



HAL
open science

NOTE DE SYNTHÈSE EN VUE DE L'HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

Suzane El Hage

► **To cite this version:**

Suzane El Hage. NOTE DE SYNTHÈSE EN VUE DE L'HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES. Sciences de l'Homme et Société. Université de Reims Champagne Ardenne (URCA), FRA., 2023. tel-04760319

HAL Id: tel-04760319

<https://hal.univ-reims.fr/tel-04760319v1>

Submitted on 30 Oct 2024

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.

Public Domain

NOTE DE SYNTHÈSE

EN VUE DE L'HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

Un cadre d'analyse didactique de l'autonomie des élèves et de son développement par les enseignants en classe de physique

Soutenue le 08 novembre 2023 devant le jury constitué de :

Jean-Marie Boilevin : Professeur émérite, Université de Bretagne Occidentale /Référent
Marie Renée de Backer, Professeure, Université de Reims Champagne-Ardenne
Fabien Emprin, Professeur, Université de Reims Champagne-Ardenne/Référent
Cécile de Hosson, Professeure, Université Paris Cité
Dimitrios Koliopoulos , Professeur, Université de Patras
Ludovic Morge, Professeur, Université Clermont-Auvergne
Manuel Bächtold, Maître de conférences HDR, Université de Montpellier



Suzane El Hage
Maître de conférences
en sciences de l'éducation et de la formation
(didactique de la physique)
URCA — CEREP (EA 4692)

Table des matières

Introduction	4
Partie 1. De l'analyse des pratiques d'enseignement à la question de l'autonomie des élèves.....	9
1.1. Caractéristiques de mes recherches en termes d'éléments théoriques en didactique de la physique.....	9
1.1.1. Interactions didactiques	9
1.1.2. Modèles et processus de modélisation dans l'enseignement de la physique	12
1.1.3. Registres de représentations sémiotiques	19
1.1.4. Synthèse : modèles, modélisation, registres sémiotiques et interactions didactiques.....	22
1.2. Mise à l'épreuve des éléments théoriques dans trois contextes différents	23
1.2.1. Étude des écrits d'un enseignant de physique au tableau au collège	23
1.2.2. Étude des écrits d'un enseignant de physique au tableau au lycée	27
1.2.3. Étude des écrits des élèves dans leur propre cahier.....	30
1.3. Synthèse et nouveaux questionnements sur l'autonomie	34
Partie 2. Vers un cadre d'analyse didactique de l'autonomie des élèves en classe de physique	38
2.1. Autonomie : une notion polysémique	38
2.1.1. Autonomie et sens commun	38
2.1.2. Autonomie dans le langage scolaire et universitaire	39
2.1.3. Synthèse.....	40
2.1.3. Autonomie dans le système éducatif	40
2.1.4. Autonomie dans les programmes de physique-chimie du secondaire	41
2.1.5. Synthèse.....	47
2.2. Autonomie : des propositions de conceptualisation	48
2.2.1. Autonomie « objet » de recherche en éducation	48
2.2.2. Autonomie « objet » de recherche en didactiques des disciplines	54
2.2.3. Discussion.....	61
2.3. Proposition d'un cadre d'analyse didactique : le cadre « AtA2d »	62
2.3.1. Genèse et structuration du cadre AtA2d.....	62
2.3.2. Présentation du cadre d'analyse AtA2d	65
2.3.3. Discussion sur la nature du cadre AtA2d.....	72
2.4. Opérationnalisation du cadre d'analyse AtA2d	73
2.4.1. Analyse des prescriptions officielles.....	73
2.4.2. Caractérisation d'un lycéen autonome en physique selon le point de vue d'enseignants.....	75
2.4.3. Discussion.....	76
2.5. Leviers et stratégies pour favoriser la construction de l'autonomie des élèves en classe : rôles de l'enseignant	78
2.5.1. Entrée par les ressources.....	79
2.5.2. Soutiens à l'autonomie : liens avec la théorie de l'auto-détermination (SDT).....	80
2.5.3. Qualité et quantité de guidage dans les interactions	81
2.5.4. Discussion.....	83
2.6. Contribution du cadre AtA2d à l'analyse des pratiques enseignantes développant l'autonomie des élèves en physique	86
2.6.1. Analyse de points de vue d'enseignants de physique sur les leviers à activer pour rendre un élève autonome	86

2.6.2.	Opérationnalisation du cadre AtA2d pour élaborer des grilles d'analyse des scénarios pédagogiques en classe de physique	87
2.6.3.	Synthèse.....	91
2.7.	Synthèse et discussion générale.....	92
Partie 3. Perspectives		94
3.1.	Recherches en didactique de la physique et le sujet épistémique	96
3.2.	Travaux initiés : mise à l'épreuve du cadre d'analyse AtA2d	99
3.2.1.	Thèse de Darine El Hajjar en cours.....	99
3.2.2.	Thèse de Reine Mouchaham en cours	101
3.2.3.	Dispositif local « résidence de chercheur »	102
3.2.4.	Projet EDEA (Écrits Des Élèves et Autonomie).....	104
3.2.5.	Conclusion sur les recherches en cours.....	105
3.3.	Projets à moyen terme en relation avec la problématique de l'autonomie	105
3.3.1.	Projets de recherches en didactique de la physique	106
3.3.2.	Projets de recherche pluridisciplinaires	113
3.4.	Réflexions théoriques autour de l'autonomie	116
3.4.2.	L'autonomie est-elle un concept ?.....	116
3.4.3.	L'autonomie est-elle une compétence ?	117
Conclusion.....		120
Bibliographie.....		122

Introduction

Cette note de synthèse constitue un point de situation après dix années de recherche au sein de trois laboratoires de recherche. Comprendre les pratiques d'enseignements de la physique, particulièrement au secondaire, est une préoccupation commune de toutes les recherches que j'ai pu mener jusqu'à maintenant.

Le terme « pratique » est employé dans diverses recherches en éducation et constitue parfois leur objet d'étude. On le trouve associé à d'autres termes : pratiques d'enseignement (Morge, 1997 ; Marcel et al., 2002 ; Tiberghien et Malkoun, 2007 ; Bécu-Robinault et Couture, 2018 ; Roy, 2018), pratique enseignante (Bru et Talbot, 2001 ; Altet, 2002 ; Mercier et Buty, 2004 ; Badreddine et Buty, 2007 ; Badreddine, 2009, etc.) avec ou sans définition explicite de ce qu'il recouvre. Ces termes renvoient au concept de « teaching practice.s » dans le monde anglo-saxon (Buty et al., 2004 ; Scott et al., 2006 ; Seidel et Prenzel, 2006 ; Tiberghien et Buty, 2007 ; Venturini et al., 2014 ; Zhang et al., 2020 ; Moro et al., 2020).

Altet (2002) parle de la pratique enseignante (au singulier) et non pas des pratiques enseignantes (au pluriel). Elle la définit comme une façon de faire singulière et comportant plusieurs dimensions (épistémique, pédagogique, didactique, psychologique et sociale) qui interagissent entre elles :

« On peut définir la pratique enseignante comme la manière de faire singulière d'une personne, sa façon réelle, propre, d'exécuter une activité professionnelle : l'enseignement. La pratique, ce n'est pas seulement l'ensemble des actes observables, actions, réactions mais cela comporte les procédés de mise en œuvre de l'activité dans une situation donnée par une personne, les choix, les prises de décision » (Altet, 2002, p. 86).

Bru et Talbot (2001), pour leur part, développent l'idée d'un pluralisme des modes d'approches, des méthodologies et des matériaux recueillis pour étudier les pratiques enseignantes. Dans un débat coordonné par Bru et Talbot (2001), Marcel explique que les pratiques enseignantes englobent plusieurs catégories de pratiques telles que : les pratiques d'enseignement en classe quand l'enseignant se trouve face à un groupe d'élèves ; les pratiques pendant les temps informels (échange avec ses collègues) ; les pratiques professionnelles hors de l'école (corrections, préparations, etc.).

Dans cette note de synthèse, je me situe dans la lignée de Marcel (2001). Je considère donc que les pratiques d'enseignement constituent une des composantes des pratiques enseignantes.

Les pratiques d'enseignements peuvent être approchées de différentes façons (Emprin, 2018) :

« la double approche (Robert, 1999), la structuration du milieu (Margolinas, 2002), la théorie de l'action conjointe (Sensevy, 2008 ; Schubauer, Leutenegger, Ligozat, et Fluckiger, 2007), the four parameters (Saxe, 1991), le praticien réflexif (Schön, 1983), la clinique de l'activité (Clot, 2001), la didactique professionnelle (Pastré, 2011) et la théorie de l'activité (Engeström, 2000) [...], le cadre spécifique, PCK : pedagogical content knowledge (Hill, Ball, et Schilling, 2008) » (ibid., p. 42-43).

Étant donné qu'il ne suffit pas d'enseigner pour que les élèves apprennent, il me semble que les interactions entre l'enseignant et les élèves, impactant les écrits au tableau, constituent une focale pertinente pour approcher les pratiques. Boilevin (2013, p. 63) écrit que :

« la responsabilité de l'enseignant ne s'arrête pas à la fabrication d'un « bon » message. Il doit " suivre " celui-ci, prendre de l'information sur ce que les élèves ont compris. Il doit s'impliquer dans des interactions qui permettront aux élèves de construire un savoir et s'assurer que ce qui est construit a bien le sens recherché ».

Ainsi, les interactions didactiques prennent la forme d'échanges entre l'enseignant et le.s élève.s où le processus de négociation de sens autour des contenus tient une place essentielle. C'est pourquoi, mes travaux qui s'attachent à étudier les pratiques d'enseignements se focalisent sur les interactions didactiques. Dans cet esprit, Boilevin (2013, p. 67) développe l'idée suivante :

« les élèves sont considérés comme des individus à part entière pouvant exprimer leurs idées. Le professeur est le garant des savoirs constitués. Les interactions didactiques ont lieu entre élèves, ou entre des élèves et le professeur, à propos de savoir(s) au sens d'intermédiaire intellectuel entre le monde et l'homme. Elles doivent amener à partager les savoirs au sein de la " communauté classe " ».

