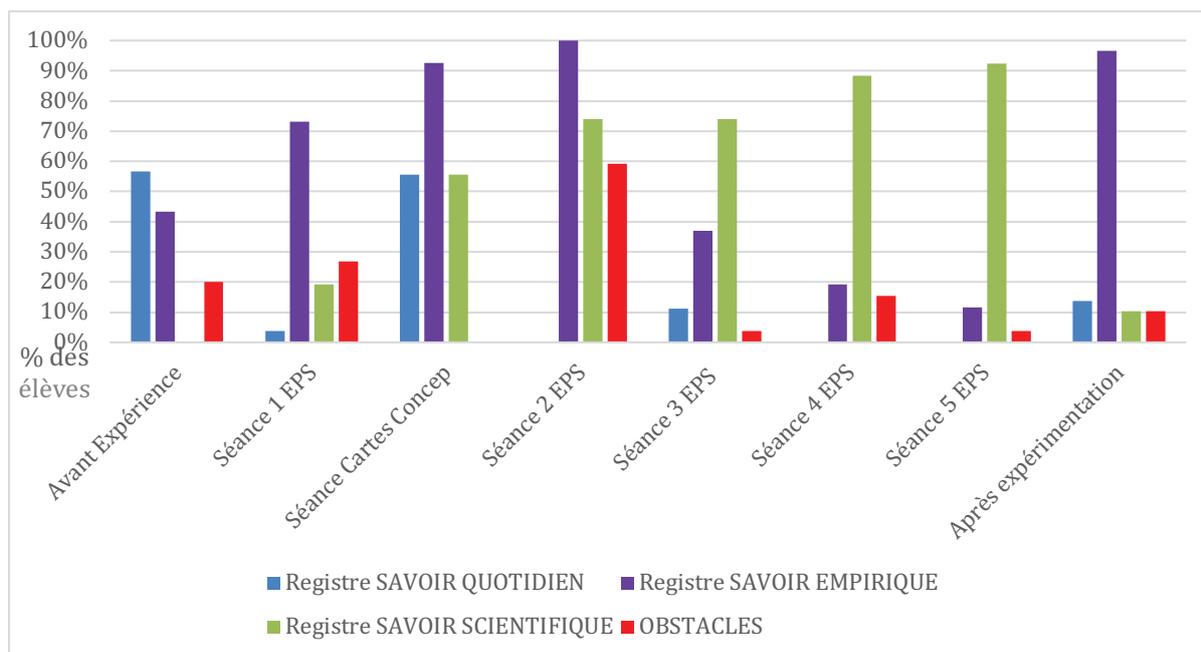


Figure 61. Registres utilisés dans le discours des élèves lors des séances expérimentation 3.

Nous avons dressé un récapitulatif des objectifs des différentes disciplines, incrémentés des résultats obtenus ci-dessus et de notre interprétation. Lors de la première séance, l’enseignant EPS a inséré dans sa feuille de route, sans nous en parler, les notions de fission et fusion nucléaire, notions dont la signification est approximative pour des élèves de 3^{ème}. Nous avons évoqué, lors des entretiens avec l’enseignant, l’introduction de ces deux concepts, seulement en milieu de parcours. Nous avons dû nous adapter à cette nouvelle situation.

³⁷³ Annexe 46. Résultats des différentes séances expérimentation 3.

Partie 4 – Chapitre 15 : création d’une séquence d’enseignement interdisciplinaire
sur le thème de l’atome en classe de troisième avec un médiateur externe

Ci-dessous le tableau récapitule l’analyse de notre découpage 3 pour cette expérimentation.

Séance	Objectifs EPS	Objectifs SPC	Résultats
1 EPS	Feuille de route distribuée.	Comment décrire l’atome en danse et que représenter de l’atome ?	Baisse significative du registre du savoir quotidien au profit du savoir empirique (73%). Registre du savoir scientifique en hausse (19%). Les auxiliaires modaux tels <i>pourrait, devrait</i> sont très employés.
<p>Interprétation : Les élèves ont travaillé sur le modèle de l’atome de seconde d’où un registre du savoir empirique en hausse. Les élèves abandonnent leurs conceptions initiales pour atteindre un nouveau rapport au monde correspondant au registre du savoir empirique. 20% des élèves s’approprient les concepts de fission et fusion, introduits par l’enseignant EPS et de fait, basculent dans le registre du savoir scientifique. Les auxiliaires modaux montrent leurs hésitations et de fait le passage d’un registre à l’autre.³⁷⁴</p>			
1 SPC	Pas d’enseignant.	Apport du médiateur externe. Élaborer des cartes conceptuelles avec notre aide et celle de l’enseignant SPC.	93% élèves utilisent le registre du savoir empirique et 56% le registre du savoir scientifique. Le registre du savoir quotidien est en augmentation.
<p>Interprétation : Le médiateur externe déstabilise les conceptions erronées et les élèves alternent dans les trois registres ; notre modèle 3 est encore une fois conforté, avec les allers-retours, dans les différents types de pensée. Selon Vygotski, langage et pensée se construisent. En effet, « <i>en se transformant en langage, la pensée se réorganise et se modifie</i>³⁷⁵ ». Le langage des élèves est modifié, leur vocabulaire se transforme au fur et à mesure et ainsi les fonctions psychiques supérieures se développent. La construction cognitive de chaque élève s’opère.</p>			
2 EPS	Construire la chorégraphie avec des connaissances plus importantes en SPC.	Consolider les concepts apportés par la carte conceptuelle.	74% des élèves sont dans le registre du savoir scientifique et 100% dans le registre du savoir empirique. Le registre du savoir quotidien a disparu. 59% des élèves font des erreurs.
<p>Interprétation : L’apport de la carte conceptuelle renforce les deux registres du savoir empirique et scientifique, ce qui est très encourageant. Nous pourrions nous étonner du pourcentage si important d’erreurs. Il est lié, en grande partie, à la confusion entre fission et fusion nucléaire³⁷⁶. La carte conceptuelle des élèves ne contenait pas ces termes. Cette constatation nous a contraint de mieux renseigner les élèves sur ces deux concepts, d’autant que des élèves bien avancés, ont débattu sur le projet ITER. Un apport, écrit et oral a été initiés à la séance suivante.</p>			

³⁷⁴ Pour une meilleure lisibilité ce tableau est coupé et est poursuivi sur la page suivante.

³⁷⁵ Vygotski (1997) p 431.

³⁷⁶ Les erreurs des élèves durant les séances expérimentation 3 ont été indexés dans l’annexe 46 avec les résultats de l’expérimentation.

3 EPS	Ajuster la chorégraphie avec les corrections que les élèves apportent.	Apport théorique sur fission et fusion. Consolider l’étayage.	Nous observons une baisse notable du registre du Savoir empirique (37%) au profit du savoir scientifique (74%). Le registre du savoir quotidien est faible. Le pourcentage des erreurs a bien diminué du fait de l’apport théorique sur les 2 concepts.
<p>Interprétation : L’étayage a conforté le registre du savoir scientifique. Nous pourrions être étonnés de retrouver le registre du savoir quotidien, mais, en le rapprochant du pourcentage d’erreurs en baisse, nous formulons les hypothèses suivantes : soit, les élèves basculent dans ce registre par facilité s’assurant ainsi un écrit sans erreur ou bien, n’ayant pas en totalité intégré le concept étudié, ceux-ci reviennent aux conceptions d’origine.</p> <p>L’avantage, de pouvoir identifier ces élèves dans la ZPPD, nous a permis de recourir à un étayage supplémentaire. L’enseignante de SPC a décidé d’approfondir ces deux notions dans son cours.</p>			
4 EPS	Ajustement dans la chorégraphie. Demande de prise en compte de l’imaginaire dans la chorégraphie	Vérification du modèle choisi dans la chorégraphie.	Les ajustements permettent aux élèves d’un même groupe de stabiliser leurs conceptions. Le registre du savoir quotidien (11% à la séance précédente) disparaît de nouveau au profit de l’empirique voire du scientifique. Le registre du savoir scientifique (89%) reste très employé. Les erreurs (15%) sont liées principalement à la confusion neutrons électrons.
<p>Interprétation : Dans la cognomorphose, nous remarquons une nouvelle fois cet effet d’alternance entre les différents registres. L’objectif développé par les enseignants est une variable qui va engranger ou pas, ces allers-retours dans la cognomorphose et la cognogénèse. En effet, un nouveau concept, ou simplement un nouveau geste en chorégraphie oblige l’élève à utiliser les trois registres successivement. Au fur et à mesure, il se détache des médiateurs externes au profit du médiateur interne qui se consolide au cours des séances. La pensée se construit lorsque que le registre du discours devient différent. Le registre du savoir scientifique est le but ultime.</p>			

<p>5 EPS</p>	<p>Présentation et évaluation ³⁷⁷ de la chorégraphie. L’enseignant EPS n’a pas souhaité prendre en compte le critère scientifique de la chorégraphie.</p>	<p>Nous observons que tous les groupes présentent leurs chorégraphies en respectant le modèle choisi. Les partis pris choisis par les élèves sont justifiés. L’enseignant EPS est plus mitigé quant à la qualité artistique des productions³⁷⁸.</p>
<p>Interprétation : Les élèves, avec un bon niveau scientifique, ont montré un investissement important dans ce projet et les résultats sur les changements de registres sont encourageants. Nous démontrons que les cartes conceptuelles ont permis dans la ZPPD une réelle transformation des schèmes. Nous prouvons que l’élève, quel que soit son niveau, utilisera plus ou moins des médiateurs externes. Notre expérimentation a permis de dépasser le mode de cognition dit <i>général</i>³⁷⁹ correspondant au niveau de classe des élèves, de fait nous démontrons que c’est bien le développement culturel qui précède et tire le développement biologique, théorie de Vygotski, et non celle de Piaget qui renvoie le développement culturel au second plan. Nous montrons que chaque élève, dont l’élève particulier, progresse. Nous décelons l’impact des contenus d’enseignement dans sa spécificité en particulier, pour les élèves dont l’école reste le lieu privilégié de la culture.</p>		

Tableau 30. Analyse découpée 2 classe de troisième expérimentation 3.

L’analyse des erreurs sur les vidéos témoigne que les élèves ne se retrouvent plus dans une double tâche comme dans l’expérimentation 2. Cette condition est essentielle quant à la réussite de la mise en place de cette expérimentation. Nous préconisons, qu’elle soit intégrée dans le cahier des charges des EPI³⁸⁰, dans le cadre de la nouvelle réforme du collège. Nous récapitulons ci-après les erreurs rencontrées lors de chaque séance. La séance *carte conceptuelle*, située entre les séances 1 et 2, n’est pas incluse puisque considérée comme une séance de remédiation. Chaque erreur observée, appartient au registre du savoir quotidien et de fait correspond à une pensée par tas.

³⁷⁷ Annexe 47. Grille d’évaluation de l’enseignant EPS.

³⁷⁸ Notons que ces élèves débutent le cycle danse.

³⁷⁹ Correspondant aux résultats du questionnaire général chapitre 12.

³⁸⁰ EPI : Enseignement de Pratiques Interdisciplinaires créés dans la réforme du collège (2016).

La figure ci-dessous illustre les erreurs rencontrées.

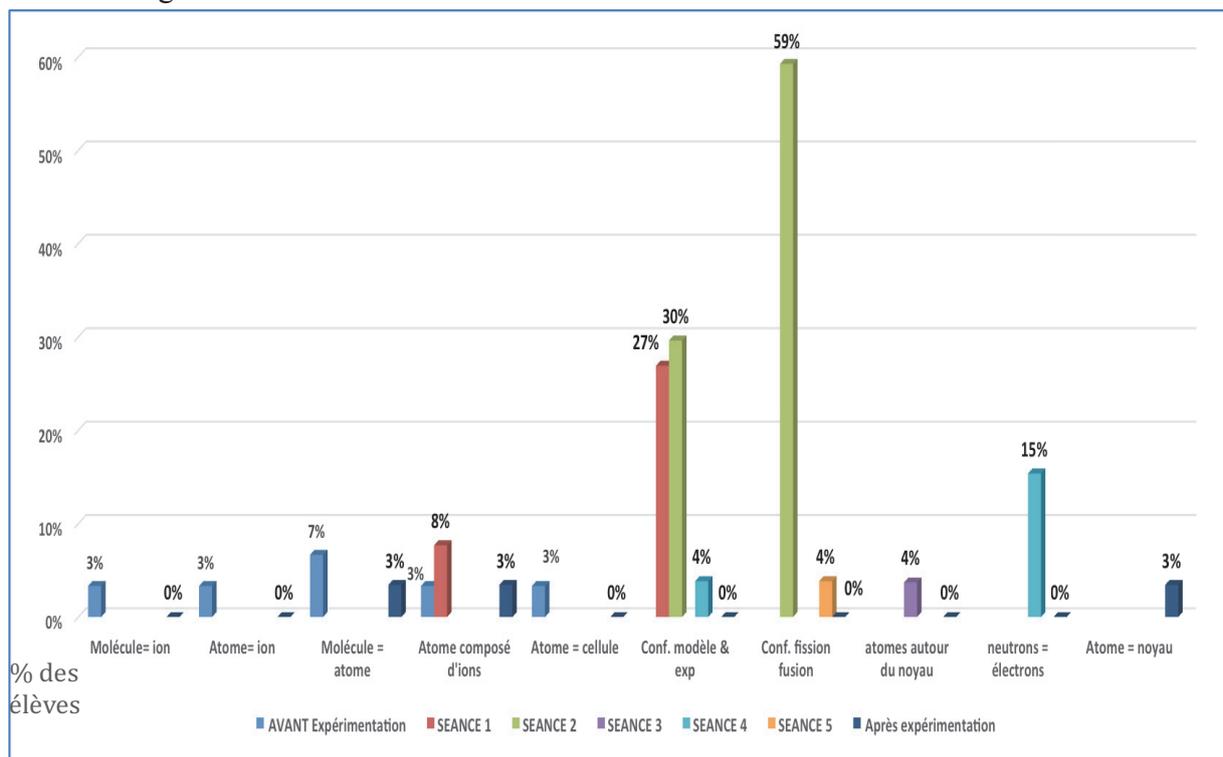


Figure 62. Récapitulatif des erreurs rencontrées lors des séances expérimentation 3.

2.3. Découpage 3 à l'échelle microscopique.

Nous avons, à partir des questionnaires *avant après*, tenter de dresser le profil cognitif de chaque élève sur le concept d'atome *avant après* expérimentation. La figure ci-dessous retrace les types de pensée *avant après* l'expérimentation.

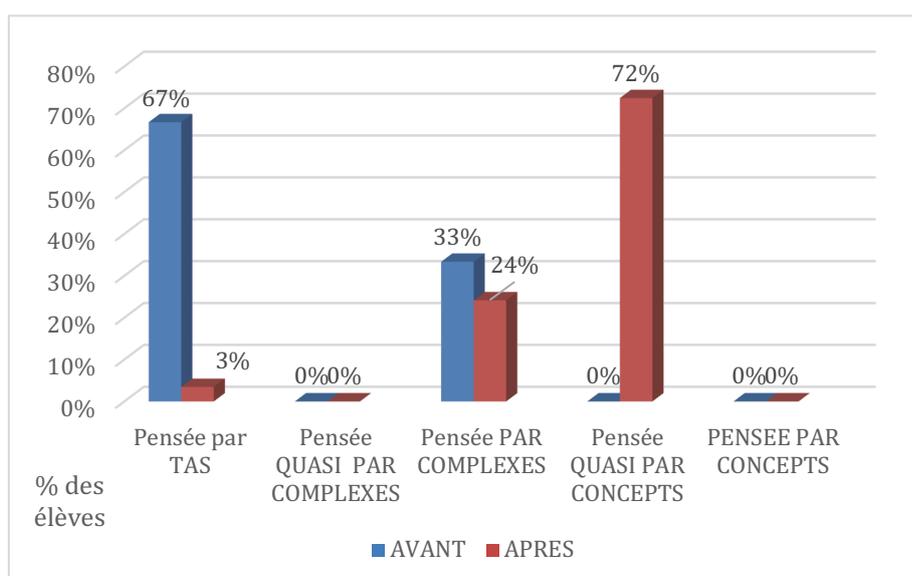


Figure 63. Types de pensée des élèves avant après expérimentation classe de troisième expérimentation 3.

Les résultats obtenus montrent une progression significative des élèves. Avant l'expérimentation, les types de pensées des élèves sur le concept d'atome se positionnaient entre pensée par tas et pensée par complexes. Ces résultats étaient en adéquation avec ceux de l'étude générale produite au chapitre 12, où les élèves de 3^{ème} se rapprochent d'une pensée *quasi complexe* en fin d'année. Nous étions assez circonspects du fait de cet excellent niveau, en début d'expérimentation et notre crainte était, de ne pas aboutir à une transformation des rapports au savoir. L'expérimentation achevée, 72% des élèves sont dans une pensée quasi conceptuelle. Leur rapport au monde a bien changé. Ces résultats viennent conforter les précédents lors de l'expérimentation 2.

Nous retenons que, quel que soit le niveau des élèves (bon, moyen ou en difficulté) nous observons une progression significative. De fait, ce n'est plus une variable faisant obstacle à l'évolution des types de pensée dans la ZPPD. L'activité maîtresse, qui a été adaptée au fil des séances, a correspondu au niveau des élèves dans la ZPPD puisque les élèves, munis de médiateurs externes ont consolidé le médiateur interne et ont atteint une pensée conceptuelle.

Nous avançons qu'il est possible de choisir pour notre objet d'étude:

La ZPPD adéquate à chaque élève, quelque-soit son niveau et quelque-soit sa classe (3^{ème} et seconde).

Des médiateurs externes qui permettent à tout type d'élèves de progresser au sein de la cognomorphose et cognogénèse.

•

Nos expérimentations 2 et 3 permettent d'illustrer cette synthèse.

3. Conclusion expérimentation 3.

Nous rejoignons celle de l'expérimentation 2 qui montre l'effet indiscutable des médiateurs externes pour construire le médiateur interne choisi, et les résultats en adéquation avec le parallélogramme de Leontiev. Les élèves les plus performants³⁸¹ emploient moins de médiateurs externes et s'en détachent plus vite que les élèves en difficulté³⁸². Nous déduisons qu'ils pourraient correspondre à la catégorie *adulte* de Leontiev.

Au vu des résultats il nous semble que les cartes conceptuelles proposées dans notre cadre théorique soient un outil solide pour faire évoluer la construction du concept d'atome dans la ZPPD.

Afin d'achever notre démonstration, nous sommes dans l'obligation de proposer une expérimentation supplémentaire. Les élèves ont dans le cadre d'un projet interdisciplinaire, utilisé des cartes conceptuelles. Nous avons prouvé (expérimentation 1) qu'un projet pluridisciplinaire ne permettait pas à lui seul de faire progresser significativement les élèves. Nous avons émis l'hypothèse que les cartes conceptuelles constituaient le médiateur externe principal et permettaient de consolider le médiateur interne lors d'un projet interdisciplinaire. Les expérimentations 2 et 3 ont prouvé leur bien-fondé mais nous n'avons pas testé de classe, sans projet interdisciplinaire, avec seulement l'utilisation des cartes conceptuelles venant consolider le médiateur interne l'atome. Nous la proposons dans le chapitre 16 et la nommerons expérimentation 4.