Ces relations aux savoirs lors des interactions m'amènent à étudier les pratiques en situation de classe en mettant l'accent sur le contenu enseigné. Ce travail sur les interactions didactiques me conduit vers d'autres questionnements qui sont au cœur de cette note de synthèse organisée en trois parties. La première partie a pour objectif de présenter les éléments permettant de comprendre les pratiques d'enseignements de la physique avec un regard de didacticienne de la physique. J'ai donc choisi d'appréhender ces pratiques avec plusieurs focales didactiques :

- les interactions didactiques ;
- le processus de modélisation ;

- la sémiotique.

Je présente une synthèse des résultats obtenus grâce à la mobilisation de ces éléments théoriques pour divers objets de recherche et dans des contextes différents (collège, lycée et université). J'ai mené seule certaines recherches et d'autres en collaborant, en fonction des contextes, avec des collègues : Karine Bécu-Robinault pour les études de traces écrites au tableau reliées à un enseignement sur la lumière et notamment la synthèse additive (El Hage et al., 2010) ; Christian Buty pour les études de traces écrites au tableau lors d'un enseignement en optique (El Hage et Buty, 2013b) ; Christian Buty et Zeynab Badreddine pour les études de la cohérence du discours qui accompagne les traces écrites au tableau en classe de physique au lycée lors de l'enseignement de l'électricité (El Hage et al., 2012 ; El Hage et Buty, 2012); Elisabeth Plé et Cécile Ouvrier-Bufferet sur les démarches de recherche contemporaine en physique et en mathématique (El Hage et Plé, 2016 ; El Hage et Ouvrier-Bufferet, 2018 ; El Hage, 2021a, 2021b); Hussein Sabra à propos de l'éventuelle utilisation des ressources mobilisées par les enseignants-chercheurs en recherche dans leurs activités d'enseignements (Sabra et El Hage, 2018, 2019).

A travers ces différentes recherches, j'ai pu constater la pertinence de ces outils théoriques dans l'analyse des pratiques d'enseignement et mes choix ont pu être confortés.

L'ensemble de ces travaux de recherche m'amène à questionner l'autonomie des élèves et son développement dans les pratiques d'enseignement en classe de physique. Je montrerai plus loin en quoi cette question a émergé des travaux précédents.

Pour cette raison, je présente, dans la deuxième partie de cette note, un cadre d'analyse, au sens de Savoyant (1974), de l'autonomie des élèves en classe de physique prenant en compte l'épistémologie de cette discipline (modélisation, sémiotique, etc.). Une étude de la documentation scientifique montre que dans le monde de l'éducation et notamment en didactique de la physique, peu ou pas de cadres conceptuels existent pour définir ce qu'est un élève autonome. Ainsi, les multiples apports théoriques (présentés dans la première partie) constituent des éléments importants dans le cadre d'analyse que j'ai construit « **Autonomie transversale et Autonomie didactique disciplinaire** » (« AtA2d ») et que je développe plus loin dans cette note de synthèse.

Je postule que la caractérisation des formes d'autonomie via un cadre d'analyse peut devenir une ressource pour les enseignants leur permettant de développer l'autonomie de leurs élèves. *In fine*, je questionne, avec ce cadre, le discours des enseignants sur leurs pratiques de classe

qui visent le développement de l'autonomie des élèves. Pour cela, il me semble nécessaire de passer d'abord par l'élaboration d'un cadre d'analyse, au sens de Savoyant (1974) permettant de borner et de rendre claire la notion d'autonomie des élèves afin de mieux la définir et ainsi d'appréhender de façon plus systématique l'ensemble des attentes d'un enseignant concernant un élève autonome en physique. J'utilise ce cadre d'analyse didactique développé avec ses concepts pour comprendre des pratiques d'enseignements de physique. Ce travail a pu se développer dans des recherches réalisées dans le cadre du projet Interactions Digitales pour l'Enseignement et l'Éducation (projet IDÉE¹, réponse retenue à l'appel eFRAN) notamment avec une équipe de chercheurs (didacticien de différentes disciplines scolaires) comme Jean-Marie Boilevin, Alain Jameau, Ghislaine Gueudet, Sophie Joffredo-Lebrun, Nolwenn Quéré et Sabrina Srey. J'aborderai aussi d'autres recherches, traitant la même thématique, que j'ai réalisées avec d'autres collègues en dehors de ce projet (Yann Duceux, Yann Verchier et Antoine Maigret).

Dans la troisième partie, je présente les perspectives ouvertes autour du cadre d'analyse « AtA2d ». J'explore en premier le travail des deux doctorantes dont j'assure le co-encadrement actuellement. Puis j'expose comment je pense faire évoluer ce travail dans le cadre de différents projets en cours et les programmes de recherche à venir (au niveau local, national et international). En tant que chercheuse, l'autonomie des élèves m'amène à :

- poursuivre la réflexion théorique entamée sur la notion d'autonomie et questionner ainsi d'autres concepts en didactique (compétences, concepts, processus) ;
- mener des projets en didactique de la physique permettant de tester la robustesse du cadre d'analyse, testé actuellement uniquement sur du déclaratif, en allant observer des situations d'enseignement et d'apprentissage en classe de physique (autonomie des élèves et investigation ; autonomie et interactions) ;
- mettre en place des projets interdisciplinaires (didactique de la physique, sciences de l'éducation et psychologie) au service des apprentissages des élèves et des étudiants (continuum Bac-3/Bac+3).

Les recherches évoquées dans cette note de synthèse ne s'appuient, ni sur l'intégralité de mes travaux, ni sur des productions que j'aurais réalisées seule. C'est pourquoi dans cet écrit, j'utilise le « je » quand il s'agit d'un apport de mon travail, je passe du « je » au « nous de

¹ Opération soutenue par l'État dans le cadre du volet eFRAN du Programme d'investissements d'avenir, opéré par la Caisse des Dépôts.

modestie » quand je parle du travail de thèse et nous avec un accord de pluriel pour les travaux collectifs. Bien entendu, même quand j'écris « je » pour évoquer les recherches ayant abouti à une production individuelle, il ne s'agit à aucun moment d'occulter le rôle du collectif, des échanges formels ou informels, au sein des différentes institutions (laboratoire, composante, équipe, ...)

Partie 1. De l'analyse des pratiques d'enseignement à la question de l'autonomie des élèves

Cette partie permet d'abord de positionner mes recherches en didactique de la physique et les contextes dans lesquels elles ont été réalisées. Elle se termine par les interrogations qui m'ont amenée à développer un cadre d'analyse portant sur l'autonomie des élèves en classe de physique.

1.1. Caractéristiques de mes recherches en termes d'éléments théoriques en didactique de la physique

Pour comprendre les pratiques d'enseignements, j'ai choisi de les approcher par les interactions didactiques entre l'enseignant et les élèves. En fonction de la situation d'enseignement et d'apprentissage d'un côté et des phases didactiques (Stigler et al, 1999 ; Fischer et al, 2005) d'un autre côté, l'enseignant sera amené à rythmer l'interaction avec les élèves ainsi qu'à gérer l'avancée et l'agencement du savoir enseigné en physique. En effet, le contenu véhiculé lors des interactions mobilise plusieurs registres de représentations sémiotiques (Duval, 1995) et peut appartenir à différents « mondes » (Tiberghien, 1994).

1.1.1. Interactions didactiques

Parmi les champs de recherche en didactique des sciences, certains travaux s'intéressent aux interactions langagières dans le cadre des situations d'enseignements et d'apprentissages avec le postulat que ces interactions favorisent l'apprentissage (Morge, 1997 ; Fillon et Vérin, 2001 ; Jacobi et Peterfalvi, 2004 ; Boilevin, 2013). Dans les interactions, l'enseignant peut jouer plusieurs rôles : guider, aider, canaliser l'évolution des élèves (Boilevin, 2013). Il peut aussi prendre en compte ce que les élèves savent, savent faire et les laisser s'exprimer.

Dans la continuité de Mondada, nous considérons que les interactions ne se limitent pas à la dimension verbale et s'organisent « grâce à une pluralité de ressources multimodales : les gestes, les regards, les postures corporelles, les mouvements, l'agencement spatial des participants » (Mondada, 2005, p. 111). En classe, les interactions prennent leur sens autour de la situation construite par l'enseignant visant un objectif d'apprentissage défini. Ainsi, pour nous, les interactions didactiques (verbales et non-verbales) sont caractérisées par les connaissances mises en œuvre par les enseignants et les élèves (Badreddine et Buty, 2009 ; El Hage et Buty, 2014 ; El Hage, 2012).

Pour comprendre comment les interactions didactiques contribuent au processus de construction de connaissances, différentes approches sont mobilisées dans les travaux de didacticiens de la physique. Citons, à titre d'exemples, deux d'entre elles : (a) l'approche développée par Weil-Barais et Dumas Carré (1998), portant essentiellement sur les échanges oraux, et basée sur deux concepts (tutelle et médiation) ; (b) l'approche développée par Mortimer et Scott (2003) permettant la prise en compte non seulement de la dimension verbale dans les interactions mais également du non verbal.

Weil-Barais et Dumas Carré (1998) introduisent les concepts de tutelle et de médiation en éducation scientifique ; deux concepts complémentaires bien que différents.

- La tutelle est un guidage vers une connaissance nouvelle. Boilevin (2013) explique que : « Dans les situations d'interaction en classe, c'est l'exécution des tâches qui détermine les interventions du professeur. Le guidage est centré sur l'aide à la production de réponses ou sur l'aide à l'appropriation de procédés de traitement ou de contrôle de l'activité cognitive. L'action de tutelle est efficace s'il y a adéquation entre les conduites des élèves et les intentions de l'action du tuteur. Le concept de tutelle conduit à centrer la description de l'interaction sur le professeur » (Boilevin, 2013, p. 66)
- La médiation est considérée comme un processus où se construit une co-référence, condition d'un langage partagé, commun à l'ensemble des participants (Weil-Barais et Dumas-Carré, 1995).