³⁸¹ Rencontrés dans le cadre de l'expérimentation 3.

³⁸² Rencontrés dans le cadre de l'expérimentation 2.

Chapitre 16 : Création d'une séance de travaux dirigés en classe de troisième sur le thème de l'atome avec l'aide du médiateur externe les cartes conceptuelles.

1. Présentation de la séance.

La mise en œuvre de cette séance sur le thème de l'atome s'est organisée de la manière suivante :

Préparation	Mars 2016.
Date de la séance	4/04/2016.
Enseignants concernés du lycée	L'enseignant SPC et le doctorant.
Classe	Troisième.
Effectif	17 élèves.
Nombre de séances	1.
Durée de la séance	1H30.
Niveau de la classe en SPC	1 ^{er} trimestre : 11 ,86. 2 ^{ème} trimestre 10,79

Tableau 31. Récapitulatif de la mise en œuvre classe de troisième expérimentation 4.

Nous avons choisi un groupe d'une classe de 3^{ème} avec :

- Un niveau moyen afin d'éliminer un paramètre discutable dans nos conclusions. Les moyennes de la classe expérimentée en témoignent ci-dessus.
- L'enseignement sur l'atome est achevé afin que toutes les notions requises soient exploitables dans la carte.

1.1. Contenu de la séance.

Voici les 7 étapes attendues dans cette séance :

Étapes	Travail organisé soit en groupe soit seul	Contenu
1	La classe et l'enseignant et le doctorant.	Le doctorant explique à partir d'un exemple décontextualisé comment réaliser une carte conceptuelle.
2	Élève seul.	Lister tous les mots qui se rapportent au concept d'atome.
3	Groupe de 4 élèves.	Rassemblement des mots établissement d'une nouvelle liste.
4	Élève seul.	Faire les liens entre les concepts et trouver des verbes qui peuvent les relier.
5	Groupe de 4 élèves.	Comparaison des cartes obtenues et échanges.
6	L'enseignant et chaque groupe.	Proposition par l'enseignant des concepts <i>oubliés</i> .
7	Groupe de 4 élèves.	Élaboration d'une nouvelle carte conceptuelle.
8	L'ensemble de la classe et l'enseignant.	Comparaison avec la carte proposée par l'enseignant. Échanges.

Tableau 32. Déroulement de la séance « cartes conceptuelles » expérimentation 4.

Nous avons laissé suffisamment de temps de réflexion à l'élève, puis aux groupes d'élèves afin que les conditions dans la ZPPD soient bien respectées. En revanche, la dernière étape a été effectuée à la séance suivante par l'enseignant de SPC de la classe.

1.2. Le corpus.

Le corpus est composé du/des :

Questionnaire général avant et après expérimentation.
Questionnaire ³⁸³ donné à la fin de séance.
Cartes conceptuelles élaborées ³⁸⁴ (seul et en groupe).

Tableau 33. Récapitulatif du corpus expérimentation 4.

Afin de ne pas influencer les élèves, les questionnaires avant et après n'ont pas été distribués le jour de la séance. Nous avons posé le questionnaire final un mois après la séance. Il nous permettra également de suivre l'impact des cartes conceptuelles dans la temporalité.

2. Résultats et analyse

Nous reprenons les mêmes découpages que l'analyse précédente qui sont répertoriés en trois niveaux à la granulométrie de plus en plus fine à savoir. *Le premier découpage* concerne l'analyse du questionnaire général avant après l'expérimentation, *le deuxième découpage* porte sur le questionnaire à la fin de la séance carte conceptuelle et *le troisième découpage* concerne les types de pensée, identifiées avant, pendant et après l'expérimentation. Dans notre présentation, nous avons réuni les deux premiers découpages dans la mesure où, l'expérimentation se réduit à une seule séance. Notre intention, est de présenter l'évolution des élèves au cours de cet apprentissage et de vérifier l'impact des cartes conceptuelles. Après avoir exposé les résultats partiels, nous présenterons les conclusions. Tous nos résultats intermédiaires sont en annexe³⁸⁵.

2.1. Découpage 1 à l'échelle macroscopique et découpage 2 à l'échelle mésoscopique

Ci-après, nous rendons compte du pourcentage des élèves ayant utilisé les trois registres, avant et après l'expérimentation 4. Nous n'avons pas présenté nos résultats de la même manière que l'expérimentation 2 et 3 par souci de simplification et de lecture rapide.

³⁸³ Annexe 48. Questionnaire donné à la fin de la séance carte conceptuelle expérimentation 4.

³⁸⁴ Annexes 49. Quelques exemples de cartes conceptuelles réalisées par les élèves.

³⁸⁵ Annexe 50. Tableaux de résultats des découpages 1, 2 et 3.

La figure ci-dessous retrace le récapitulatif des différents registres employés.

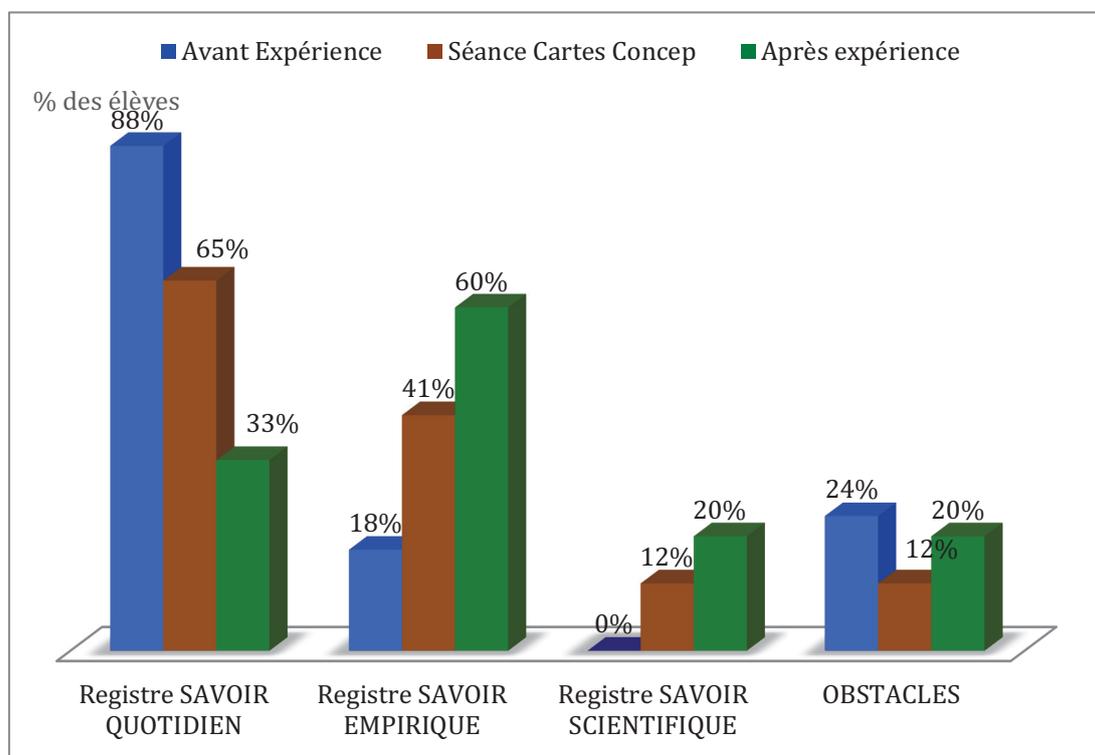


Figure 64. Récapitulatif des registres utilisés par les élèves avant, pendant et après expérimentation 4.

L'évolution est conséquente. Le registre du savoir quotidien baisse de 88% à 33% au profit du registre empirique et conceptuelle. Bruner nous avance que « tout mécanisme inné d'acquisition de langage (LAD pour Language Acquisition Device) qui aide les membres de notre espèce à pénétrer le langage, ne peut fonctionner s'il ne bénéficie pas d'un système de soutien à l'acquisition de langage (LASS pour language Acquisition Support System) trouvé dans le monde social³⁸⁶ »

Les cartes conceptuelles font partie du LASS. Elles permettent de donner du sens aux mots existants dans la conscience de l'élève et d'apprendre de nouveaux mots dans la ZPPD. On observe, qu'après la séance de cartes conceptuelles, le cheminement cognitif des élèves se poursuit. Les élèves opèrent toujours des transformations des fonctions psychiques supérieures que nous pourrions assimiler à un retour réflexif. Vygotski parlait de « conscience après ».

Le nombre d'erreurs varie peu et est relativement faible. Ci-après figure le récapitulatif des obstacles rencontrés. L'erreur persistante est la non reconnaissance de l'atome en tant que tel. Ce sont des élèves qui n'ont pas basculé dans le rapport au monde supérieur et qui restent dans le registre du savoir quotidien. Le mot *atome* n'a pas, pour eux, la même signification que le mot *atome*, que nous employons.

³⁸⁶ Bruner (2000) p 99.

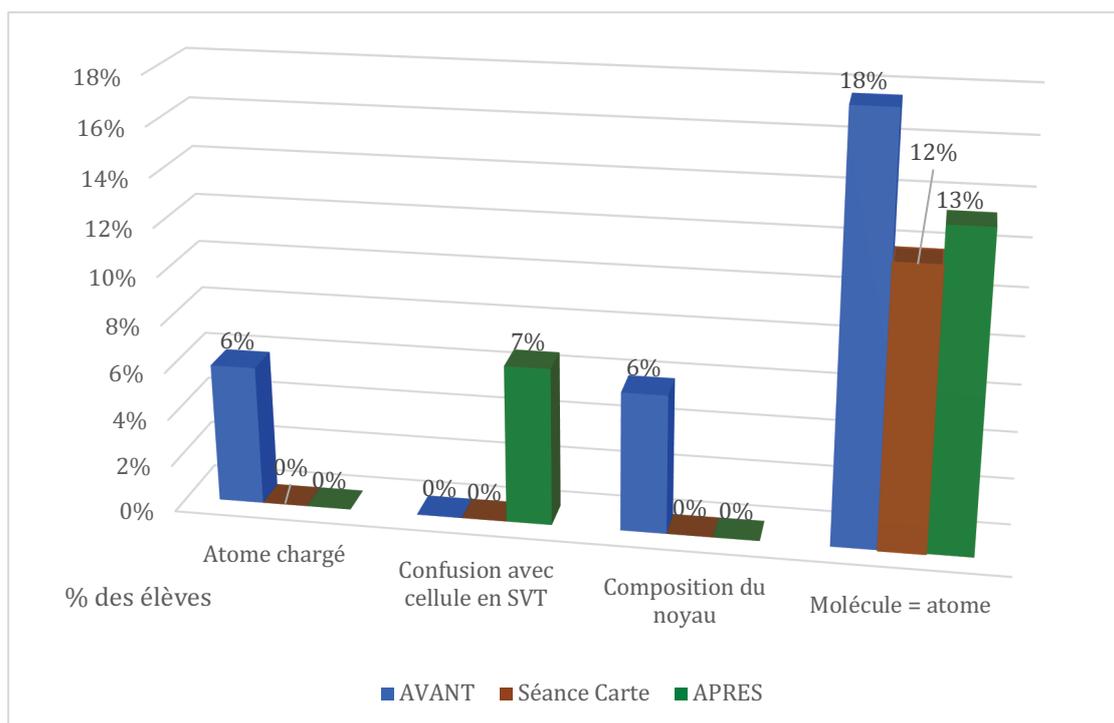


Figure 65. Récapitulatif des erreurs citées par les élèves expérimentation 4.

La figure ci-dessous reflète la vue synoptique des résultats des schémas de l’atome pour l’expérimentation 4 dans sa totalité.

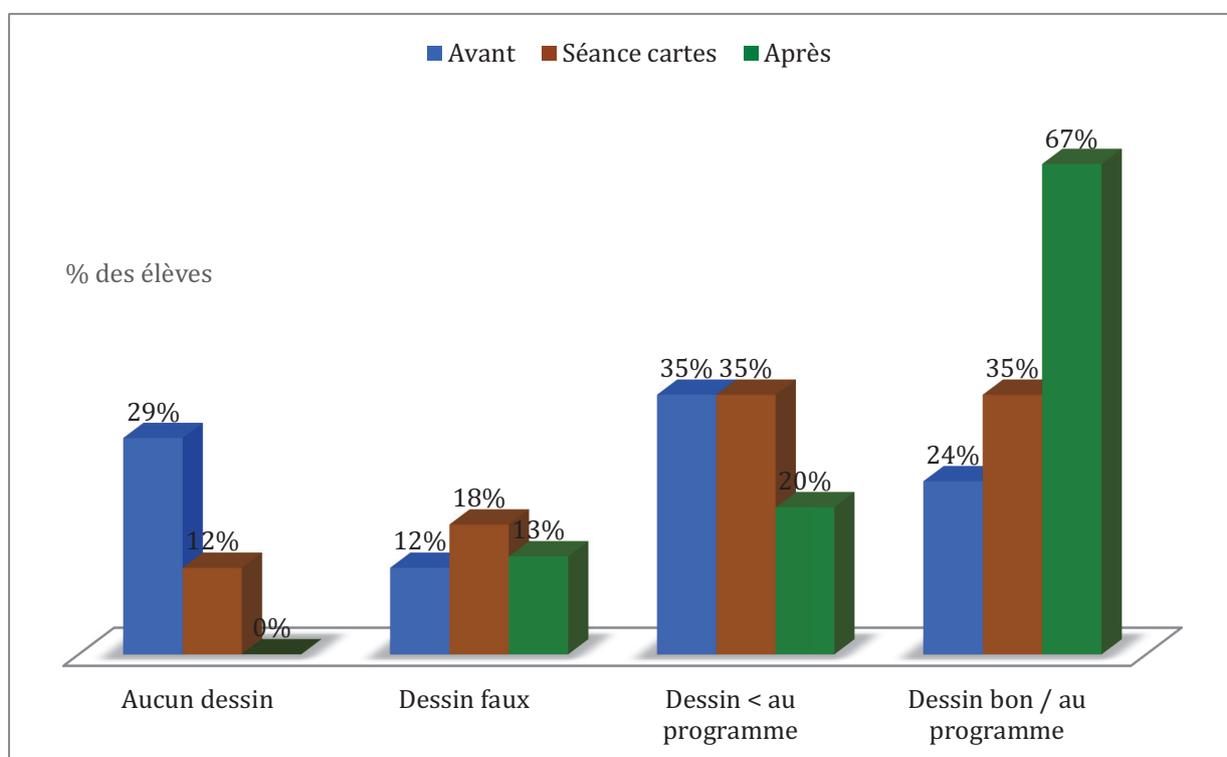


Figure 66. Évolution des schémas expérimentation 4.

67% des élèves, à la fin de l’expérimentation représentent l’atome avec le niveau requis de la classe considérée. C’est une belle avancée, puisqu’au départ 42% des élèves étaient dans l’impossibilité de le produire sans erreur. Nous avons circonscrit notre analyse, en incrémentant le nom des modèles restitué en question 3, comme pour l’expérimentation 3. Nous remarquons que la séance *cartes conceptuelles* n’a pas vraiment amélioré la connaissance des noms des modèles. Les résultats ci-dessous montrent, néanmoins, un effet positif, en particulier sur le modèle de Rutherford, qu’un tiers des élèves reconnaissent. Nos résultats précédents (exp 3) qui indiquaient une grande progression dans les modèles, ne sont pas confirmés avec cette classe. Nous avançons que le projet interdisciplinaire, circonscrit du médiateur externe, est propice à une évolution plus significative des modèles.

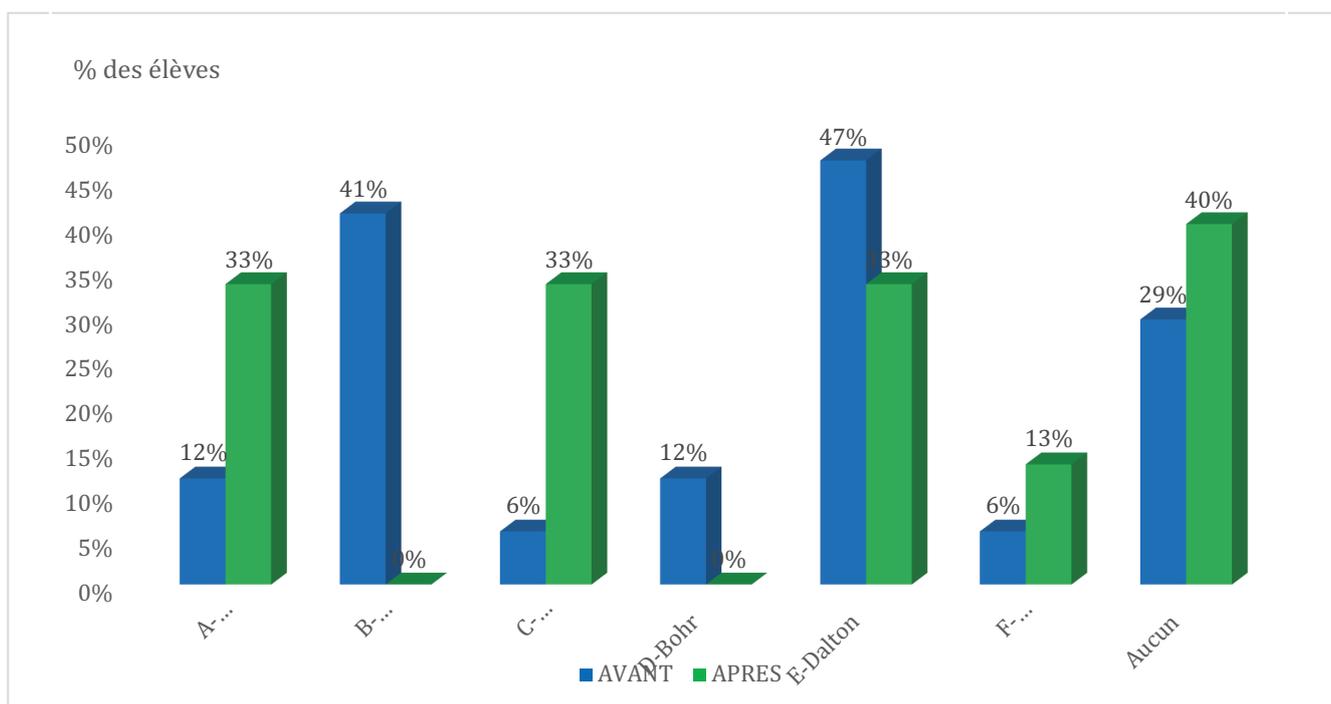


Figure 67. Choix du modèle avant après expérimentation 4.

2.2. Découpage 3

Nous avons, à partir des questionnaires, tenter de dresser le profil cognitif de chaque élève sur le concept d’atome avant expérimentation, puis juste après la séance *cartes conceptuelles* et enfin, un mois après l’expérimentation.

La figure, ci-après, présente les différents profils.

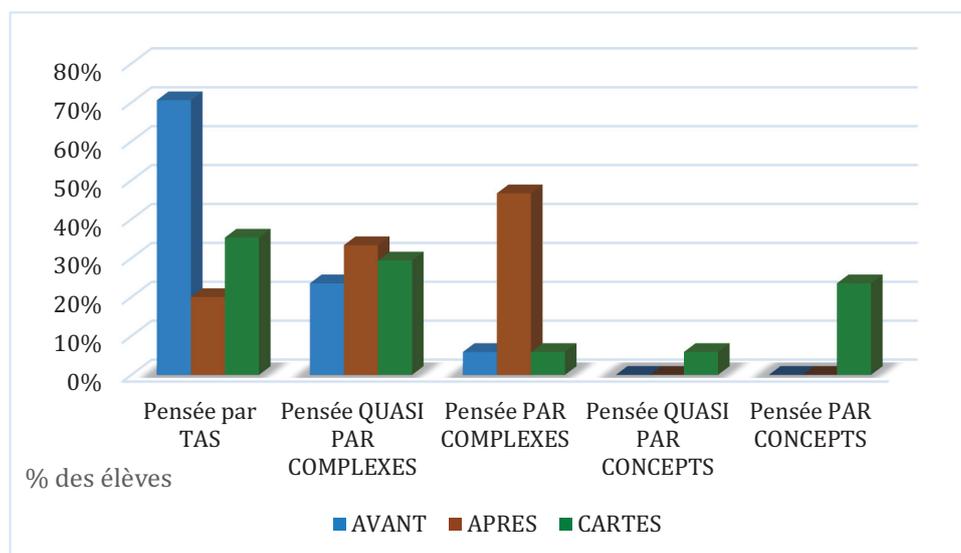


Figure 68. Types de pensée des élèves avant après expérimentation 4.

Les résultats sont probants et démontrent que les cartes conceptuelles ont joué un rôle significatif auprès des élèves. Sur les 71% d’élèves, qui détenaient une pensée par tas en début d’expérimentation, la moitié adopte un autre registre en fin de parcours. La séance *cartes conceptuelles* a permis à 24% des élèves d’adopter une pensée conceptuelle provisoirement, ce qui est prometteur et laisse envisager que ces élèves pourront l’atteindre définitivement prochainement. La répartition des types de pensées des élèves sur le concept d’atome, en début d’expérimentation se situe entre pensée par tas et pensée quasi par complexes. Ce résultat correspond également à celui de l’étude générale au chapitre 12 qui plaçait les élèves de 3^{ème} dans une pensée quasi complexe en fin d’année. Un mois après l’expérimentation, 47% des élèves adoptent une pensée par complexes. Une nouvelle fois, nous démontrons qu’il est possible de dépasser le niveau général en s’appuyant sur un étayage bien ciblé.

Ces résultats confirment également que des élèves de niveau moyen en SPC progressent de façon significative sur le concept d’atome.

3. Conclusion expérimentation 4.

Les cartes conceptuelles, implémentées en tant qu’étayage d’une activité maîtresse, représentent un outil essentiel et indispensable dans l’évolution cognitive de l’élève sur le concept d’atome. L’efficacité du médiateur externe s’avère en classe de seconde et de troisième, nous faisons l’hypothèse que cet outil sera performant également pour tout le cycle 4 du collège. Il présente un avantage indéniable d’être indépendant du niveau des élèves et, de fait, il est performant dans les classes hétérogènes. Nous le préconisons pour la construction de ce concept tout au long de la scolarité.

4. Synthèse de nos résultats d’expérimentation.

Cette partie se présentera sous la forme d’un questionnement auquel nous tenterons d’apporter quelques éléments de réponse.

4.1. L'activité maîtresse et la construction du médiateur interne par les médiateurs externes.

Notre expérience 1 *test* en classe de première L donne un exemple de tâche complexe³⁸⁷ à élaborer avec les élèves. Cette activité maîtresse, sous forme d'une chorégraphie, n'a pas été choisie au hasard. Elle propose que les modèles de l'atome *soient vécus* par les élèves, ce qui les rend à la fois acteurs de cet apprentissage et attentifs. Ce choix se justifie par l'activité symbolique qu'elle représente. En préambule, rappelons que la pensée abstraite est l'aboutissement du cheminement de la pensée. Selon Vygotski, avant d'aboutir à la pensée conceptuelle, c'est à dire à l'établissement d'une pensée abstraite, la transformation peut avoir lieu avec des rapports au monde différents. Ce sont ces différentes transformations dans la cognomorphose, qui permettront aux élèves de construire une pensée conceptuelle. Lors de l'expérience, à l'aide des analyseurs de Vygotski (ZPPD, classification du discours, pensées par tas, complexes et concepts), nous avons suivi les différentes transformations qui s'opèrent dans la cognogénèse et la cognomorphose, pour chaque élève. Sans prétendre apporter de réponse définitive, il apparaît qu'une tâche complexe, seule, sans médiateur externe, ne suffit pas à obtenir, dans ce cas précis, une pensée conceptuelle pour la plupart des élèves. *Les résultats obtenus, traduisent à la fois une avancée des savoirs mais également la construction incomplète du médiateur interne.*

Que proposons nous quand la construction du médiateur interne est partiellement réalisée ?

Vygotski nous suggère d'organiser et de construire la ZPPD. Nous proposons que l'enseignant observe les élèves afin d'identifier la propre limite de chacun. Chaque élève est un cas particulier et se trouvera dans un stade différent. L'enseignant doit au fur et à mesure « *noter soigneusement le soutien, les indices, les livres... qui produisent l'effet voulu sur l'apprentissage de l'enfant*³⁸⁸ ». Il est fondamental que les habiletés ou comportements demandés se situent dans la ZPPD. Vygotski dans son œuvre, a mis en évidence les médiateurs. Bodrova et Léong (2012) reprennent le sens de Vygotski en expliquant que le médiateur sert deux fonctions. La première immédiate, repose sur l'aide apporté aux élèves dans la résolution de problèmes et sur la possibilité de leur faire vivre de façon indépendante des situations « *qui antérieurement nécessitaient un soutien concret d'adulte*³⁸⁹ ». La deuxième est une fonction sur une plus longue période, elle induit la restructuration de la pensée en transformant les fonctions psychiques inférieures en fonctions psychiques supérieures. « *L'enfant utilise un lien intériorisé entre le stimulus et le signe auxiliaire correspondant (soit le médiateur)* »³⁹⁰ Afin de compléter la construction du médiateur interne l'atome, nous devons avoir recours à une forme d'étayage selon Bruner. Celui-ci ne change pas la tâche, il va seulement la rendre plus facile. Partant sur cette base de travail, nous avons choisi et conçu comme médiateur externe une carte conceptuelle³⁹¹ sur le concept d'atome, pour chacun des niveaux de classe. Cette carte constitue au sens de Vygotski un artefact, ce qui signifie qu'elle joue le rôle d'outil et d'instrument. La construction du concept, tout au long de la scolarité, permet à la fois de donner du sens d'un point de vue épistémologique mais est également un élément facilitateur pour l'élève, puisqu'il récapitule les acquis. Notons également, que cette carte est un outil également pour l'enseignant. En effet, il peut construire sa progression sur le cycle d'un point de vue

³⁸⁷ Au sens du socle commun de compétences, de connaissances et de culture.

³⁸⁸ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 67.

³⁸⁹ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 79.

³⁹⁰ Bodrova E, J. Leong D (2012) p 80.

³⁹¹ Surnommée ainsi mais cependant éloignée du modèle de Novak 1994

conceptuel et également la présenter à ses collègues afin de co-construire par exemple un EPI au collège. Les résultats de notre recherche montrent que le discours utilisé par les élèves lors de la construction du concept d'atome peut être catégorisé en trois registres correspondant respectivement aux savoirs quotidien, empirique et scientifique, selon Vygotski. Les découpages particuliers de nos analyses pour les expériences 2 et 3, en classes de seconde et troisième, répertoriés en trois niveaux à la granulométrie de plus en plus fine, nous ont renseigné sur le sens, que l'élève attribuait aux mots, en particulier sur le concept d'atome et ses modèles. Lors des différents échanges, nous avons pu comparer si le sens utilisé était en adéquation avec celui de l'enseignant. Chaque registre étant rattaché à un type de pensée selon notre cadre théorique, notre étude qualitative, non statistique, nous a permis d'identifier par niveau de classe un type de pensée spécifique. Nous avons conclu que les élèves avaient progressé de façon significative en termes de construction de la pensée, avec l'aide des cartes conceptuelles. L'apport du médiateur externe a consolidé le médiateur interne qui est l'atome.

Le profil des élèves est-il un facteur déterminant lors de l'étayage ?

Les expérimentations 2 et 3 se distinguent par la différence de niveau des classes concernées. Les élèves de la classe de seconde étaient en difficulté alors que ceux de la classe de troisième étaient plus à l'aise sur le concept d'atome et en général en sciences physiques. Les tableaux de synthèse suivants, mettent en valeur la progression des élèves, dans les deux classes considérées.

Types de pensée	% d'élèves à l'état initial	% d'élèves à l'état final
Par tas	75	0
Quasi par complexes	0	16,7
Par complexes	25	66,6
Par concepts	0	16,7

Tableau 34. Récapitulatif du changement de mode de pensée pour la classe de seconde expérimentation 2.

Types de pensée	% d'élèves à l'état initial	% d'élèves à l'état final
Par tas	67	3, 5
Quasi par complexes	0	0
Par complexes	33	24, 1
Quasi par concepts	0	72, 4
Par concepts	0	0

Tableau 35. Récapitulatif du changement de mode de pensée pour la classe de troisième (exp 3)

Ces résultats tendent à démontrer que le niveau de la classe est indépendant du développement des fonctions psychiques supérieures. Chaque élève, placé dans sa ZPPD, quelque soit son niveau et celui de ses pairs, progressera.

Le ou les médiateur(s) externe(s), dans chacun des cas, a transformé le mode de pensée à un niveau supérieur de façon significative. Le médiateur interne est consolidé et partiellement ou totalement construit.

Que reflètent nos résultats quant à l'utilisation des médiateurs internes et externes, correspondent-ils au parallélogramme de Léont'ev ?

Si nous nous appuyons sur notre cadre théorique, Leont'ev dit qu'à l'école primaire, le médiateur externe est là pour aider à construire le médiateur interne lorsqu'il est défaillant. Nos résultats sont en adéquation avec le parallélogramme de Léont'ev³⁹². *Nous observons les mêmes besoins en termes d'utilisation de médiateurs dans les classes de collège et lycée que dans les classes d'école primaire. De fait, le parallélogramme pourrait se représenter de la même façon pour les collégiens et lycéens.* Pour un même concept, les collégiens se placeraient sur la partie du tableau correspondant aux élèves du primaire et les lycéens, utilisant de moins en moins de médiateurs externes, sur la partie droite du tableau. Plus particulièrement, les élèves de terminale S pourraient correspondre aux adultes. Cependant nous observons quelques limites à ces expérimentations, deux facteurs sont à prioriser dans la préparation des séquences d'enseignement :

- faire entrer les élèves dans le projet, cette dernière ne doit pas être négligée. Il faut analyser les niveaux cognitif et affectif, mais également social en recherchant comment s'intègrent les cultures que représentent le sujet et l'objet. Il est nécessaire que le projet utilisé « *corresponde à un dessein qu'il ambitionne d'atteindre*³⁹³ »;
- ne pas installer les élèves dans une double tâche. En effet, les difficultés peuvent se cumuler, notamment, lorsque plusieurs disciplines sont sollicitées, nous préconisons alors un étayage supplémentaire, à débiter en amont de l'activité maîtresse.

Pour permettre la validation définitive de nos résultats, nous devons nous assurer que le médiateur externe choisi, est bien à l'origine des progrès observés.

L'expérimentation 4 est venue ponctuer nos conclusions, en effet celle-ci a clairement prouvé qu'une seule séance de cartes conceptuelles suffisait à produire des progrès importants sur la construction cognitive de l'élève. Il faut cependant être prudent, nous ne pouvons assurer que ces derniers résultats soient stabilisés comme dans l'expérience 2 et 3. Le travail de la pensée intervient aussi après coup sous des formes difficiles à comprendre directement.

Notons également, que le projet interdisciplinaire en expérience 2 et 3, n'est pas sans incidence bien entendu sur le cheminement de la pensée mais les progrès constatés sont moindres.

Le suivi de la construction cognitive des élèves au cours de l'apprentissage du concept d'atome a donné lieu à quelques questions que nous soulevons ci-dessous.

4.2. Les types de pensée

Pourquoi la pensée par tas n'est plus présente dans nos tableaux finaux pour la majorité des élèves?

Cette pensée semble totalement disparaître au profit de la pensée par complexes. Chaque type de pensée correspond à un rapport au monde très différent, de fait leurs constructions sont indépendantes les unes des autres. Dans la cognogénèse, chaque type de pensée ne s'obtient pas par étapes successives, la transformation s'effectue, au travers d'un vrai bouleversement du schème considéré. Dès lors, où la pensée par complexes est à 100% installée, pour un concept donné, la pensée par tas n'a plus lieu d'être. L'évolution peut être lente, avec des allers-retours entre les conceptions anciennes et nouvellement construites, comme elle peut être rapide, lorsque l'élève utilise ses médiateurs internes solidement

³⁹² Chapitre 9 paragraphe 4.

³⁹³ Develay (2012) p 90

construits. Il est donc légitime de plus observer la pensée par tas, au profit de la pensée par complexe.

Pourquoi certains élèves ont deux types de pensée de manière concomitante ?

Le modèle de Vygotski nous a permis d'identifier les transformations des niveaux de savoir. Ce sont les étapes de la construction du concept. Nos résultats prouvent que ces dernières n'aboutissent pas à un modèle linéaire, comme le décrivait Piaget. L'élève peut vaciller entre deux types de pensée, tant qu'il n'a pas stabilisé le registre de son discours par rapport au concept considéré. Notre expérimentation nous a permis d'identifier les cas où le phénomène se produit : soit les activités sont trop éloignées de celles étudiées en classe, soit les élèves, n'étant plus assistés de leurs pairs ou de l'enseignant, reviennent à leurs conceptions initiales. Ces élèves demandent un étayage supplémentaire dans la ZPPD, il sera indispensable d'utiliser des médiateurs externes appropriés afin d'améliorer l'abstraction et la conceptualisation des élèves. Nous avons surnommé cette catégorie de pensée, *quasi par complexes* ou *quasi par concepts*.

La synthèse de ces résultats est très encourageante et ouvre des perspectives sur la création d'une didactique instrumentale qui prendrait en compte ces données. Les éléments de réponse apportés dans ce chapitre, engendrent à présent une discussion et des perspectives en termes de recherche et de formation.

PARTIE 5 : DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Chapitre 17 : Discussion et perspectives en termes de recherche

A l'issue des analyses menées, nous proposons d'aborder notre discussion en trois parties, en vue d'amener une réflexion sur une évolution progressive de la didactique vers une didactique instrumentale.

Notre première partie mènera une réflexion sur les obstacles et conceptions des élèves sur le concept d'atome que nous mettrons en parallèle d'obstacles épistémologiques rencontrés dans les activités des enseignants. Par voie de conséquence, nous discuterons de l'impact des contenus d'enseignement sur les élèves.

La deuxième partie portera l'accent sur la priorité du discours dans l'apprentissage et dans la construction de l'individu que nous rapprocherons de la théorie instrumentale de Vygotski.

La dernière partie tentera d'apporter des éléments de réponse, face aux difficultés rencontrées, dans l'enseignement des sciences, en proposant une évolution de la didactique en didactique instrumentale.

Ce chapitre s'achèvera sur les perspectives en termes de recherche et de formation.

1. Vers une didactique instrumentale.

1.1. L'étude des obstacles et des conceptions alternatives.

Il nous semble primordial de débiter cette discussion sur un sujet très préoccupant pour les enseignants : les obstacles rencontrés par les élèves lors des apprentissages. Dès les premières lignes de la « *Formation de l'esprit scientifique* », Bachelard introduit le terme « *d'obstacles épistémologiques* ». Il nous éclaire sur l'évolution de la pensée en déclarant : « *Le réel n'est jamais ce que l'on pensait croire mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser. La pensée empirique est claire, après coup, quand l'appareil des raisons a été mis au point. En revenant sur un passé d'erreurs, on trouve la vérité, en un véritable repentir intellectuel. En fait on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites, en surmontant ce qui dans l'esprit même fait obstacle à la spiritualisation* ».

Ces obstacles proviennent principalement de la présence de conceptions alternatives. Nous entendons par conceptions (mot employé au cours de cette thèse), les représentations internes des élèves ici sur le concept d'atome qui deviennent alternatives, lorsqu'elles ne correspondent pas à la référence scientifique reconnue par la communauté qualifiée. Ce terme récent ne traduit pas correctement l'expression en anglais « *alternative conceptions* », et présente un caractère relativement ambiguë en français. Selon les auteurs, elles sont désignées, par cette liste non exhaustive, comme : « *représentations initiales, conceptions erronées ou parfois naïves et en anglais misconceptions* ». Nous avons repéré, lors de notre enquête et des expérimentations, mais également, lors de visites des enseignants stagiaires, des obstacles récurrents du côté élève mais, également, du côté enseignant. Nous n'en retiendrons que deux, dans chaque catégorie, qui nous paraissent pertinents dans notre démarche de réflexion et avec lesquels nous établirons des liens.

Côté élève

- La définition de l'atome se réduit généralement à la structure de celui-ci avec quelques mots pour le décrire d'où cette première difficulté dans le discours des élèves à accéder à des mots spécifiques.
- Les élèves ne se représentent pas le vide.

Je me souviens de la question : « *c'est quoi rien ?* » d'une de mes enseignantes stagiaires à sa classe, bien embarrassée par l'absence idéologique de la matière discontinuée de son élève. Nous prenons ici conscience que les élèves repassent par les mêmes étapes de la pensée atomiste en privilégiant la matière continue avant de reconnaître le vide. Ces obstacles généraux appartiennent à deux registres bien classiques celui du vocabulaire et de la connaissance.

Le premier est essentiel dans la transformation cognitive de l'élève et lui permet d'accéder à une pensée conceptuelle pour l'objet considéré. Si les mots n'existent pas, la pensée ne se construira pas.

Le second dénote que l'élève n'accède pas de manière évidente au savoir, il reconstitue les différentes pièces du puzzle avec les mêmes écueils que nos ancêtres et adopte ainsi une posture épistémologique que nous n'attendions pas. Le processus didactique classique, préparé par l'enseignant, ne permet pas le déblocage épistémologique attendu chez l'élève. Il ne se produit pas.

Côté enseignant

- Les modèles sont présentés très souvent sous forme d'une évolution par rupture. Le nouveau modèle, venant détrôner l'ancien, pour apporter des explications supplémentaires et agrandir le cadre théorique.
- Le modèle particulaire et moléculaire sont utilisés tour à tour sans vraiment d'explication concrète sur le choix. Le flou s'accumule ainsi dans la tête des élèves.