L'appropriation des connaissances par les élèves nécessite ces deux modes d'interactivité (tutelle et médiation). La recherche de Weil-Barais et Dumas-Carré (1998) a amené des chercheurs dont Saint-Georges (2001) à produire des descripteurs à partir de l'analyse des conversations scolaires : des descripteurs de la tutelle enseignante, centrés sur les actions exercées par l'enseignant ; des descripteurs de la médiation enseignant-élèves, centrés sur le processus interactionnel dans lequel les partenaires sont engagés.

Une autre approche permettant la prise en compte des contenus de savoir lors des interactions didactiques en classe, voire de caractériser leur nature, est l'approche communicative (Mortimer et Scott, 2003). Celle-ci permet de dresser une typologie des formes de discours entre l'enseignant et les élèves selon deux axes :

- dialogique ou autoritatif² ;
- interactif ou non interactif.

La communication est qualifiée de « dialogique » si l'enseignant prend en considération les différents points de vue énoncés par les élèves, c'est-à-dire qu'il reconnaît leurs idées et qu'il les discute. En revanche, l'approche est qualifiée d'« autoritative » si l'enseignant ne prend en considération qu'un seul point de vue ; la plupart du temps ce point de vue correspond au point de vue le plus proche des savoirs scolaires enseignés. Dans ce cas, l'enseignant reformule, par exemple, les idées des élèves mais peut être plus radical et les ignorer complètement.

La communication « interactive » articule la participation de l'enseignant et des élèves (ou de plusieurs personnes). Elle est « non-interactive » lorsqu'elle implique seulement l'enseignant, ou qu'elle exclut la participation de toute autre personne en dehors du premier locuteur.

Ces deux dimensions combinées génèrent quatre formes de communication possibles entre les élèves et l'enseignant (Scott, 2008). Le discours en classe peut être décomposé en épisodes pour pouvoir ensuite qualifier la nature de l'approche communicative. Mortimer et al., (2007) expliquent qu'un épisode est une unité élémentaire de sens, caractérisé par son contenu sémantique, les actions des participants, la nature des interactions entre les participants, le positionnement des acteurs sur l'espace physique d'interaction, et les ressources utilisées par les acteurs. Une fois le discours découpé en épisodes³, chacun d'entre eux est caractérisé comme étant d'une part interactive ou non interactive et d'autre part dialogique ou autoritatif (Badreddine et al., 2007 ; El Hage, 2012 ; Bécu-Robinault, 2018). Le Tableau 1 présente des exemples de ces quatre types d'approches communicatives.

² La traduction du terme « autoritatif » en anglais est « authoritative » en français (Buty et Badreddine, 2009). En effet, le terme autoritatif utilisé en anglais dans le cadre théorique de Mortimer et Scott (2003) qualifie la capacité de l'enseignant à constituer une référence pour les points de vue des élèves, relative au savoir à enseigner. La conséquence est que la traduction du terme « autoritatif » n'est pas « autoritaire » car cette dernière est en lien avec la capacité de l'enseignant à donner des ordres aux élèves (leur demander de se taire, leur demander de se mettre en rang, les évaluer).

³ Mortimer et al. (2007) développent l'idée selon laquelle chaque épisode a un clair commencement et une fin claire. La détermination des frontières entre deux épisodes se fait par le biais des indices verbaux et non-verbaux.

	Interactif	Non interactif
Dialogique	L'enseignant et les élèves considèrent un ensemble d'idées	L'enseignant fait une revue d'un ensemble d'idées
Authoritatif	L'enseignant focalise sur un point de vue et conduit les élèves, par un jeu de questions-réponses, à construire et consolider ce point de vue	L'enseignant présente un point de vue spécifique

Tableau 1 : catégorisation des approches communicatives en classe selon Scott (2008) repris de Bécu-Robinault (2015)

Avec les moments dialogique ou autoritatif, une forme de continuité ou de discontinuité se produit dans le discours. Créer des liens entre différents moments de la séance ou de la séquence, par le biais des interactions, est un des éléments du métier d'enseignement. En effet, Badreddine (2009) a mis au point un classement des catégories d'articulations repris et développés (El Hage, 2012 ; El Hage et al., 2012) pour analyser la cohérence du discours lors des interactions didactiques en classe de physique.

Nous rappelons que les interactions entre l'enseignant et le.s élève.s en classe de physique véhiculent des contenus de savoirs. De plus, les interactions multimodales ne sont pas mobilisées seules et sont accompagnées par des écrits. En conséquence, nous faisons appel à la modélisation et aux registres pour décrire et comprendre les contenus qui accompagnent l'oral lors des interactions multimodales.

Avec certains collègues, nous accordons une place importante à l'écrit et au contenu présenté par cet écrit (El Hage et Buty, 2012 ; El Hage, 2012 ; El Hage et Buty, 2014 ; El Hage et Buty, 2016). Ainsi, quand un enseignant parle d'un circuit électrique, il va accompagner ses interventions orales avec un dessin ou un schéma pour pouvoir interagir avec les élèves.

1.1.2. Modèles et processus de modélisation dans l'enseignement de la physique

Les modèles occupent une place centrale en sciences (Canguilhem, 1968 ; Bunge, 1973a, 1973b ; Walliser, 1977 ; Bachelard, 1979 ; Suarez, 1999 ; Bailer-Jones, 2002 ; Van Der Valk et al., 2007 ; Besson, 2010). Ils jouent un rôle important dans le développement des disciplines scientifiques. De nombreux épistémologues développent l'idée que l'activité de modélisation du monde matériel est centrale en physique (Bunge, 1973b ; Bachelard, 1979 ; Giere, 1988, 2004 ; Hacking, 1983). Bachelard (1979) explique que le fonctionnement de la production du savoir en physique se fait par la modélisation. Bunge (1983), de son côté, distingue d'une part le « monde physique », c'est-à-dire le réel, et d'autre part les concepts. La recherche des relations entre le réel et les concepts joue sans conteste un rôle primordial dans la construction

des connaissances scientifiques et notamment en physique (Klein, 2010). Klein souligne que le processus de modélisation, en physique, est un processus inhérent à cette discipline :

« Au fin fond de la physique, on trouve donc l'idée sans doute assez platonicienne, qu'il existe deux mondes : un premier monde fait de concepts, de lois mathématiques, dont l'agencement permet de comprendre les phénomènes physiques qui se déroulent dans le second monde, qui est le monde empirique » (p. 17).

Le processus de modélisation mis en œuvre par les scientifiques a intéressé de nombreux didacticiens de la physique mettant en exergue la nécessité d'engager les élèves dans l'apprentissage des modèles (Johsua et Dupin, 1989, 1993 ; Martinand, 1992, 1994 ; Larcher, 1996 ; Tiberghien, 1994 ; Robardet et Guillaud, 1997, etc.). Ces auteurs partaient du principe suivant : si la modélisation constitue le fonctionnement essentiel de la physique savante, alors une certaine forme de modélisation devrait aussi être essentielle dans la physique enseignée.

1.1.2.1. Modèles et modélisation dans les recherches en didactique de la physique

L'enseignement de modèle et de la modélisation, avec ou sans l'aide du numérique, s'avère être un thème récurrent dans la recherche sur l'enseignement des sciences, en général, et de la physique en particulier (Martinand, 1992 ; Tiberghien, 1994 ; Méheut, 1996 ; Millar, 1996 ; Gilbert, 2004 ; Schwarz et White, 2005 ; Roy et Hasni 2014 ; Roy 2018). Par exemple, Bécu-Robinault (2015) a effectué une exploration des titres des articles dans quatre principales revues francophones publiant des recherches en didactique des sciences entre 1988 et 2013 (Aster, Didaskalia, Recherches en Didactique des Sciences et de la Technologie, Éducation et Didactique). Elle a comptabilisé 31 publications, avec des références explicites aux modèles ou aux activités de modélisation dans le titre, en lien avec les sciences physique et chimique ce qui prouve, selon elle, que cette approche est particulièrement adaptée aux spécificités du fonctionnement de ces disciplines. Bécu-Robinault (ibid.) en déduit qu'il y a un intérêt ininterrompu de la communauté de recherche en didactique pour la modélisation et les modèles. Lijnse (2006) souligne, pour sa part, que l'accent mis actuellement sur la modélisation en physique est dû à trois raisons principales :

- l'attention constructiviste récente portée aux conceptions que les élèves apportent en classe est interprétée comme un exemple du fait que les gens éprouvent le monde selon leurs propres modèles mentaux ;

- l'accent mis actuellement sur le rôle de la philosophie des sciences pour l'enseignement a abouti à souligner l'importance de l'attention pour la nature de la connaissance scientifique, et des modèles scientifiques en particulier ;
- l'utilisation actuelle des ordinateurs améliore les possibilités de créer et tester des modèles numériques, tant dans les sciences que dans l'enseignement des sciences.

Bien que nous nous basions particulièrement pour la suite sur les travaux issus de la didactique de la physique développés par Tiberghien (1994), il faut préciser que les travaux en didactique francophone étudiant les activités de modélisation en classe de physique se réfèrent le plus souvent, soit aux travaux de Martinand (1992), soit à ceux de Tiberghien (1994)⁴ dont chacun distingue deux mondes : l'un en relation avec les concepts théoriques et l'autre avec le champ empirique. Toutefois, ces auteurs s'opposent sur ce que recouvrent effectivement le champ empirique et les concepts théoriques (Bécu-Robinault, 2018). Pour Tiberghien (1994), l'activité de modélisation implique la mise en relation de différents mondes :

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

Le modèle est construit à partir de théories plus vastes et préexistantes⁵ : "Models are never constructed from direct perceptions, but from pre-existing theories, which orient our perceptions by giving the theoretical "lens" that makes the perceived world meaningful" (Ziman, 2001, page 147). Dans une description des fonctions d'un modèle, de nombreux didacticiens des sciences (Johsua et Dupin, 1993 ; Robardet et Guillaud, 1997, etc.) s'accordent pour reconnaître aux modèles trois fonctions : représenter, expliquer et prévoir des phénomènes.