La corrélation entre ces obstacles didactiques et ceux des élèves nous apporte des éléments de réponse. Le choix didactique de présentation des modèles ne vient-il pas s'opposer à la construction épistémologique de l'élève. Les obstacles didactiques ne génèrent-ils pas des obstacles dans l'apprentissage ? L'évolution par rupture n'empêche-t-elle pas l'élève à faire le cheminement spiralaire nécessaire, pour passer d'un modèle à l'autre. Ce point de vue est en adéquation avec notre modèle ³⁹⁴ de la cognogénèse, puisqu'il décrit ses va-et-vient dans la cognomorphose. En nous rapprochant de notre étude qualitative sur les 660 questionnaires, qui portait sur les conceptions des élèves en collège et en lycée, sur le concept d'atome, nous relevons deux points qui nous paraissent essentiels. D'une part, les élèves retiennent en majorité le schéma du modèle de l'atome de l'année scolaire précédente. Resnick³⁹⁵ (1982) le montre également dans ses recherches auprès des étudiants. Ses résultats témoignent que les étudiants ayant appris de nouveaux concepts en sciences reviennent à leurs théories originelles, lorsqu'ils abordent la résolution de problèmes décontextualisés. D'autre part, les noms de modèles ne sont pas significatifs pour les élèves, malgré l'activité récurrente des enseignants sur l'histoire atomistique en classe de 4^{ème}, 3^{ème} et seconde.

Encore une fois la posture spiralaire des élèves est flagrante, puisqu'ils reprennent leur ancien modèle, lors d'une difficulté rencontrée et ne pensent pas à mobiliser le nouveau. La méconnaissance des modèles est directement liée, l'élève se cantonne à reprendre les vieux

³⁹⁴ Chapitre 7.

³⁹⁵ Resnick L (1982).

modèles, plutôt qu'à mobiliser les récents. Dupin et Joshua (1993) le constatent également sur des étudiants qui restituent une image du générateur délivrant une intensité identique, quel que soit le circuit où il débite. C'est une conception initiale en début d'apprentissage des sciences. Nous remarquons que les nouveaux modèles, dont les élèves auraient dû s'affranchir, font référence à des obstacles que l'enseignant n'a pas conscience et qu'il ne résout pas lui-même. La prise en compte de ces conceptions d'apprenants, en fin d'année scolaire, fait apparaître les limites de l'enseignement et donne des indicateurs sur l'impact produit par les enseignements. A l'issue de ces deux derniers constats et de nos remarques ci-dessus, nous formulons deux hypothèses :

- L'activité maîtresse ³⁹⁶choisie pour le modèle, de l'année en cours, n'est pas adéquate ce qui revient à dire que la tâche³⁹⁷, qui excède, ce que l'élève est capable de faire seul dans la ZPPD, est trop difficile. En d'autres termes, l'élève pourra faire cette tâche, assisté de l'enseignant mais n'arrivera jamais à la faire seul demain.
- Le temps imparti dans la cognomorphose n'est pas suffisant et la transformation ne peut avoir lieu. Nous présumons alors que la chronogénèse selon Sensevy, n'est pas respectée pour un bon apprentissage des savoirs.

Puisque les savoirs restitués appartiennent au programme de l'année antérieure, il est essentiel, à l'aube de la réforme du collège, de porter à la discussion cette difficulté. Nous constatons actuellement, que l'élève tente virtuellement de « *tourner la page* » en vue de libérer une place aux futurs apprentissages à la fin de chaque année scolaire. Notre recherche propose une solution pour le pédagogue ; c'est un étayage selon Bruner qui permet aux élèves de construire, dès le cycle 3, le concept d'atome, dans toute sa dimension, au moyen d'une carte conceptuelle. La trace de cette construction persistera et sera complétée durant tout le cursus scolaire et tentera d'empêcher l'élève, d'effacer de sa mémoire, les apprentissages en fin d'année scolaire. Mais, notre réflexion va plus loin, la conception a été longtemps considérée par les didacticiens comme une représentation au préalable. Elle présente un caractère épistémologique. Notre recherche montre que notre objet d'étude est décrit et évolue au travers de l'histoire des sciences, qu'il appartient également à l'histoire des modèles qui se succèdent. Nous avons également montré que son enseignement, notamment les activités proposées aux élèves évoluaient selon le degré conceptuel que nous souhaitions apporter à l'apprentissage. Un certain nombre de didacticiens ont démontré le caractère épistémologique des conceptions avec une concordance entre l'évolution de la pensée et la pensée individuelle. J'ai moi-même observé des élèves, qui repassaient par les mêmes étapes de la pensée atomiste, en privilégiant la matière continue avant de reconnaître le vide. L'enseignement actuel utilise l'histoire des sciences, en retraçant les différents modèles, mais ne prend pas en considération, la construction des savoirs, du point de vue épistémologique. Force est de constater, que les élèves se retrouvent quelquefois, dans les mêmes démarches qu'autrefois. Dans la mesure où le contexte est bien différent aujourd'hui, nous nous étonnons de mettre à jour cette démarche qui émerge de façon récurrente. Ce qui sous-tend, que l'enseignement actuel ne s'adapte pas exactement au contexte social et à son histoire, il semble incomplet dans sa démarche. Il serait donc envisageable de soumettre une didactique instrumentale qui répondrait à cette problématique. Quel enseignement, quel contenu transmettre pour ne plus observer cette réminiscence ?

³⁹⁶ Décrite comme activité d'apprentissage par Elkonin (1972) puis Davydov (1988).

³⁹⁷ Niveau de performance assistée

1.2. *Le discours en tant qu'analyseur et outil pour faire progresser l'élève.*

A partir du discours³⁹⁸ des élèves, nous pouvons identifier des profils de types de pensée. La comparaison des mots utilisés dans le « *registre élève* » et des mots proposés dans le « *registre institutionnel* » nous a aidé à construire le profil des élèves, pour un niveau requis. A partir des données recueillies dans les questionnaires, et principalement des mots utilisés, nous avons pu établir, comme le décrit Vygotski, le type de pensée des élèves sur le concept d'atome, de la classe de 5^{ème} à la classe de terminale S.

Niveau	Types de pensée
5 ^{ème}	Pensée par TAS
4 ^{ème}	Pensée par TAS
3 ^{ème}	Pensée par TAS → COMPLEXES
Seconde	Pensée par COMPLEXES → CONCEPTS
Première S	Pensée par CONCEPTS
Terminale S	Pensée Par CONCEPTS

Nos résultats semblent montrer une prédominance de la pensée par tas en collège. Ce n'est pas vraiment une surprise. Les années de collège correspondent à la découverte du concept d'atome. Dès la 5^{ème}, l'enseignant utilise, le plus souvent possible des démarches d'investigation, préconisées par les programmes. Cependant, elles ne sont pas forcément appropriées. Briaud³⁹⁹ avance que les enseignants stagiaires prennent les savoirs scientifiques comme des vérités et non pas des réponses à des problèmes. En effet si aucune conception erronée n'est bousculée, le développement cognitif de l'élève est faible. Poser une démarche d'investigation sur la vaporisation ou la fusion de l'eau ne présente pas beaucoup d'intérêt à mes yeux. Quel élève de 5^{ème} n'a pas connaissance du fait que l'eau se solidifie à zéro degré et qu'elle a une température d'ébullition de 100 degrés⁴⁰⁰? En revanche, proposer des tâches complexes aurait un impact plus fort sur nos collégiens et les amènerait à s'engager plus tôt vers la pensée par complexes. Bien entendu plus tôt ne va pas dire beaucoup plus tôt ; Il y a une limite, liée à la ZPPD et qu'il faut cibler pour chaque élève. Mais nous nous sommes rendus compte, dans nos expérimentations, que les tâches complexes ne suffisent pas à construire complètement le médiateur interne et qu'une priorité doit être donnée au discours dans les programmes de sciences physiques et dans les formations pour les enseignants. En effet, le langage qui est « *le vecteur, le médium de l'échange au travers duquel se déroule l'éducation*⁴⁰¹ » n'est jamais neutre, c'est un moyen de communication mais également un « *instrument de la pensée* » selon Vygotski. « *D'où le questionnement des contenus scolaires programmatiques du point de vue de leur portée artéfactuelle*⁴⁰² ». Lors de l'activité maîtresse proposée aux élèves que nous pouvons qualifier ici de tâche complexe, nous nous sommes préoccupés des échanges entre les élèves et l'enseignant, et en particulier, de « *l'emploi spécifique du mot*⁴⁰³ ». Vygotski dit que « *le concept est impossible sans les mots*⁴⁰⁴ ».

³⁹⁸ Nous entendons par discours : les définitions, les symboles, les schémas, les noms des modèles du questionnaire.

³⁹⁹ Briaud (2010) in Couture C, Dionne L (2010) p 201.

⁴⁰⁰ « *Dans cette pédagogie, le problème est une question que se pose un sujet et dont il n'a pas la réponse, sinon ce n'est qu'un rappel de connaissances mémorisées* » Dumas-Carré, Goffard (1997) cité par Briaud (2010) in Couture C, Dionne L (2010) p 183.

⁴⁰¹ Bruner (1983) p 147.

⁴⁰² Jean Guy Caumeil (2006).

⁴⁰³ Vygotski (1997) p 207.

⁴⁰⁴ Vygotski (1997) p 207.

L'expérimentation 3 en est l'illustration ; la plupart de nos élèves ont acquis une pensée quasi conceptuelle en enrichissant leur vocabulaire.

« *L'élément central en est, comme le montre l'étude, l'utilisation fonctionnelle ...ou du mot comme moyen permettant à l'adolescent de soumettre à son pouvoir ses propres opérations psychiques, de maîtriser le cours de ses propres processus psychiques et d'orienter leur activité vers la résolution du problème auquel il est confronté{...} ⁴⁰⁵* ».

La formation du concept d'atome n'est effectivement possible, qu'à partir du moment où, le mot prend une signification (la pensée conceptuelle n'existe pas sans la pensée verbale) et que l'élève maîtrise lui-même le processus de transformation de ses fonctions psychiques supérieures. C'est pourquoi, les interactions entre élèves restent indispensables, mais nous incorporons le rôle primordial de l'enseignant qui doit participer, lorsque celles-ci cessent. La perspective vygotkienne reconnaît le rôle majeur de l'enseignant dans la construction des savoirs. Combien d'enseignants laissent leurs élèves réfléchir en vain en se refusant de participer à la co-construction de l'apprentissage par souci de bien faire ? L'élève doit être accompagné et l'enseignant a une place cruciale dans la ZPPD. La nature et la place des interactions déterminent l'acte pédagogique. Jean Guy Caumeil (2006) les désigne comme « *médiation incarnée* » et qualifie l'acte d'enseigner comme « *faire avec l'élève, inter- venir, dans un premier temps puis s'effacer pour laisser toute sa place à l'élève* ». Le processus se poursuit, après la pensée verbale, nous priorisons l'importance, de laisser des traces, année après année, de construire sur un même document comme les cartes conceptuelles proposées, afin de permettre des allers-retours dans la cognogénèse. De la pensée verbale à la pensée écrite, les opérations intellectuelles s'opèrent et viennent compléter les précédentes.

Les propositions de cette recherche, s'appuyant sur la théorie instrumentale de Vygotski, placent chaque élève dans un processus gagnant. L'enseignant, dans la ZPPD, adapte son activité maîtresse en fonction de l'élève, selon ses besoins, l'élève utilisera les différents étayages proposés et construira sa pensée en maniant différents discours qui la caractériseront. Nous voyons que l'élève « *particulier* » est bien pris en considération quel que soit sa classe et son niveau, puisqu'il peut progresser à son rythme.

Une dernière observation nous interpelle sur le tableau des résultats précédents. En effet, nous observons une corrélation entre les types de pensée et les cycles mise en place au collège. La fin du cycle 4 correspond à l'installation de la pensée complexe. La seconde et la première S pourrait correspondre au cycle 5, permettant d'accéder à la pensée conceptuelle ce qui sous-tend, que la place des élèves de terminale S, ayant atteint une pensée conceptuelle, ne soit plus vraiment légitime au lycée et peut-être devrions nous les incorporer dans un nouveau cycle qui intégrerait la licence L1 de l'université ? La classe de terminale serait une année, où l'enseignement pourrait relever d'une dimension différente et permettrait peut-être une meilleure intégration à l'université.

L'étude des obstacles des conceptions et du discours des élèves, lors des interactions en classe, et de fait la place des transformations cognitives qui s'opèrent, nourrissent les fondements de la didactique instrumentale que je propose. Nous trouvons ses caractéristiques ci-après.

⁴⁰⁵Vygotski (1997) p 20

2. L'évolution de la didactique vers une didactique instrumentale.

La mise en place d'une didactique instrumentale s'appuie sur la théorie instrumentale qui porte le nom historico culturel. Nous pourrions la caractériser dans trois directions. En effet la première dimension de la méthodologie d'investigation de Vygotski est la découverte de l'essence même de la nature à travers l'histoire. Il étudie le mouvement perpétuel de son origine à sa mort et déduit ainsi le développement des fonctions psychiques supérieures. La deuxième dimension reconnaît que le développement culturel tire le développement biologique. La médiation nourrit et développe l'humain. Par les échanges de symboles, les outils du langage, les artefacts, le développement culturel va non seulement se développer en coalition avec le développement biologique mais également il va permettre une croissance plus rapide des fonctions psychiques supérieures. C'est à partir de l'analyse des outils de médiation utilisés, que nous pourrions comprendre ce qui caractérise l'élève. La troisième dimension s'inscrit dans cette acculturation. Le travail de recherche dans notre champ disciplinaire s'adapte et s'inscrit dans la ligne de conduite de la théorie instrumentale et vient forger une didactique instrumentale. Caractériser les conceptions des élèves sur le concept considéré, travailler dans une ZPPD où l'activité maitresse a été minutieusement choisie de façon à être adaptée et adaptable à l'ensemble des élèves, identifier les transformations des niveaux de savoir d'un élève au cours de son apprentissage, apporter si nécessaire des médiateurs externes à bon escient dans la ZPPD et enfin évaluer de manière dynamique constituent le cœur d'une didactique instrumentale que nous proposons.

3. Nos perspectives en termes de recherche : Une évaluation dynamique et positive

La ZPPD a trois types de conséquences sur l'apprentissage enseignement. Elle influence la manière d'aider un enfant dans l'exécution d'une tâche, la manière d'évaluer un enfant et enfin la manière de déterminer ce qui est approprié sur le plan du développement. De fait, la didactique instrumentale doit incorporer un système d'évaluation originale : l'évaluation dynamique proposée par Vygotski. Notre recherche n'a pu l'intégrer mais il nous semble utile de la porter à discussion en termes de perspective de recherche. « *L'évaluation dynamique* » de Vygotski devrait être prise en considération par notre institution. Elle permettrait de mettre au cœur des préoccupations de l'apprentissage la ZPPD et par-delà de valoriser le travail effectué par l'élève. Nous avons ciblé les limites où l'élève n'arrive pas à transformer l'action inter psychique en intra psychique. C'est une belle avancée qui pourrait nous guider dans la formation et l'évaluation de nos élèves. L'évaluation actuelle est basée sur les habiletés entièrement développées par l'enfant sans assistance, elle sous-estime le potentiel disponible de celui-ci, qui demain fera partie intégrante de sa construction cognitive.

Nous proposons une évaluation qui illustre les capacités en voie de développement. Pour Vygotski, « *le degré de capacité de l'enfant à apprendre de nouveaux outils est aussi important pour son développement que la manière dont il se sert des outils qu'il maîtrise déjà* »⁴⁰⁶. Ce dernier propose d'évaluer le niveau de performance assistée, c'est à dire le niveau que peut atteindre l'élève avec de l'aide. Cette méthode permettrait à l'élève, dans la ZPPD, d'apprendre la tâche qui sera évaluée plus tard. Le très bon élève, qui réussit le test passera à l'étape supérieure, celui qui ne réussit pas, aura recours à des médiateurs externes dans la ZPPD jusqu'à l'aboutissement complet de la tâche. Cette évaluation dynamique serait le reflet d'une

⁴⁰⁶ Bodrova Léong (2012) les outils de la pensée p 291

évaluation positive. Elle encouragerait les élèves à progresser et ne serait plus considérée comme une sanction. Selon l'enquête Pisa, publié le 19 avril 2017, les enseignants de sciences français apportent moins de soutien à leurs élèves que la moyenne de l'OCDE.

L'institution internationale souligne quelques critères pour qualifier la qualité du soutien des enseignants, comme « *s'intéresser aux apprentissages de leurs élèves, apporter une aide supplémentaire, lorsque les élèves en ont besoin, donner l'occasion aux élèves d'exprimer leurs opinions.* »⁴⁰⁷

Il semble que nos propositions répondent à ces attentes. Les nouveaux programmes de collège (2016) se dirigent vers cette intention et proposent une évaluation par compétences. Construits à partir du socle de connaissances, de compétences et de culture, ils s'appuient directement sur ce paradigme. A l'heure actuelle, la notion d'évaluation reste encore individuelle mais ne devrions-nous pas soumettre aux concepteurs de programme l'évaluation vygotkienne dite « évaluation dynamique », en 6^{ème} et 5^{ème}, au même titre que les évaluations par compétences, sans note qui se mettent en place dans certains collèges. Certes ces dernières sont semées d'embûches, qui compromettent à la fois le bon déroulement mais également les finalités mais elles ont le mérite d'exister et d'amener la réflexion vers un dispositif plus adapté. La didactique instrumentale dans toutes ses dimensions est peut-être aussi là pour répondre à cette problématique.

⁴⁰⁷ Delacloche, L. Les enseignants français en sciences apportent moins de soutien à leurs élèves que la moyenne de l'OCDE (rapport Pisa) AEF, Paris, dépêche n° 560693 du 19 avril 2017

CONCLUSION ET PERSPECTIVES EN TERMES DE FORMATION

Nous avons choisi le concept d'atome au vu des difficultés rencontrées dans son enseignement mais cette recherche aurait pu aussi être réalisée sur un autre concept. La théorie s'adapte à tous les concepts, puisqu'ils sont sources épistémiques de la construction de l'individu. Nous pensons que d'autres champs peuvent être investis comme le concept d'énergie, qui est introduit dès le collège et s'achève en terminale S. De plus, une étude de Bächtold et Munier⁴⁰⁸ (2014) montre que certains enseignants ne maîtrisent pas les aspects scientifiques et épistémologiques de l'énergie et que « *le morcellement de l'enseignement de l'énergie* » dans le programme de première S « *contribue à une vision fragmentée de l'énergie par l'enseignant* ». Ce concept et les notions s'y référant, pourraient être transcrits sur une carte conceptuelle.

Cette recherche nous a permis dans un premier temps de valider nos deux hypothèses de travail : à partir des conceptions des élèves, recueillies dans notre questionnaire général, nous avons apprécié le niveau de construction du médiateur interne, l'atome. Un profil des types de pensée des élèves par niveau de classe de la 5^{ème} à la terminale S a été présenté et a permis de valider notre première hypothèse de travail.

Nous avons apprécié le niveau de construction du médiateur interne, l'atome.

Ce point de départ nous a permis de mettre en place une expérimentation EPS SPC en première L sous forme d'une chorégraphie, autour de l'atome. Celle-ci a donné lieu à la validation de notre deuxième hypothèse.

La construction du médiateur interne, l'atome, nécessite le recours d'un médiateur externe.

L'étayage que nous empruntons à Bruner, nous a conduit à construire un médiateur externe sous forme d'une carte conceptuelle pour chaque niveau de classe. Au regard des résultats, issus de nos analyses des expérimentations 2, 3 et 4, il apparaît que les cartes conceptuelles ont un rôle majeur dans l'élaboration des savoirs et en particulier dans la construction cognitive des élèves pour notre objet d'étude.

Ce médiateur externe a permis de consolider le médiateur interne, l'atome. Il a facilité le passage des concepts quotidiens (au sens de Vygotski) en concepts scientifiques et a installé des enjeux symboliques dans la construction du savoir.

Nous avons suivi, au cours des expérimentations menées, l'évolution des modes de pensée des élèves et observé les progrès inhérents quant à l'appropriation du concept d'atome. Les outils et analyseurs, fournis par Vygotski, ont permis de suivre la construction du concept d'atome et de comprendre l'évolution des modes de pensée de chaque élève. De fait, nous avons validé notre hypothèse de recherche.

La construction du concept d'atome permet de comprendre l'évolution du mode de pensée de chaque élève.

Il nous faut à présent aborder la conclusion définitive de notre thèse et rassembler ce qui est pour nous l'essentiel de notre travail sur Vygotski. Cette conclusion engendrera la réponse définitive à notre question de recherche.

La première idée essentielle que nous garderons de ce travail s'appuie sur cette formule de Vygotski « *la culture tire le développement biologique* ». Nous avons choisi comme cadre théorique la théorie instrumentale de Vygotski. Nous démontrons par ce travail de

⁴⁰⁸ Bächtold, Munier (2014) p 21

recherche que ce modèle est toujours d'actualité. La publication de la traduction française de « *Histoire du développement des fonctions psychiques supérieures* » en 2014, comportant certains textes inachevés de Vygotski vient renforcer ce point de vue. Vygotski nous apporte des outils, qui ont été remaniés entre autres, par Leong et Bodrova (2012), qui sont à la fois des outils de compréhension, des outils d'action et des analyseurs d'activités pédagogiques. Nous avons, d'un point de vue empirique, prouvé au fur à mesure des expérimentations, la cohérence et la nécessité de leur emploi. Le modèle de la cognomorphose proposé au chapitre 8 a été vérifié et le caractère spiralaire de la construction des savoirs s'est avéré. Lev Vygotski avait lu tous les grands pédagogues et connaissait très bien les travaux de Piaget. Ses propres écrits en revanche ne seront connus, que dix ans après sa mort, par les penseurs occidentaux. Dans ce régime politique si particulier est née cette pensée originale et libre. Elle trouve aujourd'hui un écho chez de nombreux pédagogues, nourris d'influences différentes, construites largement au cours du dix-neuvième et vingtième siècles, dans un occident où les rapports entre intellectuels étaient possibles et féconds, dans un monde de plus grande liberté. Ce paradoxe est étonnant. Il n'a cependant pas empêché chez Vygotski le développement d'une pensée, dont les fondements aujourd'hui, se rapprochent de ceux de grands penseurs contemporains. Elle trouve auprès des pédagogues, des échos intellectuels qui semblent se répondre et se compléter aujourd'hui. Cette pensée novatrice, née dans un autre monde et dans d'autres logiques, trouve dans nos sociétés contemporaines aujourd'hui une grande actualité. Or ce rapprochement tient en grande partie dans cette idée que « *la culture tire le développement biologique* ». Elle est essentielle dans son œuvre et d'une grande modernité. Elle se rapproche de celles de nombreux penseurs qui ont montré que le développement culturel est le moteur même du développement de l'individu. Ce débat ancien entre l'acquis et l'inné, entre le biologique et le culturel, est tranché par Vygotski. C'est le développement culturel qui permet le développement intellectuel et qui donne à chaque individu une capacité d'agir librement dans la société. Loin de vouloir soumettre les élèves à une pédagogie qui les mettrait dans le même moule, Vygotski développe le concept « *d'enfants singuliers* » et par là justifie la théorie de la différenciation pédagogique, qui est au cœur de l'action éducative. Chaque élève n'est pas prisonnier d'un état biologique qui lui interdirait toute évolution et c'est bien, par le développement culturel, que chacun a la possibilité d'arriver à une meilleure conscience de son propre développement. Chaque élève peut même agir sur lui-même et augmenter ses capacités pour transformer le monde autour de lui.

La seconde idée de cette thèse, à partir de la théorie instrumentale de Vygotski, c'est celle de la création d'une didactique instrumentale pour les enseignants. Nous avons montré que la théorie de Vygotski avait une traduction pédagogique et professionnelle très précise. Les transformations des structures cognitives observées au cours de nos expérimentations ont prouvé l'impact des contenus d'enseignement sur les élèves et la nécessité de faire évoluer la didactique classique vers une didactique instrumentale. C'est bien, parce que des transformations cognitives ont été opérés, que l'élève peut voir ses savoirs scolaires modifiés et trouver du sens à ses apprentissages. Vygotski fait appel à Herbart et ce qu'il appelle « *la pédagogie formelle* » qui pourrait se résumer ainsi : « *c'est dans la forme de votre esprit que vous êtes transformé* ». C'est ainsi que l'épistémo-anthropologie trouve son sens. C'est bien parce que les structures cognitives sont transformées que l'individu lui-même peut se modifier, acquérir de meilleures connaissances, comprendre mieux le monde scientifique qui l'entoure et le monde en général.

La troisième idée essentielle est celle de la formation des enseignants au service de l'émancipation des individus. Cette idée sera développée et illustrée par nos préconisations aux enseignants qui souhaiteraient s'emparer de cette recherche pour réaliser une « *expérience réussie* ». Elles seront suivies de nos perspectives en termes de formation.

Nous ne sommes pas là pour décrire une méthode pédagogique, qui serait un ensemble de moyens raisonnés, pour arriver à un but. En effet la méthode d'enseignement considère que l'enseignant procède toujours de la même manière, rigoureuse et cohérente et que les résultats obtenus ne dépendent pas des publics et des contextes. Nous démontrons justement que le travail dans la ZPPD est adapté à chacun des élèves et que l'apport des médiateurs externes est différent d'un élève à un autre. Nous souhaitons apporter seulement quelques indicateurs de réussite dans cette démarche. Cette réussite demande :

- l'étude des conceptions des élèves sur l'objet étudié au préalable ;
- Une prise de conscience des élèves quant à cette question : « *Pourquoi apprend-on des savoirs formels, des savoirs décontextualisés et des savoirs normatifs* »? La réponse que nous leur formulons est : « *pour se former soi-même* » ; si nous ne posons pas cela comme sens de l'école, les élèves continueront à se concentrer sur des objets qui ne leur permettent pas suffisamment de se construire ;
- un choix raisonné de l'activité maîtresse, celle-ci devant correspondre à un niveau accessible dans la ZPPD pour les élèves ;
- le travail dans la ZPPD exige que les élèves soient mis en situation de recherche, de tâtonnement, d'initiative nécessitant un vrai dialogue qui permette de faire resurgir les conceptions ciblées ;
- le recours à des médiateurs externes, judicieusement réfléchi, et en adéquation avec les conceptions erronées découvertes (comme les cartes conceptuelles ou/et l'analyse des vidéos) ;
- une évaluation dynamique pour encourager les élèves dans l'appropriation des concepts ;
- une classe ou un groupe hétérogène. Le niveau des élèves est un facteur non négligeable lorsque les chefs d'établissement choisissent de composer les classes. Les classes hétérogènes, souvent problématiques pour les enseignants, sont essentielles dans notre expérimentation. Le débat entre pairs modifie la relation ternaire entre les élèves, le professeur et le savoir. Nous observons, dans notre exemple que si les pairs sont tous de niveau faible, la classe aura davantage de difficulté à progresser, puisque le discours des élèves fait partie du même registre. « *La modification du rapport social dans la classe est une conséquence du mode choisi de traitement des [obstacles] autant qu'une conséquence d'options psychologiques sur le mode d'apprentissage* »⁴⁰⁹ ;
- un faible taux d'absentéisme. Il est souvent relevé dans les statistiques comme précurseur de la déscolarisation ou du décrochage scolaire⁴¹⁰ et semble une nouvelle fois, être un facteur renforçant les difficultés chez l'élève. De façon générale, la progression de l'élève absent à quelques séances, montre souvent des différences avec celle de l'élève présent à tous les cours.

Notre implication dans la formation des enseignants du second degré nous conduit à interroger les résultats de cette recherche, dans une perspective de formation. La théorie de Vygotski, basée sur cette première idée forte que « *la culture tire le développement biologique* » nous parle de manière si moderne, d'élèves singuliers, qui n'avancent pas tous au même rythme. En effet, des élèves de 6^{ème}, de 3^{ème}, de terminale, ne sont pas au même niveau de développement, donc au même niveau de besoin. Être professeur du second degré nécessite (comme pour le premier degré) de tenir compte de l'âge développemental des élèves. Cette exigence aboutit à une épistémo-anthropologie basée sur les transformations cognitives. Elle

⁴⁰⁹ Garnier C, Bednartz N, Ulanovskaya I (1991) p 71.

⁴¹⁰ Cristofoli S (2015).

suppose une modification réelle de la formation des enseignants. Nous avons développé les contours de cette formation, basée sur des outils nouveaux, des expérimentations différentes, une approche pédagogique qui s'intéresse à tous les élèves, qu'ils soient en difficulté ou qu'ils le soient moins. Mon double statut, à la fois, enseignante pendant des années avec une très bonne connaissance des pratiques enseignantes et formatrice adoptant une attitude centrée sur des capacités réflexives sur la base d'un questionnement perpétuel, vient renforcer cette mise en place. Nos formations prennent appui sur le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation du bulletin officiel⁴¹¹. Dans l'outil académique de suivi des professeurs stagiaires⁴¹², en référence au référentiel précité et aux modalités d'évaluation du stage et de titularisation des personnels enseignants et d'éducation de l'enseignement public, la focale sur les compétences éducatives et pédagogiques nécessaires à la mise en œuvre de situations d'apprentissage et d'accompagnement des élèves a retenu notre attention. Ci-après nous retrouvons les composantes des compétences associées à cette focale :

Savoir préparer les séquences de classe : définir des programmations et des progressions ; identifier les objectifs, contenus, dispositifs, obstacles didactiques, stratégies d'étayage, modalités d'entraînement et d'évaluation.

Différencier son enseignement en fonction des rythmes d'apprentissage et des besoins de chacun. Connaître les processus et les mécanismes d'apprentissage.

Tenir compte des dimensions cognitive, affective et relationnelle de l'enseignement et de l'action éducative.

C'est, dans cette dernière composante, que nous trouvons en filigrane, la question essentielle du développement des structures cognitives.

Nous proposons trois types de formation qui rentrent dans le cadre des trois composantes de compétences retenues ci-dessus.

La première est basée sur la mise en place d'outils de compréhension, d'outils d'action et d'analyseurs d'activités pédagogiques dans une perspective vygotkienne. Cette formation s'inscrit dans la découverte de la ZPPD et des outils disponibles qui lui sont associés. L'incrémentation de l'évaluation dynamique dans cette formation se fera très naturellement en exposant le cadre de l'évaluation par compétences du socle commun de compétences, de connaissances et de culture du collège.

La deuxième pourrait définir certaines pratiques professorales du point de vue de la nature et de la qualité des interactions dans une situation d'apprentissage. Elle pourrait mener un moment de réflexion sur la façon de faciliter l'incorporation des instruments psychiques et culturels. Cette formation mettrait l'accent sur la qualité du langage et de l'importance des concepts dans la construction de la pensée et de fait de l'Homme. Elle associerait les dispositifs d'étayage proposés.

La troisième, serait axée sur la réforme du collège avec l'établissement de cartes conceptuelles sur un concept donné soit sur un cycle complet soit dans le cadre d'un EPI. L'outil serait présenté à la fois pour l'élève lors de la construction d'un concept au cours d'un cycle, mais également pour l'enseignant, qui pourrait ainsi présenter un concept à un collègue d'une autre discipline. Le but ultime étant de construire un concept à plusieurs disciplines avec l'élève dans le cadre des EPI et de prendre conscience d'un continuum conceptuel dans les EPI.

Nous pensons fournir à notre profession une contribution innovante. C'est, celle de penser et de promouvoir une pédagogie pour l'enfant en difficulté sans pour cela délaiss

⁴¹¹ BO n° 30 du 25 juillet 2013 et BO n° 13 du 26 mars 2015.

⁴¹² Annexe 51 : Outil académique de suivi des professeurs stagiaires en vigueur depuis l'année 2015.

l'enfant ordinaire, celle aussi de décrire l'École avec un vision de transformation positive de l'enfant, chacun allant à son rythme, celle enfin de construire « *le petit d'Homme* » tout en s'adaptant à l'évolution de notre société. La nécessité impérieuse de lutter contre l'échec scolaire, la nécessité d'insérer professionnellement des élèves dans un monde en pleine mutation dans lequel les sciences jouent un rôle primordial, donne des responsabilités nouvelles très fortes aux enseignants qui sont en classe devant les élèves et aux responsables de l'école qui prennent des décisions politiques et fixent le cadre institutionnel. Le but ultime de toute pédagogie est bien l'émancipation des individus. L'école a tenté de jouer ce rôle depuis plus de deux siècles. Elle devrait permettre à tous les élèves de trouver des formations intellectuelles et professionnelles, qui puissent leur permettre d'agir en citoyen libre, dans une société démocratique. Vygotski, au travers de sa théorie et des outils et analyseurs qui l'accompagnent, est un des penseurs qui donne du sens à ces nouvelles pédagogies qui se développent dans notre école. Elle n'agit pas de manière incantatoire avec des discours souvent voués à l'échec. Elle donne des outils concrets aux pédagogues pour les mettre au service de l'émancipation des élèves, but ultime de la mission de l'école.

Cette thèse a indiscutablement modifié l'approche de ma propre vision de la didactique et de la pédagogie. Le concept « *d'enfant singulier* » au cœur de ma réflexion depuis des années a trouvé, grâce à la théorie de Vygotski et aux outils élaborés par ses disciples, des réponses précises qui ont modifié considérablement, mes modes de pensées et, à terme, au travers de mes pratiques, le développement de mes étudiants et de leurs élèves.

Notre dernière pensée rejoint les propos de Avanzini et de Mougnotte (2012), propos qui résument et définissent bien le sens que nous donnons à la fois à notre recherche dans cette thèse, à notre pratique professionnelle et à la conception que nous avons de l'apprentissage des élèves et de l'École :

« Éduquer l'Homme, c'est le révéler à lui-même en manifestant à ses propres yeux son besoin d'éducation et son aptitude à profiter d'une pratique dont il est, à la fois ou alternativement, selon les moments ou les étapes, le destinataire et l'auteur⁴¹³ ».

⁴¹³Avanzini. Mougnotte (2012) p 135

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques.

AMADE-ESCOT, C ; VENTURINI, P. *Le milieu didactique : d'une étude empirique en contexte difficile à une réflexion sur le concept*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes, 2009, vol. 3, 162 p. (*Éducation et Didactique, 1*).

ANTCZAK, S. ; Le MARÉCHAL, J.-F. *Physique Chimie TS Nouveau Microméga*. Paris : Éditions Hatier, 2012, 648 p. (Microméga).

ARCHAMBAULT, J. ; CHOUINARD, R. Vers une gestion éducative de la classe. *Revue des sciences de l'éducation*. Boucherville : Gaëtan Morin (Ed.), 1996, vol. 23, n° 2, p.p. 427-428.

ASTOLFI, J.-P. Deux sortes de savoirs. *Les Cahiers pédagogiques*. Paris : Le Cercle de Recherche et d'Action Pédagogiques, 1986, n°244/245, p.p. 34-35.

ASTOLFI, J.-P. *Procédures d'apprentissage en Sciences expérimentales*. Paris : INRP, 1985, 226 p.

ASTOLFI, J.-P. *L'école pour apprendre l'élève face aux savoirs*. Issy-les-Moulineaux : ESF, 1992, 205 p. (Pédagogies références).

ASTOLFI, J.-P. ; DEVELAY, M. *La didactique des sciences*. 6^oéd. Paris : PUF de France, 2005, 127 p. (Que sais-je ?).

ASTOLFI, J.-P. ; DAROT, E. ; GINSBURGER-VOGEL Y. [et al.]. *Mots- clés de la didactique des Sciences*. Paris : De Boeck Supérieur, 2008, 200 p. (Pratiques pédagogiques).

AVENZINI, G. ; MOUGNOTTE, A. *Penser la philosophie de l'éducation. Pourquoi ? Pour quoi ?* Lyon : Chronique sociale, 2012, 181 p. (Savoir penser).

BACHELARD, G. *La formation de l'esprit scientifique*. 15^oéd. Paris : Vrin, 2004, 304 p.

BACHELARD, G. *Le nouvel esprit scientifique*. Paris : Presse Universitaire de France, 2013, 183 p. (Quadrige Manuels).

BACHELARD, S. Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In : DELATTRE, P. ; THELLIER, M. *Élaboration et justification des modèles*. Édité par *Application en biologie*. Paris : Maloine S.A., 1979, vol.1, p.p. 3-19.

BARTH, B. M. *Le savoir en construction. Former à une pédagogie de la compréhension*. Paris : Retz, 1993, 208 p.

BATAILLE, X. ; BAZOT, C. ; BREBION, J. [et al.]. *Physique Terminale S*. Paris : Éditions Belin, 2012, 336 p. (Lib'premium pour le professeur).