Le modèle est un intermédiaire entre la théorie et l'expérience (Hacking, 1983) et ne présente pas l'intégralité de la réalité mais seulement une partie (Bachelard, 1979). Cette idée a été reprise au départ par Tiberghien qui distingue initialement trois niveaux : les théories (ayant une fonction explicative), les modèles (ayant une fonction descriptive et interprétative) et les objets et événements (Coince et al., 2008). Or, la nuance entre la théorie et les modèles est peu

⁴ Roy (2018) rappelle que les travaux de Martinand (1992) comme ceux de Tiberghien (1994) s'appuient sur le même auteur (Walliser, 1977) qui a développé le schéma de la dynamique de la modélisation scientifique.

⁵ Les modèles ne sont jamais construits à partir de perceptions directes, mais plutôt à partir de théories préexistantes qui orientent nos perceptions et qui servent comme des lunettes théoriques permettant ainsi de donner du sens au monde perçu (traduction personnelle).

visible au niveau de l'enseignement du secondaire (Coince et al., 2008). Par conséquent, la modélisation est réduite à deux mondes dans les travaux de Tiberghien et de ses collègues (Tiberghien, 1994 ; Tiberghien, et al., 2001 ; Gaidioz et Tiberghien, 2003 ; Gaidioz et al., 2004 ; Tiberghien et Vince, 2005 ; Tiberghien et al., 2007 ; Tiberghien et Malkoun, 2010 ; Veillard et al., 2011).

Tiberghien (2000) distingue à l'intérieur du monde des théories et des modèles, ainsi qu'à l'intérieur du monde des objets et des événements, les connaissances qui sont issues de la physique et celles provenant de la vie quotidienne. Ces deux types de connaissances ne sont pas forcément les mêmes et peuvent mener à une interférence au niveau du sens des « mots » (Gaidioz et al., 2004). Cette théorie en didactique de la physique s'appuyant, de plus, sur l'idée qu'un individu appréhende le monde matériel dans sa vie quotidienne avec des théories et modèles de la vie quotidienne (Veillard, et al., 2011) est aussi nommée la théorie des deux mondes (Figure 1).

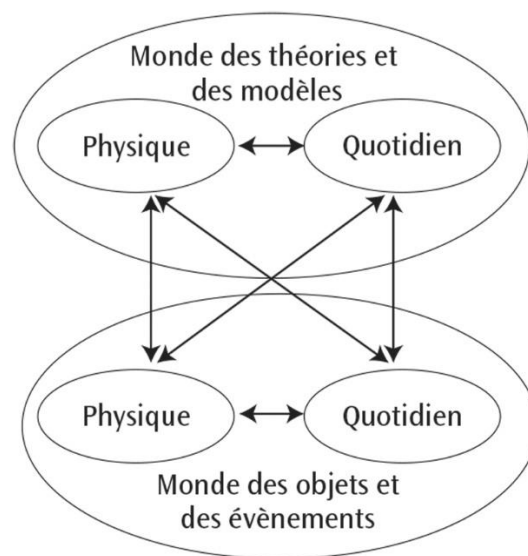


Figure 1 : représentation de la théorie spécifique de deux mondes d'après Veillard et al. (2011)

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

Tiberghien (2000) explique que l'établissement des liens à l'intérieur d'un même monde ou entre les mondes nécessite de distinguer ce qui relève du modèle de ce qui appartient au monde

des objets et des événements. Elle insiste sur l'importance de préciser que le monde des objets et des événements n'est pas la réalité mais ce que perçoit l'individu de cette réalité. Cette perception n'est accessible aux didacticiens qu'à travers les verbalisations des individus à propos des objets et des événements (ibid.).

Souvent, les enseignants de physique ne voient pas l'utilité d'expliciter la différence entre les deux mondes (Mortimer et Buty, 2008). Pour certains enseignants, l'établissement des liens entre les deux mondes tout en les distinguant est aisé et immédiat tandis que cela n'est pas le cas pour les élèves. Ces derniers présentent des difficultés pouvant empêcher la compréhension et l'apprentissage d'un concept et/ou d'un modèle. Morge et Doly (2013) insistent sur le fait qu'il est important de faire la distinction entre modèle et réalité.

L'intégration des modèles et du processus de modélisation dans des séquences d'enseignement (par exemple SESAMES collège, SESAMES lycée) est due, d'une part, à l'importance accordée par la recherche en didactique aux modèles et, d'autre part, à la place de ces derniers dans les programmes de physique-chimie.

1.1.2.2. Modèle et modélisation dans les programmes du collège

Les travaux de la commission Lagarrigue, commission de réflexion sur les programmes de sciences physiques, vont amener de profondes modifications sur le plan épistémologique et structurel comme le montrent les publications dans le Bulletin de l'Union des Physiciens (Lagarrigue, 1971, 1973 ; Omnès, 1975, 1977 ; Omnès, et al., 1977). Ces travaux concernent trois domaines :

- (1) l'enseignement de la technologie dans les classes de quatrième et de troisième ;
- (2) la réforme des programmes de sciences physiques au lycée ;
- (3) la formation pédagogique initiale des futurs enseignants.

En parallèle, des changements profonds du système éducatif ont lieu (réforme Haby, loi du 11 juillet 1975) qui vont modifier ses tâches et l'amener à définir le contenu qu'il convient de donner aux sciences physiques dans une réforme d'ensemble où cette discipline prend place dans tout le premier cycle du second degré. Ainsi, l'enseignement de physique-chimie a été introduit au collège et notamment en classe de 6^{ème} à partir de la rentrée 1977. Quelques années plus tard, cet enseignement a été supprimé (en 1991 en 6^{ème}, 1992 en 5^{ème}). Cependant le volume horaire accordé à cet enseignement a augmenté en classe de 4^{ème} et de 3^{ème} à partir de 1993.

En consultant les programmes de collège de 1997⁶ et les documents d'accompagnement, je constate qu'il existe un intérêt indéniable pour la notion de modèle (171 occurrences) et de modélisation (17 occurrences). Cependant, bien que le nombre d'occurrences soit important, celles-ci renvoient essentiellement aux divers modèles de l'atome et à la modélisation des molécules, du système solaire et des forces. Les documents d'accompagnement visent à aider les professeurs enseignant la physique-chimie au collège et à les guider dans la mise en application des récents programmes (BO n° 5 du 30 janvier 1997). Dans ces documents d'accompagnement, une « Brève histoire de la théorie moléculaire donner aux enseignants » (p. 59-60) suivie de quelques citations visant à illustrer l'idée de modèle et son évolution historique »⁷ font référence à des publications des didacticiens comme (Chomat et al., 1988 ; Méheut, 1996). La Figure 2 permet d'illustrer mes propos ; elle est tirée des documents d'accompagnement.

⁶ Programmes de physique-chimie de 5^{ème} applicable en 1997, programmes de 4^{ème} 1998 et programmes de 3^{ème} applicable en 1999.

⁷ Il s'agit ici d'une reprise d'une partie du titre de la partie évoquant les modèles dans le document d'accompagnement des programmes 5^{ème}-4^{ème}. Le titre complet est « Quelques citations destinées à illustrer l'idée de modèle et son évolution historique ».

H2. Quelques citations destinées à illustrer l'idée de modèle et son évolution historique ¹

Un atome, qu'est-ce que c'est ?

1 – Un modèle ?

Caractère *a priori*

« (...) toute qualité change, les atomes, par contre, ne subissent aucun changement. » (Epicure)

« Les molécules sont conformes à un type constant avec une précision qui ne se trouve pas dans les propriétés sensibles des corps qu'elles constituent. » (Maxwell)

Caractère analogique

« (...) je réclame donc le droit d'employer des images mécaniques, et de dresser le tableau à double entrée – images mécaniques d'un côté, faits physiques de l'autre – (...) » (Brillouin)

« Et construire des images destinées à la représentation d'une série de faits de telle manière qu'elles permettent de prédire le déroulement d'autres phénomènes semblables, c'est bien le premier objectif de toute science exacte. (...) »

Caractère évolutif

« ... restera alors l'espoir que les images pourront être modifiées et complétées de sorte qu'elles suffisent à la description des anciens et des nouveaux phénomènes. » (Boltzman)

Simplicité

« Je ne crois pas qu'aucune idée simple se soit montrée aussi féconde... »

Unification (explication et prévision des phénomènes)

... et ait permis, par son développement logique, de rattacher l'une à l'autre autant de propriétés distinctes (...) » (Brillouin)

2 – Une réalité ?

« Comment connaissons-nous le monde extérieur, sinon par nos sensations ? » (Ostwald)

« Qui a jamais vu (...) une molécule (...) ou un atome ? » (Berthelot)

« Jamais en chimie nous ne devons aller plus loin que l'expérience. » (Dumas)

« Qu'entendons-nous maintenant lorsque nous parlons de la réalité des atomes ? (...) Cette réalité signifie simplement que les atomes sont des objets qui sont doués de la plupart des propriétés de ceux que nous avons ordinairement sous les yeux » (Pauling)

RÉFÉRENCES

Histoire de l'atome.

Les atomes, Bensaude-Vincent B. & Kounelis C., 1991.

Une anthologie historique, Paris, Presses Pocket.

DIDACTIQUE

Chomat A., Larcher C., Méheut M., modèle particulaire et activités de modélisation, Aster, 7, 143-184, 1988.

Méheut M., enseignement d'un modèle particulaire cinétique de gaz au collège. Questionnement et simulation, Didaskalia, 8, 7-32, 1996.