- BATAILLE, X. ; BEAUNIVEAU, E. ; BERTHELOT, S. [et al.]. *Physique Chimie 1ère S*. Paris : Éditions Belin, 2011, 360 p. (Physique Chimie, Lib'premium pour le professeur).
- BATAILLE, X. ; PARISI, J.-M. *Physique Chimie 2^{de}*. Paris : Éditions Belin, 2014, 351 p. (Physique Chimie, Nouvelle édition).
- BAUTIER, É. ; ROCHEX, J.-Y. *Henri Wallon. L'enfant et ses milieux*. Paris : Hachette Éducation, 1999, 142 p. (Portraits d'Éducateurs).
- BÉCU-ROBINAULT, K. Expérience et activités de modélisation de l'apprenant : introduction expérimentale du concept de puissance. *Didaskalia*, 1997, décembre, n°11, p.p. 7-37.
- BERNIÉ, J.-P. ; BROSSARD, M. *Vygotski et l'école. Apports et limites d'un modèle théorique pour penser l'éducation et la formation*. Monts : Presses Universitaires de Bordeaux, 2013, 411 p. (Études sur l'Éducation).
- BODROVA, É. ; J. LEONG, D. *Les outils de la pensée, l'approche vygotskienne dans l'éducation à la petite enfance*. Canada, Québec : Presses Universitaires du Québec col, 2012, 330 p. (Éducation à la petite enfance).
- BOILEVIN, J.-M. *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants*. Bruxelles : De Boeck, 2013, 379 p. (Regards didactiques).
- BRIAUD, P. Résoudre des situations-problèmes en physique pour se former à l'enseignement des sciences physiques avec des démarches d'investigation. In : COUTURE, C. ; DIONNE, L. (sous la direction). *La formation et le développement professionnel des enseignants en sciences, technologie et mathématiques*. Ottawa : Les presses de l'Université d'Ottawa, 2010, 370 p.
- BRONFENBRENNER, U. Toward an experimental ecology of human development. *American Psychologist*. Washington D C : Anne E. Kazak, 1977, vol. 32, n° 7, p.p. 513-531.
- BRONFENBRENNER, U. *The ecology of human development : Experiments by nature and design*. Cambridge, Massachussets, and London : Havard University Press, 1979, 368 p.
- BRONCKART, J.-P.; JOHN-STEINER, V. ;PANOFSKY, C.-P. *Vygotsky aujourd'hui*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé , 1985, 237 p. (textes de base en psychologie)
- BROSSARD, M. *VYGOTSKI Lectures et perspectives de recherches en Éducation*. Lille : Presses Universitaires du Septentrion, 2004, 255 p. Traduit par ANOKHINA, O. & BROSSARD, M. (Éducation et didactique).
- BROSSARD, M. ; FIJALKOW, J. *Apprendre à l'école : perspectives Piagétienne et Vygotskiennes*. Pessac : Presses universitaires de Bordeaux, 2001, 214 p.
- BROSSARD, M. ; FIJALKOW, J. *Vygotski et les recherches en éducation et en didactiques*. Pessac : Presses Universitaires de Bordeaux, 2008, 256 p. (Études sur l'Éducation).
- BRUNER, J.S. *Le Développement de l'enfant : savoir-faire, savoir dire*. Paris : PUF, 1983, 292 p. (psychologie d'aujourd'hui)

BRUNER J. *L'éducation, entrée dans la culture : les problèmes de l'école à la lumière de la psychologie culturelle*. Paris : Retz 1996, 255 p. Traduit par BONIN, Y. (Psychologie).

BRUNER, J. *Culture et modes de pensée*. Paris : RETZ, 2000, 220 p. (Petit forum).

BUNGE, M. *Philosophie de la physique*. Paris : Éditions du Seuil, 1975, 294 p. (Science ouverte).

BUZAN, T. ; BUZAN , B. *Mind map : Dessine-moi l'intelligence*. Paris : Éditions Eyrolles, 2012, 228 p.

CAUMEIL, J.-G. *Contribution à une épistémologie de l'éducation physique et sportive scolaire. Du savoir de l'activité motrice aux éléments d'une pédagogie du sens*. Lille : Presses universitaires du Septentrion, collection *Thèse à la carte*, 2000, t.1, 311 p.

CAUMEIL, J.-G. *Fonder les savoirs scolaires : épistémo-anthropologie et médiation pour un regard nouveau sur l'éducation*. Lyon : SCEREN-CRDP Académie de Lyon IUFM, 2006, 169 p. (Savoirs en pratiques autour d'une question d'enseignement).

CAUMEIL, J.-G. *Le savoir de l'activité motrice* : Sarrebruck : éditions universitaires européennes, 2011, 248 p.

CHAMPY, P. ; ETÉVÉ, C. *Dictionnaire encyclopédique de l'éducation et de la formation*. 3° éd. Paris : Retz, 2005, 1104 p. (Les usuels Retz).

CHEYMOL, N. ; HOFF, M. *Physique Chimie 3^{ème}*. Paris : Magnard, 2008, 239 p.

CHEVALLARD, Y. *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigner*. Grenoble : La pensée sauvage, 1985, réédition augmentée en 1991, 126 p. (Recherche en didactique des mathématiques).

CLOT, Y. (dir.). *Vygotski maintenant*. Paris : La Dispute, 2012, 414 p.

CORNU, L. ; VERGNIoux, A. *La didactique en questions*. Paris : Centre national de documentation pédagogique, 1992, 156 p.

COTARDIERE (de La), P. (dir.). *Histoire des sciences de l'Antiquité à nos jours*. Paris : Éditions Tallandier, 2004, 659 p. (Approches).

CRAHAY, M. *Psychologie de l'éducation*. Paris : Presse Universitaire de France, 1999, 373 p. (Quadriges Manuels).

DAVYDOV, V.V. *Problems of developmental teaching : the experience of theoretical and experimental psychological research*. Soviet Education, 1988, vol.30, p.p. 66-79.

DE CORTE, E. ; GEELIGS, T. ; PETERS, J. ; LANGERWEIS, N. ; VANDENBERGHE, R. *Les fondements de l'action didactique*. In : *Revue française de pédagogie*. Lyon : ENS Éditions, 1992, vol. 98, n° 1, p.p. 113-114

DEVELAY, M. *De l'apprentissage à l'enseignement*. Saint-Jean-de-Braye : ESF Éditeur, 2004, 163 p. (Pédagogies recherche).

DEVELAY, M. *Propos sur les Sciences de l'éducation- Réflexions épistémologiques*. Paris : ESF éditeur, 2001, 126 p.

DEVELAY, M. *Donner du sens à l'école*. Paris : ESF Éditeur, 2012, 123 p. (Pratique et enjeux pédagogiques).

DEWEY, J. *Logique. La théorie de l'enquête*. Paris : Presse Universitaire de France, 1967, 696p. (Publications de l'Université de Tunis. Faculté des lettres et sciences humaines. 6e série : Philosophie)

DREYER, M. ; VARIN, A. *Sciences SVT physique chimie 1^{ère} L - ES*. Paris : Éditions Belin, 2011, 191 p. (Pour le professeur).

DURANDEAU, J.-P. *Physique Chimie 5e*. Paris : Éditions Hachette, 2002, 175 p. (Collection étincelle).

DURANDEAU, J.-P. *Physique Chimie 4e*. Paris : Éditions Hachette Éducation, 2006, 223 p. (Collection Durandeaup).

DURANDEAU, J.-P. *Physique Chimie 3e*. Paris : Éditions Hachette Éducation, 2008, 240 p. (Collection Durandeaup).

DURANDEAU, J.-P. ; LACAZEDIEU, A. ; BESNARD, V. [et al.]. *Enseignement scientifique : Première L*. Paris : Hachette Éducation, 2006, 256 p.

ELKONIN, D. *Toward the problem of stages in the mental development of the child*. Soviet Psychology, 1972, vol.10, p 225-251.

FILLON, P. Des résultats d'une recherche en didactique à la définition et la mise en situation de contenus de formation. *Aster n° 32 : Didactique et formation des enseignants*. Lyon : INRP, 2001, p. 15-39.

FOULIN, J.-N. ; MOUCHON, S. *Psychologie de l'éducation*. Paris : Nathan, 1998, 127 p. (Collection éducation en poche).

FOULIN, J.-N. ; TOCZEK, M.-C. *Psychologie de l'enseignement*. Paris : Armand Colin, 2006, 126 p. (Collection éducation, 128).

FRACKOWIAK, P. *Pour une école du futur. Du neuf et du courage*. Lyon : Chronique sociale, 2009, 208 p. (Essentiel).

GARNIER, C. ; BEDNARZ, N. ; ULANOVSKAYA, I. *Après Vygotski et Piaget. Perspectives sociale et constructiviste. Écoles russe et occidentale*. Belgique, Bruxelles : De Boeck Université, 1991, 288 p. (Pédagogies en développement).

GIORDAN, A. *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris : Éditions Belin, 1999, 239 p. (Guide Belin de l'enseignement).

- GRIVOPOULOS, K. *Étude comparative des représentations sociales de l'atome en milieu scolaire, en France et en Grèce, en corrélation avec sa transposition didactique de 1945 à 2014*. [Internet] Thèse : Science de l'Éducation, Aix-Marseille, 2014.
- HAMELINE, D. *Courants et contre-courants dans la pédagogie contemporaine*. Château-Gontier : ESF éditeur, 2000, 144 p. (Pédagogies essais).
- HAMELINE, D. *Les objectifs pédagogiques. En formation initiale et en formation continue*. Condé-sur-Noireau : ESF Éditeur, 2005, 224 p. (Pédagogies outils).
- HARMAN, P.-M. *Energy, Force and Matter : The Conceptual Development of Nineteenth Century Physics*. Cambridge : Cambridge University Press, 1982, 182 p. (Cambridge history of science series).
- HERBART, J.-F. *Tact, autorité, expérience et sympathie en pédagogie*. Paris : Économica, 2007, 200 p.
- HOUDÉ, O. *Apprendre à résister*. Paris : Édition Le Pommier, 2014, 93 p. (Manifestes Le Pommier).
- JACOBI, D. ; BOQUILLON, M. ; PRÉVOST, P. Les représentations spatiales des concepts : inventaire et diversité. *Didaskalia n° 5 : Les cartes conceptuelles*. Paris : INRP, 1994, p.p. 11-24.
- JOHSUA, S. ; DUPIN, J.-J. *Représentations et modélisations : le "débat scientifique" dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang, 1989, 220 p. (Exploration. Recherches en sciences de l'éducation).
- JOHSUA, S. ; DUPIN, J.-J. *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France, 1993, 422 p. (Premier cycle).
- JOURDAN, J. *Microméga Physique Chimie 5e*. Paris : Éditions Hatier, 2006, 112 p. (Microméga Collège - Livre du professeur).
- JOURDAN, J. *Microméga Physique Chimie 3e*. Paris : Éditions Hatier, 2008, 240 p. (Microméga Collège – Manuel de l'élève).
- JUBAULT-BREGLER, M. ; PREVOST, V. (sous la direction). *Sciences 1^{ère} ES-L*. Paris : Nathan, 2011, 288 p. (Collection Sciences).
- KOZULIN, A. ; GINDIS, B. ; AGEYEV, V.-S. [et al.]. *Vygotski et l'éducation. Apprentissages, développement et contextes culturels*. Paris : Éditions Retz, 2009, 223 p. (Forum Éducation Culture).
- LABORDE, C. Deux usages complémentaires de la dimension sociale dans les situations d'apprentissage en mathématiques. In : GARNIER, C. ; BEDNARTZ, N. ; ULANOVSKAYA, I. *Après Vygotski et Piaget perspectives sociale et constructiviste : école russe et occidentale pédagogies en développement*. 1^{ère} éd. Bruxelles : De Boeck Université, 1991, 288 p.
- LACOMBE, D. « Didactique ». In : ASTOLFI, J.-P. ; DEVELAY, M. *La didactique des sciences*. Paris : Presses Universitaires de France, 2016, 127 p.
- LE MARÉCHAL, J.-F. *Microméga Physique 3^{ème} S*. Paris : Hatier, 2011, 206 p.

LELEUX, C. *L'école revue et corrigée. Une formation générale de base universelle et inconditionnelle*. Liège : De Boeck & Belin, 2001, 198 p.

LESSARD, C. ; ALTET, M. ; PAQUAY, L. [et al.] *Entre sens commun et sciences humaines*. Bruxelles : De Boeck, 2004, 277 p. (Perspectives en Éducation et Formation).

LÉVINES, J. ; DEVELAY, M. *Pour une anthropologie des savoirs scolaires. De la désappartenance à la réappartenance*. Condé-sur-Noireau : ESF Éditeur, 2004, 125 p. (Pratiques et enjeux pédagogiques).

LEONT'EV, A. *Activity, consciousness, and personality*. Englewood Cliffs New Jersey : Prentice Hall, (version originale publiée en 1977), 1978, 196 p.

LEONT'EV, A. *Problems in the development of mind*. Moscow : Progress Publishers, 1981, 454 p.

LOBROT, M. *À quoi sert l'école ?* Mayenne : Armand Colin, 1992, 180 p. (Bibliothèque Européenne des sciences de l'éducation).

Mc CAGG, E.C. ; DANSEREAU, D.F. A convergent paradigm for examining knowledge mapping as a learning strategy. *Journal of Educational Research*. New-York. 1991, vol. 84, n° 6, p.p. 317-324.

Mc LUHAN, M. *Understanding media : The extensions of man [Compréhension des médias]*. New York : McGraw-Hill, 1964, 318 p. (Signet books).

MARTINAND, J.-L. Questions pour la recherche : la référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires. In : DELACÔTE, G. ; TIBERGHIEU, A. (coord.). *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international*. Paris : Éditions du CNRS, 1984, 659 p.

MEIRIEU, P. *Un pédagogue dans la cité*. Paris : Desclée de Brouwer, 2012, 286 p.

MERCIER, A., SCHUBAUER-LEONI, M.- L., SENSEVY, G. Vers une didactique comparée. In: *Revue française de pédagogie*. Lyon : ENS Éditions, 2002, vol. 141, n° 1, p.p. 5-16.

MORGE, L. Former sur les aspects pratiques et théoriques des interactions enseignant-élèves en classe de sciences. *Aster n° 32 : Didactique et formation des enseignants*. Lyon : INRP, 2001, p.p. 41-62.

NOVAK, J.-D. ; WANDERSEE, J.-H. Perspectives on concept mapping. *Journal of research in science teaching*. New-York : Wiley, 1990, Vol. 27, n°10.

PARISI, J.-M. *Physique Chimie 4^{ème}*. Paris : Belin, 2011, 223 p. (Collection Parisi).

PASTRÉ, P. *La didactique professionnelle. Approche anthropologique du développement chez les adultes*. Paris : PUF, 2011, 318 p. (Collection Formation et pratiques professionnelles).

PERRENOUD, P. *Métier d'élève et sens du travail scolaire*. 3^{ème} éd. Paris : ESF, 1996, 207 p.

PIAGET, J. *Piaget et l'éducation*. Paris : Presse Universitaire de France, 1997, 128 p. (Pédagogues et pédagogies).

POPPER, K.-R. *Le réalisme et la science*. Paris : Hermann, 1990, 427 p. (Post-scriptum la logique de la découverte scientifique).

PRÉVOST, V. ; RICHOUX, B. *Physique Chimie 2^{nde}*. Paris : Nathan, 2010, 344 p. (Collection Sirius).

PRÉVOST, V. ; RICHOUX, B. *Physique Chimie 1^{ère}S*. Paris : Nathan, 2011, 408 p. (Collection Sirius).

PULLMAN, B. *L'atome dans l'histoire de la pensée humaine*. Paris : Fayard, 1995, 438 p. (Le temps des sciences).

RABARDEL, P. *Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : A. Colin, 1995, 239 p. (Collection U, série psychologie).

RABARDEL, P. ; PASTRÉ, P. *Modèle du sujet pour la conception : dialectiques activités développement*. Toulouse : Octarès, 2005, 260 p. (Travail et activité humaine).

RADVANYI, P. *Histoire de l'atome : de l'intuition à la réalité*. Paris : Éditions Belin, 2007, 351 p. (Belin Sup. Histoire des sciences physiques).

RESNICK, L. B. (1983). Mathematics and science learning: A new conception. *Science*.1983, 220, p.p. 477-478.

ROBARDET, G. ; GUILLAUD, J.-C. *Éléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques. De la recherche à la pratique*. Grenoble : I.U.F.M. de Grenoble, 1995, 227 p.

ROCHEX, J.-Y. ; CRINON, J. *La construction des inégalités scolaires : au cœur des pratiques et des dispositifs d'enseignement*. Rennes : Presses universitaires de Rennes, 2011, p. 212. (Collection Paideia).

RUFFENACH, M. ; DECROIX, S. *Physique Chimie 2^{nde}*. Paris : Bordas, 2010, 335 p. (Collection E.S.P.A.C.E).

RUFFENACH, M. ; DECROIX, S. *Physique Chimie 1^{ère} S*. Paris : Bordas, 2011, 479 p. (Collection E.S.P.A.C.E).

SCHUBAUER-LEONI, M.L. ; LEUTENEGGER, F. Expliquer et comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique Ordinaire. In : SAADA-ROBERT, M. ; LEUTENEGGER, F. *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation*. Paris : De Boeck Supérieur, 2002, p.p. 227-251. (Raisons éducatives).

SCHWEBEL, M. *Piaget à l'école*. Paris : Denoël Gonthier, 1976, 284 p. (Bibliothèque Médiations).

SENSEVY, G. Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In : SENSEVY, G. ; MERCIER, A. (dir). *Agir Ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves dans la classe*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes, 2007, p.p. 13-49.

SENSEVY, G. *Le sens du savoir, éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles : De Boeck, 2011, 796 p.

SORBES, X. *Cinq défis pour l'école*. Paris : L'Harmattan, 2008, 199 p. (Savoir et formation).

THARP, R.-G. ; GALLIMORE, R. *Roussing monds to life : Teaching, learning and schooling in social context*. Cambridge : Cambridge University Press, 1988, 317 p.

THOUIN, M. *Réaliser une recherche en didactique*. Canada, Québec : Éditions Multimondes, 2014, 295 p.

THUILLIER, P. *La revanche des sorcières. L'irrationnel et la pensée scientifique*. Paris : Éditions Belin, 1997, 159 p. (Belin Sciences).

TIBERGHIEU, A. Conception et analyse de ressources d'enseignement : le cas des démarches d'investigation. In : GRANGEAT, M. *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisition des élèves*. Lyon : ENS Éditions, 2011, (Didactiques, apprentissages, enseignements). p.p. 185 -211.

TOOMELA, A.; VALSINER, J. Methodological thinking in psychology: 60 years gone astray ? *Advances in Cultural Psychology: Constructing Human Development*. Charlotte : Information Age Publishing , 2010, 358 p.

VALSINER, J. *Human development and culture : The social nature of personality and its study*. Lexington Massachusetts : Lexington Books, 1989, 395 p.

VENGER, L.-A. The emergence of perceptual actions. In : COLE, M. *Soviet developmental psychology : An anthology*. White Plains, New York: M. E. Sharpe, (1^{ère} éd. 1969), 1977, 621 p.
VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. *Recherche en didactique des mathématiques*. Grenoble : La pensée sauvage, 1996, vol. 10, n°2-3, p.p. 133-170.

VERGNAUD, G. *Lev Vygotski. Pédagogue et penseur de notre temps*. Paris : Hachette Éducation, 2000, 95 p. (Portraits d'Éducateurs).

VERMERSCH, P. *L'entretien d'explicitation en formation initiale et en formation continue*. Château-Gontier : ESF Éditeur, 1994, 182 p. (Collection pédagogie).

VERRET, M. *Le temps des études - 2 volumes*. Paris : Honoré Champion, 1975, 837 p.

VIGNOLES, M. ; COUSINIE, S. ; DENIS, G. [et al.]. *Physique – Chimie 4e*. Paris : Éditions Nathan, 2007, 240 p. (Collection Hélène CARRE).

VYGOTSKI, L.-S.; PIAGET, J.; SEVE, F. (traduction). 3^oéd. *Pensée et langage*. Paris : La Dispute, 1997, 536 p.

VYGOTSKI, L.-S. *Mind in Society : Development of Higher Psychological Processes*. London : Harvard University Press, 1978, 174 p. New Ed. versions originales publiées en 1930, 1933, 1935, 1978.

VYGOTSKI, L.-S. (traduction). *Histoire du développement des fonctions psychiques supérieures*. Paris : La Dispute, 2014, 600 p.

WALLISER, B. *Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse des systèmes*. Paris : Éditions du Seuil, 1977, 249 p.

WALLON, H. *L'évolution psychologique de l'enfant*. 12^oéd. Paris : Armand Colin, 2012, 230 p.

WALLON, H. *Les origines du caractère chez l'enfant*. 3^oéd. Paris : Presses universitaires de France, 1993, 301 p. (Quadrige 53).

WANDERSEE, J.-H. Concept mapping and the cartography of cognition. *Journal of research in Science Teaching*, 1990, vol.27, n^o10, p.p. 923-936 (New York: Wiley).

WOOD, D.; BRUNER, J.-S.; ROSS, G. The role of tutoring in problem solving. *Journal of child Psychology and Psychiatry*. 1976, vol.17, p.p. 89-100.

ZAPOROZHETS, A.-V. Some of the psychological problems of sensory training in early childhood and the preschool period. In: COLE, M.; MALTZMAN, I. *A handbook of contemporary Soviet psychology*. New York : Basic Books, 1977, p.p. 87-121.

ZOUARI, Y. Pédagogie et didactique à l'épreuve de la modernité. In : WEISSER, M. (dir.). *Questions Vives. Recherches en éducation. Dispositif didactique ? Dispositif pédagogique ? Situations d'apprentissage !* Marseille : Université Aix-Marseille, 2010, vol. 4, n^o 13, 144 p.

Bulletins officiels, documents d'accompagnement

ACADÉMIE-AMIENS. *Tâche complexe : Textes officiels* [en ligne]. Juillet 2016.

Disponible sur :

<http://spc.ac-amiens.fr/576-tache-complexe-textes-officiels.html> [consulté le 18/09/2016].

ÉDUSCOL. *Ressource d'accompagnement des anciens programmes de physique-chimie de cinquième et de quatrième* [en ligne]. Octobre 2016, 107 p.

Disponible sur :

http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Programmes/54/1/SPC_DOC_DAC_CC_111541.pdf [consulté le 28/10/2016].

GIORDANA, A. *Classe inversée ; 3^{ème}, seconde-Atome* [en ligne]. Aix-Marseille : Académie Aix-Marseille, Mai 2016.

Disponible sur :

http://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/jcms/c_10445725/fr/classe-inversee-3eme-seconde-atome [consulté le 22/09/2016].

MEN (2008). Programmes de collège. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* [en ligne]. Spécial n° 6 du 28 août 2008.

Disponible sur : http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_6/52/7/Programme_physique-chimie_33527.pdf [consulté le 28/08/2014].

MEN (2010). Programme de Physique-Chimie en classe de seconde générale et technologique. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* [en ligne]. Spécial n° 4 du 29 avril 2010.

Disponible sur :

http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_4/72/9/physique_chimie_143729.pdf [consulté le 28/08/2014].

MEN (2010). Programmes de Physique-Chimie en classe de première S, ES et L. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* [en ligne]. Spécial n° 9 du 30 septembre 2010.

Disponible sur : http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_9/21/3/physique-chimieS_155213.p [consulté le 28/08/2014].

Disponible sur : http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_9/21/5/sciences_155215.pdf [consulté le 28/08/2014].

MEN (2011). Programme de Physique-Chimie en classe de Terminale S. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* [en ligne]. Spécial n° 8 du 13 octobre 2011.

Disponible sur :

http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_8_men/99/0/physique_chimie_S_195990.pdf [consulté le 28/08/2014].

MEN (2013). Formation des enseignants. Référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* [en ligne]. N° 30 du 25 juillet 2013.

Disponible sur : http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?cid_bo=73066 [consulté le 28/11/2016].

MEN (2015). Grille d'évaluation des professeurs stagiaires. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* [en ligne]. N° 13 du 26 mars 2015. Disponible sur :

http://cache.media.education.gouv.fr/file/13/03/7/encart6379_fiche11_404037.pdf [consulté le 28/11/2016].

MEN (2015). Socle commun de connaissances, de compétences et de culture. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* [en ligne]. N°17 du 23 avril 2015.

Disponible sur : http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?cid_bo=87834 [consulté le 22/09/2015].

MEN (2015). Projet de programme cycle 2 – 3 & 4. *Conseil supérieur des programmes* [en ligne]. 18 septembre 2015. Disponible sur :

http://cache.media.education.gouv.fr/file/09septembre/01/2/20150918ProgrammesCycles234_469012.pdf [consulté le 22/09/2015].

MEN (2015). Programme du collège à la rentrée 2016. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* [en ligne]. Spécial n°11 du 26 novembre 2015.

Cycle 3 disponible sur : http://www.education.gouv.fr/cid81/les-programmes.html#Cycle_3_-_cycle_de_consolidation_CM1_CM2_et_classe_de_sixieme

Cycle 4 disponible sur :

http://www.education.gouv.fr/cid81/les-programmes.html#Au_cycle_4cycle_des_appfondissements_classes_de_5e_4e_et_3e

[consulté le 22/03/2016].

MEN (2015). Programmes d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2), du cycle de consolidation (cycle 3) et du cycle des approfondissements (cycle 4). Modification. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* [en ligne]. n°48 du 24 décembre 2015

Disponible sur : http://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin_officiel.html?cid_bo=96710

[consulté le 22/03/2016].

MEN (2016). Ressources d'accompagnement des anciens programmes de physique-chimie de cinquième et quatrième. *Éduscol* [en ligne]. 2008 revisité en octobre 2016.

Disponible sur :

http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Programmes/54/1/SPC_DOC_DAC_CC_111541.pdf

f [consulté le 15/03/2017].

Références électroniques

ACADÉMIE DE ROUEN. *De l'évolution du modèle moléculaire à la réalité de la molécule*, ressources pédagogiques [en ligne]. Rouen, 2007.

Disponible sur : <http://spcfa.spip.ac-rouen.fr/spip.php?article149> [consulté le 18/03/2016].

BÄCHTOLD, M. ; MUNIER, V. Enseigner le concept d'énergie en physique et éduquer à l'énergie : rupture ou continuité ? In *Actes des 9^{ièmes} rencontres de l'ARDIST* [en ligne]. Marseille 2014, Skholè, Vol 18, n°1, pp. 21-29.

Disponible sur <http://www.ardist.org/wp-content/Num%C3%A9ro-1-Communications-548-p.pdf> [consulté 12/07/2017].

BARNIER, G. *Théorie de l'apprentissage et pratique d'enseignement* [en ligne]. Nice.

Disponible sur : http://www.ac-nice.fr/iencagnes/file/peda/general/Theories_apprentissage.pdf

[consulté le 18/03/2017].

BONNAULT-LEGRAND, B. *Le sens des apprentissages*. Mémoire Master 2 : Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation [en ligne]. Nantes, 2012, 69 p.

Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00781056/document> [consulté le 18/08/2016].

BOQUILLON, M. ; JACOBI, D. ; PREVOST, P. Représentations spatiales de concepts scientifiques : inventaire et diversité. *Didaskalia* [en ligne]. Paris, 1994, n°5, p.p. 7-23.

Disponible sur : <http://hdl.handle.net/2042/23233> [consulté le 21/06/2016].

BOULABIAR-KERKENI, A. Notions et modèles fondateurs de la connaissance des élèves et des étudiants en oxydoréduction [thèse en ligne]. Lyon : Université Lumière Lyon 2, 17 décembre 2004. Format PDF.

Disponible sur :

http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2004.kerkeni_a&part=189901

[consulté 14/02/17].

BOULANGER, D. *Mise en perspective de la théorie des représentations sociales originale dans le contexte de l'engagement parental déployé au cœur du programme Famille, école, communauté, réussir, ensemble* [en ligne]. Thèse : Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke, 2016.

Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/299505868> [consulté le 11/03/2017].

BREHELIN, D. ; GUEDJ, M. Le modèle particulière au collège : fluctuations des programmes et apports de l'histoire des Sciences. *Didaskalia n°31 : Recherches sur la communication et l'apprentissage des sciences et des techniques* [en ligne]. Paris : INRP, 2007, p.p. 129-165.

Disponible sur :

http://ife.ens-lyon.fr/publications/editionelectronique/didaskalia/INRP_RD031_5.pdf

[consulté le 21/05/2016].

BROUSSEAU, G. Le contrat didactique : le milieu. *Recherche en didactique des mathématiques* [en ligne]. 1988, vol. 9, n°3, p.p. 309-336.

Disponible sur : <http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2012/02/contrat-milieu1.pdf>

[consulté le 18/08/2016].

BROUSSEAU, G. *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques* [en ligne]. 2010, 9 p.

Disponible sur : http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2010/09/Glossaire_V5.pdf

[consulté le 18/08/2016].

CERN. *Le modèle standard des particules* [en ligne] Genève : Cern, 2015.

Disponible sur : <https://home.cern/fr/about/physics/standard-model> [consulté le 16/08/2016].

CHEVALLARD, Y. La théorie anthropologique des faits didactiques devant l'enseignement de l'altérité culturelle et linguistique. Le point de vue d'un outsider. In : *Construction identitaire et altérité : Créations curriculaires et didactique des langues (colloque)*[en ligne]. 2006.

Disponible sur :

http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/La_TAD_devant_l_alterite_culturelle_et_linguistique.pdf [consulté le 07/07/2016].

CHEVALLARD, Y. « La didactique, dites-vous? ». *Éducation et didactique* [en ligne]. 2010, vol. 4, n°1, p.p. 139-148.

Disponible sur : <https://educationdidactique.revues.org/771> [consulté le 07/07/2016].

CHOMAT, A. ; LARCHER, C. ; MEHEUT, M. Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster n°7 : Modèles et modélisation* [en ligne]. Lyon : INRP, 1988, p.p. 143-184.

Disponible sur : <http://ife.ens-lyon.fr/publications/edition-electronique/aster/RA007-09.pdf>

[consulté le 22/05/2016].

CNRS/IN2P3. *La radioactivité* [en ligne]. 2001 [réf. du 17 juillet 2016].
Disponible sur : <http://www.laradioactivite.com/site/pages/ladecouvertedelafission.htm> [consulté le 11/09/2016].

CRISTOFOLI, S. L'absentéisme des élèves soumis à l'obligation scolaire. Un lien étroit avec le climat scolaire et le bien-être des élèves. In : *Éducation & Formations* [en ligne]. Décembre 2015, n° 88-89, p.p. 101-121.

Disponible sur :
http://cache.media.education.gouv.fr/file/revue_88-89/61/0/depp-2015-EF-88-89-absenteisme-eleves-soumis-obligation-scolaire_510610.pdf [consulté le 11/09/2016].

DELEAU, M. Actualité de la notion de médiation sémiotique de la vie mentale. In : *Enfance* [en ligne]. 1989, vol.42, n°1, p.p. 31-38.

Disponible sur : www.persee.fr/doc/enfan_0013-7545_1989_num_42_1_1876 [consulté le 03/08/2016].

DELVOLVE, N. Métacognition et réussite des élèves. *Les Cahiers pédagogiques* [en ligne]. Paris : Le Cercle de Recherche et d'Action Pédagogiques, 2006.

Disponible sur : <http://www.cahierspedagogiques.com/spip.php?article2767> [consulté 01/04/2016].

DUBOSQ, M. Cartes conceptuelles, cartes mentales ou cartes heuristiques, quels outils choisir dans la perspective des nouveaux programmes de collège ? In *Actes des 9^{èmes} rencontres de l'ARDIST* [en ligne]. Lens, 2016, p.p. 91-96.

Disponible sur : <http://www.ardist.org/wp-content//Actes-ARDiST-Lens-2016.pdf> [consulté 01/06/2017].

DUBOSQ, M. Trousse d'urgence pour les enseignants de sciences physiques. *Les Cahiers pédagogiques* [en ligne]. Paris : Le Cercle de Recherche et d'Action Pédagogiques, 2016.

Disponible sur : <http://www.cahiers-pedagogiques.com/Trousse-d-urgence-pour-lesenseignants-de-Sciences-Physiques> [consulté 16/08/2016].

DORIER, J.-L. ; LEUTENEGGER, F. ; SCHNEUWLY, B. Le didactique, les didactiques, la didactique (introduction). In : *Didactique en construction, construction des didactiques* [en ligne]. Bruxelles : De Boeck, 2013, p.p. 7-35. (Raisons Éducatives).

Disponible sur : <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:29625> [consulté le 22/07/2016].

EL HAGE, F. ; REYNAUD, C. L'approche écologique dans les théories de l'apprentissage : une perspective de recherche concernant le « sujet-apprenant ». *Éducation et socialisation* [en ligne].

Montpellier : Presses Universitaires de la Méditerranée, 2014, vol. 36.

Disponible sur : <http://edso.revues.org/1048> [consulté le 19/06/2017].

GAUCHARD, P.-A. Modèles pour l'atome [en ligne]. Grenoble : Université Joseph Fourier, 2011. Disponible sur :

http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/gauchard_pierre_alexis/gauchard_pierre_alexis_p01/gauchard_pierre_alexis_p01.pdf [consulté en 14 /08/2016].

IVIC, I. Lev S. Vygotsky (1896-1934). *Perspectives : revue trimestrielle d'éducation comparée*. Paris, UNESCO : Bureau international d'éducation [en ligne]. 1994, vol. 24, n° 3/4, p.p. 793-820. Disponible sur : <http://www.ibe.unesco.org/sites/default/files/vygotskf.pdf> [consulté le 21/06/2016].

LEDERMAN, N.-G. ; ABD-EL-KHALICK, F. ; BELL, R.L. [et al.]. Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* [en ligne]. 2002, vol. 39, n°6. p.p. 497-521. Disponible sur : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tea.v39:6/issuetoc> [consulté le 09/09/16].

LE MOIGNE, J.-L. Qu'est-ce qu'un Modèle ? *Confrontations psychiatriques : Les modèles expérimentaux et la clinique* [en ligne]. Aix-en-Provence : CNRS. 1987, 21 p.

Disponible sur : <http://archive.mcxapc.org/docs/ateliers/lemoign2.pdf> [consulté le 24/08/16].

MACE, A. Aristote - Définir, décrire, classer chez Aristote : des opérations propédeutiques à la connaissance scientifique des choses. *Philopsis* [en ligne]. Paris : Delagrave Edition, 2006, 12 p. Disponible sur : <http://www.philopsis.fr/spip.php?article102> [consulté le 20/10/2016].

PDF CREATOR. *histor_atome-3e*. [en ligne]. 2007.

Disponible sur http://physique.buil.pagesperso-orange.fr/activ_3e/chimie-3e/histor_atome-3e.pdf [consulté le 17/07/2016].

PIAGET, J. L'équilibration des structures cognitives : problème central du développement In : PIAGET, A. *Études d'épistémologie génétique* [en ligne]. Paris : Presses universitaires de France, 1975, p.p. 2-47.

Disponible sur :

http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/textes/VE/JP75_EqStrCog_avt_propos_chap1.pdf [consulté le 19/08/2016].

POURPRIX, B. ; LANNOO, J. Albert Einstein et la théorie du mouvement brownien. In : *Bulletin de l'Union des Physiciens* [en ligne]. 1981, n°634, p.p. 1123-1132.

Disponible sur : https://www.udppc.asso.fr/bupdoc/consultation/articlebup.php?ID_fiche=12499 [consulté le 08/08/2016].

MERCIER, A. Pour une lecture anthropologique du programme didactique. In : *Éducation et didactique* [en ligne]. 2008, vol.2, n°1, varia, p.p. 7-40.

Disponible sur :

<http://educationdidactique.revues.org/251> [consulté le 22/07/2016].

MISEUR, L. La Chimie.net [en ligne]. 2017.

Disponible sur : <http://www.lachimie.net> [consulté le 18/07/2016].

NOVAK, J.-D. ; CAÑAS, A.-J. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them. In : *Technical Report IHMC CmapTools* [en ligne]. Florida : Institute for Human and Machine Cognition, 2008.

Disponible sur :

<http://cmap.ihmc.us/publications/researchpapers/theorycmaps/theoryunderlyingconceptmaps.htm> [consulté le 16/07/2016].

RUTHERFORD, E. The scattering of α and β particles by matter and the structure of the Atom. *Philosophical Magazine Series 6* [en ligne]. 1911, vol 21, p.p. 669-688.
Disponible sur : <http://mrmackenzie.co.uk/wp-content/uploads/2011/05/Rutherford-paper.pdf> [consulté le 11/07/2016].

SCHEIDECKER-CHEVALLIER, M. Le débat sur les atomes au XIX^{ème} siècle. In : La pluridisciplinarité dans les enseignements scientifiques - Tome 1 : Histoire des sciences. *Actes de l'université d'été 2001*, [en ligne]. Poitiers : Éducol, 2003, p.p. 57-72.
Disponible sur :
http://media.eduscol.education.fr/file/Formation_continue_enseignants/91/9/uescience_histoireT1_acte_111919.pdf [consulté le 11/09/2016].

SCHNEIDER, M. Alain Mercier. Un parcours peu ordinaire entre TDS et TAD et au-delà. In : *Education et sciences de l'apprendre* [en ligne]. 2013.
Disponible sur :
http://www.canalu.tv/video/ecole_normale_superieure_de_lyon/la_theorie_anthropologique_du_didactique_et_la_theorie_des_situations_didactiques.13422 [consulté le 24/08/2016].

SENSEVY, G. Didactique et sciences de l'éducation : une reconfiguration ? In : VERGNIoux, A. (Ed.), *Quarante ans des sciences de l'éducation. L'âge de la maturité ? Questions vives* [en ligne]. Caen : Presses Universitaires de Caen, 2009, p.p. 49-57.
Disponible sur : https://www.unicaen.fr/puc/images/0440ans_education.pdf [consulté le 17/07/2016].

SENSEVY, G. Filmer la pratique : un point de vue de la théorie de l'action conjointe en didactique. In : VEILLARD, L. ; TIBERGHIE, A. *Introduction In : VISA : Instrumentation de la recherche en éducation* [en ligne]. Paris : Éditions de la Maison des sciences de l'homme, 2013.
Disponible sur : <http://books.openedition.org/editionsms/1954> [consulté le 12/08/16].

THURIN, M. *Quel étayage pour la construction de récits de rêves d'enfants ?* [en ligne].
Disponible sur : <http://www.psydoc-france.fr/ConceptsPsy/Concepts/etayage/recitreve.html> [consulté le 5/06/2017].

TOCHON, F.-V. Les cartes de concepts dans la recherche cognitive sur l'apprentissage et l'enseignement. *Perspectives documentaires en éducation* [en ligne]. Lyon : ENS éditions, 1990, n°21, p.p. 87-105. (Repères bibliographiques).
Disponible sur : <http://ife.ens-lyon.fr/publications/edition-electronique/perspectives-documentaires/RP021-6.pdf> [consulté le 07/08/16].