Figure 2: extrait du document d'accompagnement des programmes de 5ème et 4ème (BO n° 5 du 30 janvier 1997)

Depuis les années 2000, les programmes accordent une place aux modèles et à la modélisation (Bécu-Robinault, 2015). Pour les programmes de collège de 2008, Bécu-Robinault constate que « mises à part les indications sur la modélisation des molécules, le terme de modélisation est quasiment absent des programmes de collège de 2008 » (p. 64). Elle explique que malgré l'absence des termes modèle et modélisation « les objectifs et les activités proposées impliquent toutefois l'enseignement et la manipulation des modèles en optique et en électricité » (p. 64).

1.1.2.3. Modèle et modélisation dans les programmes du lycée

Bécu-Robinault (2018) écrit qu'en France, les modèles et la modélisation sont présentés comme un enjeu majeur de la formation scientifique depuis les programmes du lycée de 2001. L'importance de la modélisation est liée à la nécessité de faire concorder la science en train de se faire et les stratégies pédagogiques adoptées. Dans les programmes actuels, entrés en vigueur dès 2019, on trouve la même phrase dans le préambule de la classe de seconde (MEN, 2019a),

dans le programme de physique-chimie en vigueur en première générale (MEN, 2019b) ainsi qu'en terminale générale, (MEN, 2019c). Ainsi, peut-on lire dans ces trois programmes :

« Dans la continuité du collège, le programme de physique-chimie de la classe de seconde vise à faire pratiquer les méthodes et démarches de ces deux sciences en mettant particulièrement en avant la pratique expérimentale et l'activité de modélisation. L'objectif est de donner aux élèves une vision intéressante et authentique de la physique-chimie ». (MEN, 2019a, 2019b et 2019c).

Après ce bref aperçu sur la place des modèles et du processus de modélisation dans les recherches en didactique de la physique d'une part et dans les programmes d'autre part, nous pouvons mieux comprendre les raisons pour lesquelles une importance leur est accordée dans les séquences d'enseignement. En France, les professeurs doivent enseigner des contenus conformes aux programmes officiels. Par conséquent, les contenus d'enseignement proposés dans les ressources disponibles (séances, séquences, scénario de classe, etc.), élaborées par des enseignants seuls ou dans le cadre d'une conception collaborative avec des chercheurs, sont assujettis aux programmes. SESAMES⁸ est un exemple d'un groupe de type DBR⁹ composé de chercheurs et d'enseignants élaborant des séquences de classe en prenant en compte les injonctions officielles ainsi que les résultats de recherche en didactique sur les modèles et le processus de modélisation en physique (Tiberghien et al., 2009 ; Bécu-Robinault, 2015, 2018).

1.1.3. Registres de représentations sémiotiques

Dans la communauté scientifique, les chercheurs s'appuient fréquemment sur des modèles exprimés sous différentes représentations pour penser, construire, reconstruire et communiquer les théories (Schwarz et al., 2009). Dans plusieurs recherches où Gilbert était impliqué (Gilbert et al, 2000 ; Gilbert, 2004), cet auteur met en avant les représentations pouvant être convoquées dans la représentation des modèles. Bécu-Robinault (2015, p. 93) précise que « Gilbert affirme plus radicalement que tous les modèles scientifiques incluent des représentations sémiotiques, qu'elles soient des écritures symboliques, des schémas ».

Cependant, le terme « représentation » utilisé dans différents domaines (en linguistique, en psychologie cognitive, en anthropologie, en didactique) peut prendre des sens différents. Parfois, ce terme est accompagné d'un qualificatif comme interne ou externe. La précision qu'introduit le terme externe, représentation externe, renvoie à l'aspect visuel et vise à éviter

⁸ Situations d'Enseignement Scientifique : Activités de Modélisation, d'Évaluation, de Simulation. Les séquences SESAMES sont publiées sur le site Pégase (<http://pegase.ens-lyon.fr/>)

⁹ Il s'agit d'un collectif type Design Based Research (DBR).

toute confusion éventuelle avec les représentations mentales internes. De son côté, Latour (1987) a introduit la notion d'inscription pour faire une distinction entre la notion traditionnelle de la représentation, qui relève des sciences cognitives – qui connote l'imagerie mentale et les processus mentaux – et les traces graphiques ou iconiques, en version papier ou électronique. Il nomme inscriptions les objets de toutes sortes « figure, diagramme, tableau, liste, silhouette, etc. » qui doivent être « mobiles, immuables, présentables, lisibles et combinables ¹⁰ ». Latour (1985) développe l'idée que les inscriptions visent à capitaliser et rassembler différentes données et épreuves expérimentales dans un même endroit, celui où elles pourront être débattues : « La “voie sûre d'une science” c'est toujours l'invention d'un nouveau mobile immuable capable de rassembler les choses en quelques points » (Latour, 1985, p. 15).

Mes recherches portent sur des situations d'enseignement et d'apprentissage de la physique ; c'est pourquoi je m'intéresse aux représentations externes qualifiées de sémiotiques par Duval (1995) et qui sont produites par l'enseignant à des fins de communications. Pour Duval (ibid.), les représentations sémiotiques sont des productions constituées de signes appartenant à un système de représentation qui a ses propres contraintes de signifiante et de fonctionnement. Ces systèmes de signes sont dénommés registres de représentations sémiotiques.

Duval (1995) distingue plusieurs types de représentations externes spécifiques en mathématiques qui permettent d'accéder à un concept. Étant donné que dans l'enseignement de la physique, les représentations externes sont courantes, je me situe ainsi dans la continuité de Duval et je considère qu'en physique, le savoir à enseigner ne s'appréhende pas et ne prend sens que par l'intermédiaire de représentations sémiotiques ; les élèves ne donnent du sens aux modèles qu'en se les appropriant et en articulant les divers registres de représentations des concepts. L'intérêt des représentations sémiotiques pour les recherches en didactique de la physique est reconnu (Malafosse et al., 2000 ; El Hage, 2012 ; Linder, 2013). De plus, la combinaison modélisation et registres sémiotiques dans les recherches en didactique de la physique est relativement fréquente (Gaidioz et al., 2004 ; Malonga Mounghabio et Beaufils, 2010 ; El Hage, 2012 ; Givry et Delserieys, 2013 ; El Hage et Buty, 2013a ; El Hage et Buty,

¹⁰ Une inscription est (1) mobile : elle a la faculté de rassembler et de « transporter des états quelconques du monde en quelques lieux » ; (2) immuable : elle conserve les traces sans les détruire ou les modifier lors du transport d'un lieu à un autre ; (3) présentable : elle utilise des signes pour présenter quelque chose à quelqu'un ; (4) lisible : elle peut être perçue, lue et déchiffrée par quelqu'un qui a les savoirs nécessaires et (5) combinable : elle peut mettre en rapport différents éléments pour visualiser et déduire des résultats qu'on ne peut pas déduire de la vision d'un seul élément.

2014 ; Bécu-Robinault, 2018) et se justifie par le fait que les modèles de la physique, scientifiques ou scolaires, s'appuient sur des représentations.

Duval (1995) énumère les registres sémiotiques suivants en mathématique : le langage naturel, les langues symboliques ou iconiques, les graphes cartésiens, les tableaux, les figures géométriques. Dans le cas de l'enseignement et l'apprentissage de la physique, différents types de registres sémiotiques sont évoqués (Malafosse et al., 2000 ; Veillard et al., 2011 ; El Hage, 2012 ; Givry et Delserieys, 2013 ; El Hage et Buty, 2014 ; Bécu-Robinault, 2015, 2018). Pour ma part, je distingue :

- le langage naturel constitue le premier outil utilisé avant et/ou pendant l'acquisition du vocabulaire scientifique ; il peut être utilisé pour exprimer des notions de physique mais également dans d'autres situations ;
- les expressions algébriques mobilisent des grammaires permettant d'énoncer les relations entre différentes grandeurs, c'est-à-dire les expressions mathématiques, les lois ;
- les graphes sont des représentations des variations des grandeurs mesurables. Ce registre permet de présenter les co-variations entre grandeurs physiques, donc d'établir des relations de dépendance entre grandeurs ;
- les tableaux permettent de dresser et d'organiser un ensemble de valeurs de différentes grandeurs ;
- les schémas correspondent à des tracés figurant les éléments essentiels d'un objet, d'un phénomène, par exemple : les schémas des circuits électriques.

Il est important de mentionner que chacun de ces registres met en évidence des propriétés différentes du concept. Selon les informations à traiter, à communiquer, certains registres s'avèrent plus pertinents que d'autres. Duval (1995) précise qu'il est nécessaire de prendre en compte trois phénomènes : la diversification des registres, ce qui nécessite de distinguer les différents systèmes de représentation ; la différenciation entre représentant et représenté pour pouvoir associer plusieurs représentations à un même représenté ; la coordination entre les différents registres sémiotiques qui nécessite une connaissance de règles de correspondance entre les systèmes mobilisés. En effet, chaque registre permet de mettre en œuvre des aspects différents d'un même concept, c'est pourquoi la compréhension d'un concept passe par la mise

en relation des différents registres sémiotiques. Cette mise en relation peut passer par deux opérations, développées ci-dessous.

- La transformation d'une représentation initiale en une autre appartenant au même registre, appelée *traitement* par Duval (ibid.). Par exemple, l'expression algébrique de la puissance ($P = R.I^2$) peut être considérée comme le résultat du traitement entre les deux relations suivantes ($U = R.I$) et ($P = U.I$). Comme nous pouvons le constater, lors des opérations de traitement, il n'y a donc qu'un seul registre sémiotique mobilisé. Ici, c'est le registre algébrique qui est convoqué.
- La transformation d'une représentation d'un registre à une représentation relevant d'un autre registre, appelée *conversion* par Duval (ibid.). Prenons un autre exemple en physique, le passage de la loi d'ohm ($U = R.I$) à une droite, ou inversement, est une conversion entre le registre algébrique et le registre graphique.

Les représentations sémiotiques peuvent être utilisées pour représenter des éléments appartenant au monde des objets/événements ou au monde des théories/modèles. Le modèle physique est composé des grandeurs physiques, des relations établies entre ces grandeurs, des graphiques, etc. Avec des registres sémiotiques et avec les opérations sur les registres sémiotiques, il est ainsi possible de mettre en lien des éléments appartenant aux deux mondes de la modélisation.