TRIQUET, E. *Cartes et trames conceptuelles*. [Cours de Master en ligne UF4 : Fondamentaux de la didactique et outils professionnels]. Grenoble : Université Pierre Mendès-France, 2007.
Disponible sur : <http://imss-www.upmf-grenoble.fr/prevert/SpecialiteDEMS/Cours%202007/UE4/Trame.pdf> [Consulté le 10-09-2015].

VENTURINI, P. Action, activité, « agir » conjoints en didactique : discussion théorique. In : *Éducation et didactique* [en ligne]. 2012, vol.6, n°1, varia, p.p. 127-136.
Disponible sur :
<https://educationdidactique.revues.org/1348> [consulté le 23/07/2016].

WALLON, H. Le rôle de l'autre dans la conscience du moi. *Psychologie et Éducation de l'Enfance* [en ligne]. 1959, vol.12, n°3, p.p. 277-286.
Disponible sur : http://www.persee.fr/doc/enfan_0013-7545_1959_num_12_3_1443 [consulté le 22/10/2016].

WEISSER, M. Dispositif didactique ? Dispositif pédagogique ? Situations d'apprentissage ! In : *Questions Vives, recherches en éducation* [en ligne]. Janvier 2011, vol.4, n°13.
Disponible sur :
<http://questionsvives.revues.org/271> [consulté le 17/07/2016].

WOZNIAK, F. ; BOSCH, M. ; ARTAUD, M. *Yves Chevallard. La théorie anthropologique du didactique* [en ligne].2008.
Disponible sur : <http://www.ardm.eu/contenu/yves-chevallard> [consulté le 28/08/2016].

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Table des tableaux

Tableau 1. Les différentes théories étudiées au cours de la recherche.	23
Tableau 2. Découvertes importantes suite au modèle de Schrödinger (modèle quantique).	39
Tableau 3. Types de boson correspondant aux forces fondamentales.	40
Tableau 4. Récapitulatif des domaines de formation du socle de connaissances, de compétences et de culture.	49
Tableau 5. Objectifs du programme du cycle 3.	50
Tableau 6. Evolution de l'ordre de présentation des concepts, symboles et modèles.	53
Tableau 7. Quelques critères permettant de différencier la didactique et la pédagogie.	60
Tableau 8. Questions prioritaires du didacticien et du pédagogue en aval de la séance.	60
Tableau 9. Liste des analyseurs et des outils apportés par la théorie instrumentale de Vygotski.	80
Tableau 10. Fonctions psychiques élémentaires et supérieures.	83
Tableau 11. Définition du concept en triplet selon Vergnaud.	86
Tableau 12. Présentation de la ZPPD, ZLM et ZAP.	99
Tableau 13. Types d'images référencés par Lvovski.	105
Tableau 14. Récapitulatif de notre expérimentation dans le cadre de cette thèse.	117
Tableau 15. Etapes de la thèse.	119
Tableau 16. Découpage du discours en trois registres : savoir quotidien, savoir empirique, savoir scientifique.	125
Tableau 17. Récapitulatif des types de pensée des élèves en collège et lycée pour le concept d'atome.	146
Tableau 18. Récapitulatif de la mise en œuvre expérimentation 1.	148
Tableau 19. Canevas de la séance test EPS SPC expérimentation 1.	149
Tableau 20. Registre institutionnel première L expérience 1.	151
Tableau 21. Récapitulatif de la mise en œuvre classe de seconde option danse expérimentation 2.	156
Tableau 22. Quelques concepts communs EPS SPC autour de l'atome.	157
Tableau 23. Déroulement des séances expérimentation 2.	157
Tableau 24. Récapitulatif du corpus expérimentation 2.	158
Tableau 25. Analyse découpage 2 expérimentation 2.	164
Tableau 26. Récapitulatif de la mise en œuvre classe de troisième cycle danse expérimentation 3.	167
Tableau 27. Déroulement des séances expérimentation 3.	168
Tableau 28. Récapitulatif du corpus expérimentation 3.	168
Tableau 29. Modèles utilisés à partir de la 3 ^{ème}	171
Tableau 30. Analyse découpage 2 classe de troisième expérimentation 3.	175
Tableau 31. Récapitulatif de la mise en œuvre classe de troisième expérimentation 4.	178
Tableau 32. Déroulement de la séance « cartes conceptuelles » expérimentation 4.	178
Tableau 33. Récapitulatif du corpus expérimentation 4.	179
Tableau 34. Récapitulatif du changement de mode de pensée pour la classe de seconde expérimentation 2.	185
Tableau 35. Récapitulatif du changement de mode de pensée pour la classe de troisième expérimentation 3.	185

Table des figures

Figure 1. Dynamique de la modélisation selon Walliser.	28
Figure 2. Place des aspects quantitatifs dans la description des deux mondes en relation.	29
Figure 3. Modèle de Démocrite.....	34
Figure 4. Représentation daltonienne des atomes et des molécules.	35
Figure 5. Représentation de l'atome par Thomson en 1897.....	36
Figure 6. Représentation de l'atome par Thomson en 1904.....	36
Figure 7. Représentation lacunaire de la matière modèle planétaire de Rutherford.....	37
Figure 8. Représentation du modèle de Bohr pour l'atome d'oxygène.	37
Figure 9. Le modèle quantique de l'atome.....	38
Figure 10. Les grands moments indissociables de ces modèles.	39
Figure 11. Modèle des particules élémentaires dans le cadre du modèle standard de la Physique.....	41
Figure 12. Modèle de la théorie de J. Piaget.	65
Figure 13. Modèle de la théorie de Y. Chevallard.....	67
Figure 14. Modèle poupée russe (Bronfenbrenner).....	72
Figure 15. Modèle Demarteau et Muller.....	72
Figure 16. Modèle béhavioriste.....	77
Figure 17. Modèle 1 : le double développement chez Vygotski.	83
Figure 18. Modèle de l'activité instrumentale chez Vygotski.....	85
Figure 19. Modèle 2 de la théorie instrumentale de Vygotski.....	88
Figure 20. Modèle de la cognogénèse et de la cognomorphose dans la ZPPD selon Caumeil et Dubosq (2015).....	92
Figure 21. Modèle d'une partie de la transformation dans la cognomorphose.	97
Figure 22. Modèle de la cognomorphose au cours de la cognogénèse.	98
Figure 23. Les six fonctions de l'étayage de J. Bruner.	102
Figure 24. Les phases successives de l'étayage de Bruner.	102
Figure 25. Utilisation des médiateurs internes et externes chez Leontiev.	105
Figure 26. Carte conceptuelle cycle 4 sur le concept d'atome (Dubosq 2015).....	113
Figure 27. Carte conceptuelle de l'atome pour le lycée en terminale S (Dubosq 2015)	114
Figure 28. Dispositif général permettant de produire une analyse argumentée.	120
Figure 29. Répartition de l'effectif par classe.	127
Figure 30. Question 1 du questionnaire général. % d'élèves en fonction des niveaux de classe.....	132
Figure 31. Pourcentage des élèves par niveau n'ayant pas répondu à la question 2.	133
Figure 32. Registre élève 5ème.....	134
Figure 33. Registre référentiel 5ème.....	134
Figure 34. Registre élève classe de 4ème.....	135
Figure 35. Registre référentiel de 4 ^{ème}	135
Figure 36. Registre élève 3 ^{ème}	136
Figure 37. Registre institutionnel 3 ^{ème}	136
Figure 38. Registre référentiel classe de seconde.....	137
Figure 39. Registre élève classe de seconde.....	138
Figure 40. Registre référentiel classe de première S et terminale S.	139
Figure 41. Registre élève 1ère S.....	140
Figure 42. Registre élève Terminale S.....	140
Figure 43. Modèles de l'atome étudiés entre la 5 ^{ème} et la terminale S.....	142
Figure 44. Récapitulatif du modèle connu pour toutes les classes.	143

Figure 45: Récapitulatif des dessins du modèle de l'atome pour toutes les classes.	145
Figure 46. Récapitulatif des réponses à la question 5 relatives à la provenance des connaissances.....	146
Figure 47. Registre élève première L expérimentation1.....	150
Figure 48. Pourcentage des élèves de première L dans chaque registre expérimentation 1.	151
Figure 49. Modèles connus par les élèves de première L expérimentation 1.....	152
Figure 50. Représentation de l'atome par les première L expérimentation 1.	153
Figure 51. Récapitulatif des types de pensée des élèves après l'activité maitresse expérimentation 1.....	154
Figure 52. Bilan récapitulatif du vocabulaire utilisé et des erreurs avant après expérimentation 2.....	159
Figure 53. Progression des schémas des élèves dans le questionnaire général AVANT APRES expérimentation 2.....	160
Figure 54. Registres utilisés dans le discours des élèves lors des différentes séances expérimentation 2.....	161
Figure 55. Les obstacles relevés au cours des séances expérimentation 2.....	164
Figure 56. Evolution des types de pensée par élève expérimentation 2.....	165
Figure 57. Récapitulatif des registres utilisés avant après expérimentation 3.....	169
Figure 58. Erreurs citées dans le questionnaire général avant et après expérimentation 3.....	170
Figure 59. Evolution des schémas avant et après expérimentation classe de troisième expérimentation 3.....	170
Figure 60. Choix du modèle avant après expérimentation classe de 3ème expérimentation 3.	171
Figure 61. Registres utilisés dans le discours des élèves lors des séances expérimentation 3..	172
Figure 62. Récapitulatif des erreurs rencontrées lors des séances expérimentation 3.....	176
Figure 63. Types de pensée des élèves avant après expérimentation classe de troisième expérimentation 3.....	176
Figure 64. Récapitulatif des registres utilisés par les élèves avant, pendant et après expérimentation 4.....	180
Figure 65. Récapitulatif des erreurs citées par les élèves expérimentation 4.....	181
Figure 66. Evolution des schémas expérimentation 4.....	181
Figure 67. Choix du modèle avant après expérimentation 4.....	182
Figure 68. Types de pensée des élèves avant après expérimentation 4.	183

INDEX DES AUTEURS

AGEYEV	62 89
AGNEAU	79
ARCHAMBAULT	62
ARSAC	69
ASTOLFI	61 86 106 108 111 112
AUSUBEL	106 107
AVENZINI	18 199
BACHELARD, G.	188
BACHELARD, S.	27 30
BÄCHTOLD	195
BACON	13
BALLARINI SANTONOCITO	106
BARNIER	73
BARRY	106
BARTH B.M.	55
BÉCU-ROBINAULT	29
BEDNARZ	83 87 103 105 197
BODROVA	79 81 83 88 89 93 96 97 98 101 104 163 184 193 196
BOILEVIN	67
BOIVIN-DELPIEU	29
BOLBY	77
BOQUILLON	106 107
BOWLBY	79
BREHELIN	44 52 53 54 55 58 59
BRIAUD	191
BRONCKART	82
BRONFENBRENNER	72 73 88
BROSSARD	82 85
BROUSSEAU	68 70
BRUNER	13 76 93 101 102 154 180 191
BÜCHEL	81
BUNGE	28
BUZAN T ET B	106 110
CAAG	108
CAILLOT	69
CAÑAS	114
CAUMEIL	74 92 97 98 102 191
CHAIKLIN	62
CHEVALIER	40
CHEVALLARD	66 68 69
CHOMAT	54
CLOT	85
COMPANT LA FONTAINE	111
CRISTOFOLI, S.	197
DANSEREAU	108
DEKKERS	107
DELACLOCHE	194
DELVOVE	54
DEMARTEAU	73
DEVELAY	59 61 67 74 106
DEWEY	62
DIONNE	191

DUBOSQ.....	92 113 114
DUHEM	27
DUPIN.....	27 67 103 190
DORIER.....	69
EI HAGE.....	71 72 73
ELKONIN	80 190
ERIKSON.....	77
FABRE M.....	62
FILLON.....	62
FREUD.....	76
GALLIMORE.....	97 99
GAL'PEUN.....	80
GARNIER.....	83 87 103 105 197
GAUCHARD.....	38
GEERTZ.....	66
GINDIS.....	62 89
GIORDAN.....	61 127
GRIVOPOULOS, K.....	32 35
GUEDJ.....	44 52 53 54 57 58
HERBART.....	131 196
HOUSSAYE.....	59
IGNJATOVIC-SAVIC.....	79
JACOBI.....	107 108
J. LEONG.....	79 81 83 88 89 93 96 97 98 101 104 163 184 193 195
JOHSUA.....	27 67 103 190
JOURDAN.....	38
KADDARI.....	41
KARPOV.....	80
KOZULIN.....	62 88 89
LACOMBE.....	61
LEONT'EV.....	23 80 96 104 105 117 155 177 186
LVOVSKI.....	105 106
Mc LUHAN.....	84
MALONE.....	107
MARTINAND.....	61 69
MIALARET	61
MEIRIEU.....	62
MEHEUT.....	54
MERCIER.....	60 68 69 70 123
MORGE L.....	62
MORIN.....	71
MORRISON.....	127
MOUGNOTTE.....	17 199
MULLER.....	73
MUNIER.....	195
NONNON.....	69
NOVAK.....	23 106 107 108 112 114 184
PAULHAN.....	100
PASTRÉ.....	81
PAVLOV.....	77
PIAGET.....	23 64 65 66 76 78 79 80 82 85 87 93 94 99 106 115 175 187 196
PERRIN-GLORIAN.....	69
PREVOST.....	37 107 152
PULLMAN.....	23 31 32 33
RADVANYL.....	23
RAFIQ.....	41
RAISKY.....	69
REYNAUD.....	71 72 73

RESNICK.....	189
ROCHEX.....	81
ROSENBLUM.....	79
SCHAFFER.....	79
SCHNEIDER.....	68
SCHNEUWLY.....	69 82
SCHUBAUER-LEONI.....	121
SENSEVY.....	59 70 71 123 158
SHERROD.....	79
SOUASSY.....	123
STAMBAK.....	79
TIBERGHIE.....	44 123
TISSOIRE.....	69
THARP.....	97 99
THOMAN.....	79
THURIN.....	100
TOCHON.....	107
TRONICK.....	79
ULANOVSKAYA.....	86 87 103 105 183 197
VALSINER.....	97 98 99
VEILLARD.....	123
VENGER.....	80
VERGNAUD.....	86 87 100
VERGNIoux.....	61
VERRET.....	66
VIENNOT.....	127
WALLISER.....	27 28
WALLON.....	23 79
WANDERSEE.....	108 111
WEISSER.....	62
WINNICOTT.....	76
VYGOTSKI.....	13 21 22 23 27 59 65 71 74 75 76 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 98 99 100 101 103 104 115 116 117 120 121 122 124 129 130 131 134 147 149 161 162 164 65 80 85 86 87 88 89 93 94 96 98 99 100 101 121 124 160 161 162 164 171 173 175 180 184 185 187 188 191 192 193194 195 196 197
ZAPOROZHETS.....	79 80 101
ZOUARI.....	62

GLOSSAIRE

Activités maîtresse- Activité qui correspond le mieux à la période du développement de l'enfant. Celle-ci va induire des gains développementaux.

Concepts quotidiens- Concepts fondés sur des intuitions et sur l'expérience quotidienne.

Concepts scientifiques- Concepts construits (en classe, dans notre cas) dans une discipline.

Cognogénèse- Elle correspond à la progression temporelle de la pensée cognitive de l'élève. Elle permet de suivre l'évolution des progrès de l'élève au cours du temps. Elle intègre plusieurs gains développementaux.

Cognomorphose- Elle montre le gain développemental de l'élève à un instant précis.

Éducation informelle- Éducation réalisée à l'extérieur de l'école dans un contexte informel.

Enseignement formel- C'est l'enseignement scolaire, où les notions et concepts sont acquis.

Étayage- Proposition d'un soutien graduel pour favoriser l'apprentissage. Cet étayage est diminué au fur et à mesure des performances de l'élève.

Évaluation dynamique- Celle-ci permet d'évaluer ce que l'élève réalise seul et ce qu'il est capable de faire assisté, dans la Zone de Plus Proche Développement

Fonctions psychiques élémentaires- Processus cognitifs qui dépendent du développement de la maturation, ils relèvent par exemple des sensations ou de la mémoire spontanée.

Fonctions psychiques supérieures- Processus cognitifs qui se développent avec l'apprentissage et l'enseignement. Les objets de la culture, comme le langage et les concepts, permettent leur développement. L'attention soutenue ainsi que la mémoire intentionnelle sont des exemples.

Fonction symbolique- C'est l'utilisation de signes, d'objets, de symboles pour désigner autre chose. L'utilisation d'un mouchoir pour se rappeler de quelque chose, est une fonction symbolique.

Gain développemental- C'est le progrès de l'élève mesuré dans la ZPPD. Il passe d'un stade 1 à un stade 2

Intériorisation- Se dit du processus interne d'apprentissage qui n'est pas visible pour les autres.

Interpersonnel- Se dit du processus qui relève des interactions avec les autres, lors de l'utilisation des outils, proposés par Vygotski, dans la ZPPD.

Intrapersonnel- Se dit lorsque l'élève se retrouve seul et qu'il réalise sa propre appropriation. Ce processus a lieu après la phase interpersonnelle.

Langage égocentrique- langage interne qui nous est propre, il est peu clair pour les autres, il se transforme en langage intérieur puis en pensée verbale. Le langage égocentrique correspond à un mode de pensée par tas.

Médiateur- est un intermédiaire entre l'élève et l'environnement. Le médiateur construit la pensée.

Médiateur externe- C'est un objet qui vient consolider le médiateur interne quand il n'est pas suffisant pour transformer les fonctions cognitives et en particulier les fonctions psychiques supérieures. Il correspond à un étayage selon Bruner . Nous avons utilisé dans cette thèse les cartes conceptuelles.

Médiateur interne- Un concept ou le langage sont des médiateurs internes. Ils permettent de construire l'élève et de le transformer cognitivement sans avoir forcément recours aux médiateurs externes.

Médiation- C'est l'utilisation d'un objet ou symbole pour un autre objet. Une médiation réussie consiste, pour l'enseignant, à accompagner l'élève avec des outils conceptuels et méthodologiques.

Mode de pensée par tas- Cette pensée consiste pour l'élève à rassembler au hasard un groupe d'objets nouveaux en pratiquant des essais. C'est une pensée analogique par tâtonnement.

Mode de pensée par complexes- L'élève va regrouper des objets similaires ensemble puis les réunir en complexes, selon des lois qu'il s'est fixé objectivement. C'est une pensée causale et systémique.

Mode de pensée par concepts- L'élève va rechercher dans un objet, les relations qui lui sont propres et les causalités. Son approche est généralisante et distanciée. C'est une pensée abstraite et conceptuelle.

Niveau de performance assistée- Action(s) cognitive(s) que l'élève réalise avec l'aide de l'enseignant ou de ses pairs.

Niveau de performance indépendante- Action(s) cognitive(s) que l'élève réalise seul sans aide.

Théorie instrumentale de Vygotski- Théorie qui avance que le développement culturel précède le développement biologique.

La Zone de Plus Proche Développement- Elle est définie par l'écart entre ce que peut accomplir un enfant seul aujourd'hui, ce qu'il peut accomplir avec l'aide de l'adulte et ce qu'il sera en mesure d'accomplir seul demain.