1.1.4. Synthèse : modèles, modélisation, registres sémiotiques et interactions didactiques

Lemke (1990) souligne que l'apprentissage des sciences implique l'appropriation des concepts, des instruments et des pratiques culturelles par un langage multimodal. Dans la continuité de cet auteur, nous considérons que l'enseignement de physique amène à des interactions multimodales (le verbal et le non-verbal). Ce processus multimodal vient accompagner ce que l'enseignant note au tableau, pouvant appartenir à un ou plusieurs registres sémiotiques et aux différents mondes de la modélisation. En d'autres termes, les écrits au tableau ne sont pas indépendants des interactions, une partie de ces écrits pourrait même être générée par les interactions. L'enseignant utilise des représentations pour étayer son discours en classe. Comme une variété de signes peut être mobilisée dans des situations d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques (Arzarello et Robutti, 2010), elle peut également l'être dans des situations d'enseignement et d'apprentissage de la physique. Cette variété de signes peut aller de ce qui

est verbalisé à ce qui est écrit au tableau. Ce dernier peut appartenir à un ou plusieurs registres sémiotiques et à un ou deux mondes de modélisation.

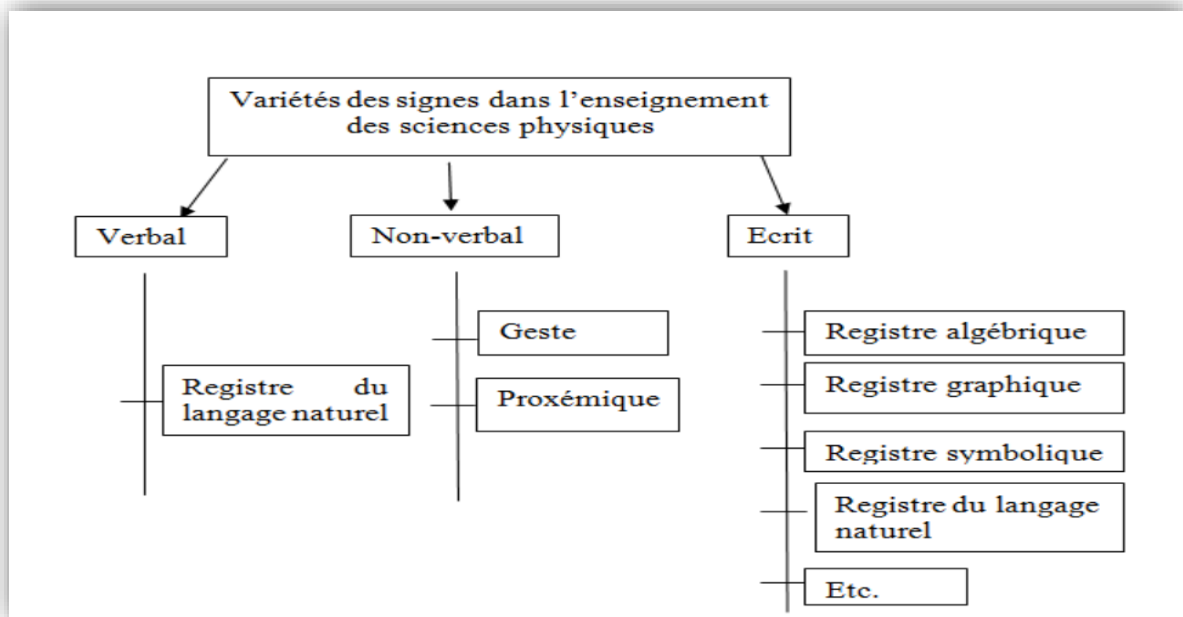


Figure 3: variétés de signes (le verbal, le non-verbal et l'écrit) mobilisés dans l'enseignement et l'apprentissage de la physique (El Hage, 2012).

La fonctionnalité de ces éléments théoriques peut être illustrée par leur mise à l'épreuve dans différents contextes et pour divers objets d'étude.

1.2. Mise à l'épreuve des éléments théoriques dans trois contextes différents

Le processus d'enseignement et d'apprentissage fait appel aux interactions dans une situation donnée. Dans trois recherches présentées ci-dessous (§1.2.1 ; §1.2.2 ; § 1.2.3) portant sur les pratiques d'enseignement, nous avons mis l'accent sur les écrits au tableau et leurs modalités de productions suite aux interactions didactiques notamment lors de l'usage du numérique dans différents contextes.

1.2.1. Étude des écrits d'un enseignant de physique au tableau au collège

Au début de ma thèse, avec Christian Buty et Karine Bécu-Robinault, nous avons mené une étude exploratoire visant à comprendre les pratiques d'enseignements en physique au collège lors de la mobilisation des TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement). Ce travail nous a permis de tester la robustesse de nos éléments théoriques dans l'étude de ces pratiques. Deux études pilotes ont été réalisées au collège, auprès de deux enseignants différents faisant partie du groupe SESAMES collège. Il s'agit d'un collectif type

Design Based Research (DBR), piloté par Karine Bécu-Robinault, qui élabore des séquences d'enseignement en physique.

1.2.1.1. Première étude pilote sur la synthèse additive

Souhaitant analyser les interactions entre l'enseignant et les élèves et leur impact sur les écrits, nous nous sommes donc tournées vers une prise de données vidéo tout au long d'une séquence¹¹. Nous avons analysé les données recueillies lors d'une séance de cette séquence ; l'objectif de la séance, fixé par SESAMES, consiste à montrer aux élèves qu'une simulation reproduit les résultats d'une expérience réelle dans des conditions idéales étant donné qu'une simulation produit des résultats conformes au modèle physique. Pendant cette séance, tous les élèves ont utilisé le logiciel libre Visiolab (Figure 4). Cependant, seul l'enseignant a réalisé, à sa paillasse, des expériences avec le matériel habituellement disponible en classe de physique, par exemple, en croisant trois faisceaux de lumière colorée, rouge vert et bleu, à l'aide d'une lanterne.

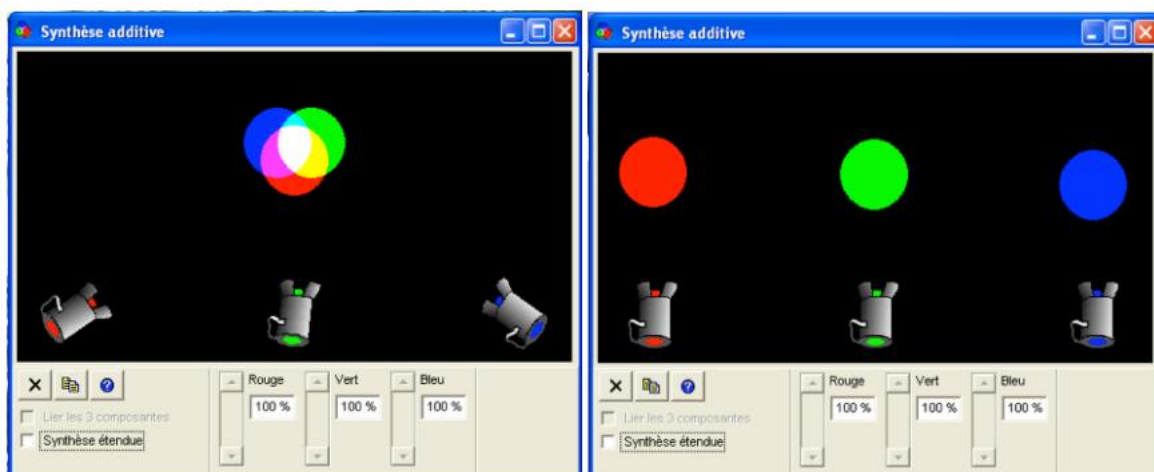


Figure 4: deux captures d'écran de la fenêtre de Visiolab (synthèse additive). A gauche, une capture d'écran de la fenêtre à l'ouverture avec les lumières superposées. A droite, une capture d'écran de la fenêtre après séparation des lumières colorées

Après une analyse *a priori*¹² de Visiolab en termes de modélisation et de représentations sémiotiques, nous avons analysé la vidéo de cette séance en nous focalisant sur les écrits au tableau et en prenant en compte toutes les interactions les accompagnant.

¹¹ Une séquence d'enseignement correspond à une unité thématique de plusieurs semaines d'enseignement. Chaque séquence est composée de plusieurs *séances*, dont la durée correspond généralement à une plage horaire. Nous avons filmé, avec 2 caméras, l'intégralité de la séquence (une caméra au fond de la classe suivait l'enseignant et l'autre était fixe et focalisée sur un binôme d'élèves). L'enseignant comme le binôme filmé étaient équipés de micros cravates sans fils.

¹² L'analyse a priori indique des points de vigilance auxquels l'enseignant devait faire attention lors de son enseignement : (1) le fond noir simulé sur Visiolab représente un écran blanc disposé dans une pièce non éclairée ;

Les résultats de l'analyse montrent (El Hage, Bécu-Robinault et Buty, 2010) que :

- lors des interactions entre les élèves et l'enseignant, ce dernier est vigilant aux termes employés par les élèves. En effet, l'enseignant reprend les élèves verbalisant que Visiolab sert à « mélanger les couleurs » et reformule systématiquement cette phrase par « superposition de lumières colorées ». Dans ses interventions orales, l'enseignant insiste sur le modèle en jeu, ici la synthèse additive, pour éviter de potentielles confusions entre la synthèse additive et la synthèse soustractive ;
- lors de la phase d'institutionnalisation, l'enseignant reprend les représentations sémiotiques figurant sur l'interface de Visiolab, c'est-à-dire des disques colorés tout en matérialisant les trois sources de lumière loin de ces disques (Figure 5). En conséquence, les représentations sémiotiques figurant sur le tableau sont plutôt associées au monde des objets et événements (à des taches lumineuses sur un écran quand on l'éclaire avec des spots) qu'au modèle physique. Il n'y a pas eu de modélisation de la lumière ni par rayon de lumière ni par faisceaux de lumière. Autrement dit, la mise en relation entre les deux niveaux de modélisation a été empêché ici par les représentations type disque.

(2) le lien entre les disques colorés et les spots n'est pas évident : d'une part, les spots sont détachés de disques colorés et d'autre part, il est impossible de ne déplacer que les disques colorés (impossible d'agir sur les spots). Ainsi, les élèves pourront oublier qu'il s'agit de lumières colorées et penser intuitivement aux mélanges de couleurs ; (3) habituellement, en classe de physique, on modélise le faisceau de lumière par les rayons de lumière qui le délimitent bien que le faisceau de lumière entre un spot et l'écran ne soit pas visible tout le temps (visualiser un faisceau de lumière est possible avec de la poussière par exemple). Pour résumer, peu de registres sémiotiques sont utilisés et la modélisation de la lumière colorée se fait par des disques colorés.

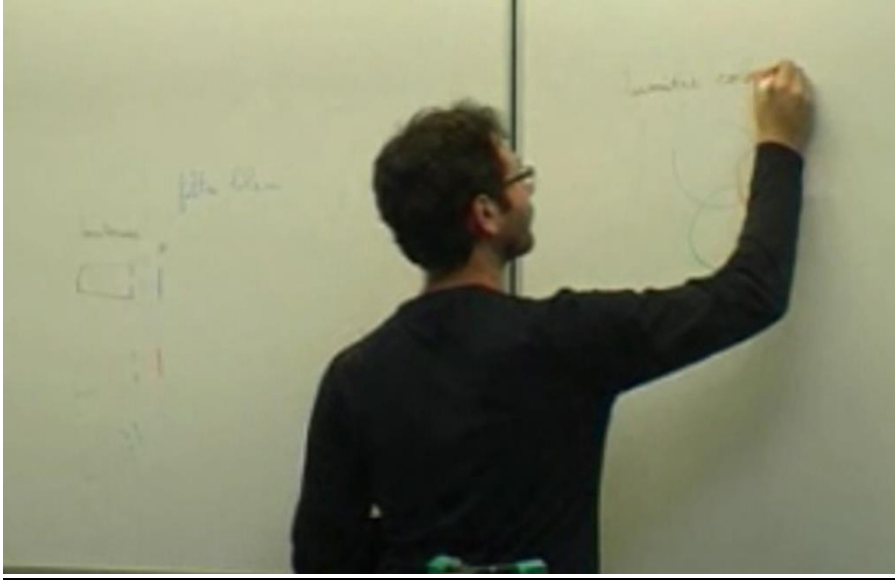
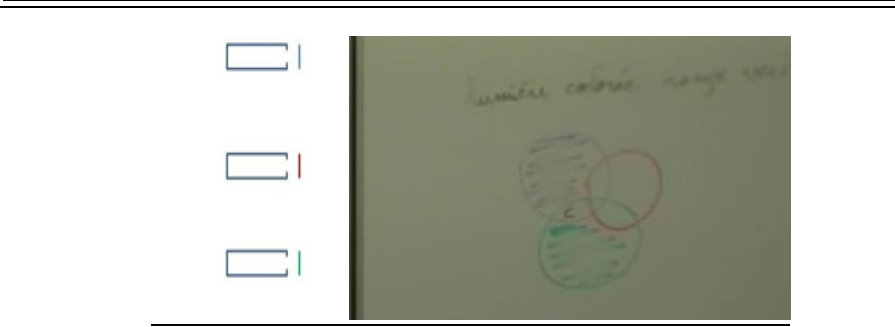
	<p>Capture d'écran de la phase d'institutionnalisation</p>
	<p>Reconstitution partielle du dessin pour plus de lisibilité</p>

Figure 5: capture d'écran de la phase d'institutionnalisation et sa reconstitution

Cette étude nous a permis de conforter les choix des éléments théoriques permettant de comprendre les pratiques d'enseignement.

1.2.1.2. Deuxième étude pilote en optique

Pour cette deuxième étude pilote (El Hage et Buty, 2013b), avec Christian Buty nous sommes appuyés sur des vidéos prises dans le cadre d'un enseignement d'optique¹³ au collège mobilisant le logiciel Cabri-géomètre¹⁴. Ce dernier était utilisé pour modéliser l'œil en termes de lentille convergente. La recherche visait à étudier la cohérence du discours¹⁵ de l'enseignant entre sa dynamique interactionnelle et les écrits au tableau qui l'accompagnent.

Comme pour la première étude de cas, nous avons effectué une analyse *a priori* du logiciel Cabri-géomètre en termes de modélisation et représentations sémiotiques. L'analyse de

¹³ J'ai participé à l'élaboration des activités en optique avec le logiciel Cabri-géomètre mises en place dans la séquence ; j'ai formé également l'enseignant à l'utilisation de ce logiciel.

¹⁴ Cabri Géomètre est un logiciel de géométrie dynamique destiné principalement à l'apprentissage de la géométrie en milieu scolaire. Il permet d'animer des figures géométriques, au contraire de celles dessinées au tableau. Il est utilisé en didactique de mathématiques et en didactique de la physique.

¹⁵ Par cohérence, nous entendons l'état de non-contradiction entre les savoirs dans un discours tout au long d'une séquence.

données vidéos nous a permis de constater des mises en relation entre les deux mondes de modélisation via l'oral tout en l'accompagnant par des gestes.

Nous avons constaté également, à plusieurs reprises, que les interactions, verbales comme non-verbales, entre l'enseignant et les élèves impactaient la nature des traces écrites au tableau par l'enseignant en termes de registres mobilisés.

Les résultats obtenus par cette étude de cas montrent, d'une part que l'enseignant utilise une multitude de signes (verbaux, non verbaux, représentations sémiotiques) pour pallier les manques des représentations statiques habituelles feutre-tableau et, d'autre part, que l'utilisation des logiciels aide à créer une cohérence discursive avec une mise en relation entre les deux mondes de modélisation tout au long d'une séquence d'enseignement malgré son utilisation ponctuelle.

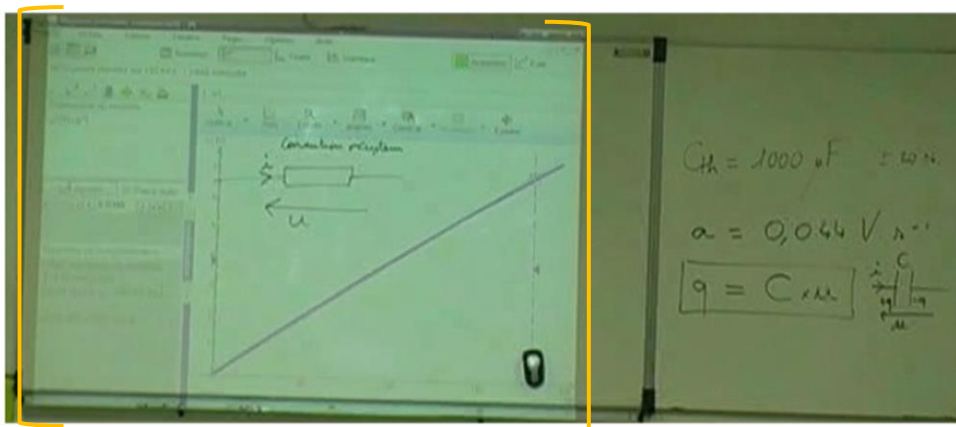
La fonctionnalité de nos éléments théoriques (interaction, modélisation et sémiotique) est de nouveau confortée par le fait qu'ils permettent de comprendre et étudier les pratiques d'enseignement. De plus, nous avons constaté que l'utilisation du numérique impactait les interactions et les écrits au tableau. Nous avons ainsi gardé ces éléments théoriques et nous les avons enrichis pour étudier les pratiques d'enseignement avec une utilisation du numérique plus systématique (par l'enseignant et par les élèves) tout au long de la séquence. Nous postulons que l'utilisation des TICE conditionne en partie les interactions didactiques entre l'enseignant et les élèves et par conséquent modifie les représentations sémiotiques au tableau qui les accompagnent.

1.2.2. Étude des écrits d'un enseignant de physique au tableau au lycée

Dans les recherches, pendant ma thèse, pour comprendre les pratiques d'enseignements, nous avons mis l'accent sur les relations savoirs-interactions dans la perspective d'étudier la progression des relations entre l'enseignement dans leur aspect temporel et leur impact sur les écrits de l'enseignant au tableau et notamment lors de l'usage du numérique (El Hage, 2012). Autrement dit, un des objectifs consiste à étudier la dynamique interactionnelle tout au long d'une séquence sur l'enseignement de l'électricité avec les écrits au tableau qui l'accompagnent lors de l'utilisation des logiciels. J'ai ainsi filmé un enseignant du groupe SESAMES lycée, groupe animé par Andrée Tiberghien et Jacques Vince. Cette séquence se structure en trois parties : dipôle résistance-condensateur (dipôle RC), dipôle résistance-bobine (dipôle RL) et

dipôle résistance-bobine-condensateur (dipôle RLC). Pour cette séquence, deux logiciels sont utilisés régulièrement (Mesure électrique¹⁶ et Regressi¹⁷).

Lors de cette séquence, composée de plusieurs activités¹⁸, nous avons constaté systématiquement un type particulier d'écrit au tableau. En effet, l'enseignant projette l'écran de son ordinateur (ME, Regressi, Power point, doc Word), ajoute d'autres représentations sémiotiques au tableau, soit sur la surface de la projection, soit à côté de la projection pour étayer son discours. Ce qui est écrit au tableau évolue au rythme des interactions qu'il a avec ses élèves. Ainsi, dans cette recherche, nous nous intéressons à ce type particulier des écrits des enseignants au tableau que nous avons appelé inscription¹⁹. Cette dernière correspond à une transposition du concept « d'inscription » utilisé par Latour (1985) en anthropologie de sciences (El Hage, 2012 ; El Hage, 2014a ; El Hage et Buty, 2014 ; El Hage et Buty, 2016). Par inscription, nous entendons les représentations sémiotiques multiples, réalisées par l'enseignant, constituées de la projection de l'écran de l'ordinateur et d'écrits ajoutés à la main. Elles sont accompagnées d'un discours qui leur donne sens (Figure 6).



Légende. Les deux crochets illustrent ce que nous considérons comme des représentations inscrites sur la surface de la projection.

Figure 6: état du tableau lors du travail sur la charge d'un condensateur avec un générateur de courant avec multiples représentations sémiotiques ajoutées avec un feutre.

¹⁶ Mesure Électrique (ME) permet de réaliser les acquisitions de tensions variables en fonction du temps. Le traitement des données obtenues par ME peut se réaliser directement sur le graphique affiché sur l'écran, ou grâce à d'autres logiciels comme Excel, Calc ou Regressi.

¹⁷ Regressi permet le traitement et la modélisation de données, qu'elles soient obtenues à l'aide d'un logiciel d'acquisition comme ME ou entrées manuellement après avoir réalisé une expérience non informatisée.

¹⁸ Le terme activité est employé par le groupe SESAMES ; il apparaît comme le reflet d'une certaine organisation pédagogique, avec un sens très courant destiné à mettre en avant la participation des élèves. Bien qu'il introduise une certaine polysémie, nous l'avons conservé et utilisé dans l'esprit du groupe SESAMES.

¹⁹ Nous avons effectué une transposition de la notion d'inscription dans les situations d'enseignement et d'apprentissage (El Hage et Buty, 2014).

Pour l'analyse des inscriptions en fonction de l'ordre dans lequel les représentations sémiotiques sont fournies, nous séparons les différentes inscriptions, avec le logiciel Transana²⁰, tout en nous basant principalement sur la projection de l'écran de l'ordinateur. Autrement dit, je considère qu'une inscription est terminée et qu'une deuxième inscription a commencé lorsque la projection de l'écran change (El Hage, 2014a). Par exemple, si l'enseignant projette un écran d'un logiciel puis arrête l'écran du logiciel et ensuite projette une diapositive, nous considérons que nous avons deux inscriptions.

Ces analyses ont permis de :

1) constater que les inscriptions évoluent au rythme des interactions entre les élèves et l'enseignant. De plus, nous avons pu catégoriser deux types d'inscriptions en nous appuyant sur les contenus véhiculés par ces interactions. D'une part, on peut parler des « inscriptions de type A » quand les représentations sémiotiques ajoutées à la main sont en rapport direct avec la projection de l'écran de l'ordinateur et avec l'objectif d'apprentissage visé ; ce type d'inscription est relié à ce qui a été planifié par l'enseignant. Le discours est généralement autoritatif dans ce cas. D'autre part, on peut parler des « inscriptions de type B » quand les représentations sémiotiques ajoutées à la main au tableau sont considérées comme périphériques par rapport à la projection. Elles permettent d'apporter des informations supplémentaires et complémentaires quelle qu'en soit l'origine (l'enseignant, l'élève). Le discours est généralement dialogique/interactif dans ce cas.

2) Pour étayer ses interventions orales en classe, l'enseignant les accompagne non seulement d'une multitude de registres sémiotiques mais effectue également des opérations sur ces derniers. Ainsi, grâce aux représentations sémiotiques diversifiées (ajoutées à la main en plus de celles qui figurent sur l'écran de l'ordinateur projeté) l'enseignant tisse un ensemble de liens entre les deux mondes de modélisation tout en alternant différentes approches communicatives. J'illustre mes propos en m'appuyant sur la Figure 7. Par son discours multimodal qui appartient aux différents « mondes », l'enseignant effectue, ici, des traitements dans le registre algébrique pour déduire que $C = \frac{i}{a}$; c'est en comparant $q = \frac{i}{a.u}$ et $q = C . u$ qu'il a pu déduire l'expression algébrique de la capacité du condensateur.

²⁰ Transana est un logiciel développé par le Wisconsin Center for Education Research. Il a été développé sur la base des besoins de chercheurs initialement par Chris Fassnacht puis par David Woods. Il est utilisé par de nombreux didacticiens pour l'analyse des vidéos de classe (El Hage, 2014b).

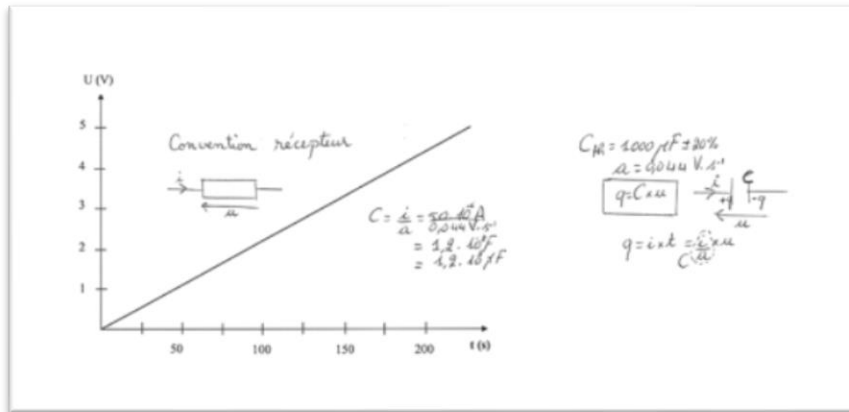


Figure 7: reconstitution des inscriptions affichées au tableau à un moment donné.

Pour l'enseignant, le recours systématique à des inscriptions tout au long de la séquence lui permet d'explicitier le fonctionnement de la physique du point de vue du processus de la modélisation (El Hage, 2015).

Dans la continuité de ma thèse, j'ai souhaité explorer des pistes ouvertes par mon travail et notamment celles en lien avec les inscriptions. Ces dernières étaient parfois chargées en représentations sémiotiques (jusqu'à 10) avec parfois des redondances. Selon Duval (1995), la coordination des registres sémiotiques n'est pas évidente pour les élèves en mathématiques. Pour ces raisons, il nous a semblé légitime de nous pencher sur les écrits des élèves en étudiant notamment les écarts entre les inscriptions faites par l'enseignant et les traces écrites dans les cahiers des élèves au lycée.

1.2.3. Étude des écrits des élèves dans leur propre cahier

La vie de la classe se construirait de nos jours, autour du tableau qui expose publiquement par écrit les savoirs dépendant des interactions complexes entre écrit et oral, que l'enseignant juge nécessaires. Comme l'indique Nonnon (2004, p. 17) :

« Quelle que soit la richesse qu'on attribue aux échanges oraux dans la classe, c'est la présence d'une trace écrite qui aux yeux de tous, des élèves comme de l'institution, reste garante de la réalité du travail accompli ».

Nous considérons qu'analyser ce que l'enseignant fait au tableau indépendamment des écrits des élèves dans leur cahier ne donne pas une idée assez « complète » du rôle de ces écrits dans le processus d'enseignement et d'apprentissage. Par ailleurs, projeter une courbe expérimentale acquise par ordinateur, modéliser son équation par régression, faire des schémas ou écrire des équations au tableau à côté de ces courbes, ou encore compléter manuellement par des valeurs ou des constructions est facile pour l'enseignant au tableau. Mais c'est peut-être moins facile

pour l'élève qui doit garder, en principe, des traces de ces inscriptions sur son unique cahier de PC. En effet, la profusion et la complexité des inscriptions qui s'enrichissent à différents endroits sur le tableau pourraient amener les élèves, même ceux qui suivent l'activité de l'enseignant, à sélectionner et choisir parmi les représentations sémiotiques et donc à limiter leur nombre. Ce cahier est le support que l'élève va rapporter chez lui pour travailler les contenus enseignés, *a fortiori* dans les phases de débriefing²¹ et/ou d'institutionnalisation auxquelles nous nous sommes intéressée. Le décalage éventuel entre les contenus projetés et discutés en classe et les notes des élèves dans leur cahier est un champ de recherche qui nous semble intéressant et mérite d'être développé.

Pour étudier l'écart entre les inscriptions de l'enseignant au tableau (accessible par l'intermédiaire d'une vidéo) et les écrits des élèves dans leurs cahiers suite à la correction collective (écrits pouvant être conservés par la numérisation des cahiers), nous avons développé une méthodologie de recherche spécifique. Celle-ci consiste tout d'abord en un repérage des éléments de savoir mis en jeu dans un ordre chronologique lors des inscriptions, suivi des éléments de savoir présents sur le cahier des élèves. Puis, nous associons les représentations sémiotiques mobilisées pour chacun d'eux. Enfin, nous procédons à une comparaison et mise en correspondance des éléments de savoir contenus dans les inscriptions et ceux dans les écrits individuels des élèves conditionnant en partie leur apprentissage (Tableau 2). Ce tableau permet également de constater des traitements et/ou des conversions, effectués par les élèves, entre ce qui se trouve dans les inscriptions et les écrits dans leurs cahiers.

Inscription au tableau		Ecrit de « E1 »		Ecrit de « E2 »	
Éléments de savoir	Registre sémiotique	Éléments de savoir	Registre sémiotique	Éléments de savoir	Registre sémiotique

Tableau 2: structure du tableau permettant de comparer les éléments de savoir et les registres sémiotiques dans les inscriptions des enseignants au tableau avec les écrits des élèves.

Ce travail (El Hage et Buty, 2016) a permis de constater que les éléments de savoir évoqués dans les inscriptions ne se trouvent pas intégralement dans les cahiers de la majorité des élèves.

²¹ Khanfour-Armalé (2008) désigne les « phases de correction des activités expérimentales » par l'anglicisme « débriefing », souvent utilisé par les enseignants et que nous utiliserons aussi par commodité.

Inscription au tableau		Cahier de « E1 »		cahier de « E2 »	
<i>Eléments de savoir</i>	<i>Registres sémiotiques</i>	<i>Eléments de savoir</i>	<i>Registres sémiotiques</i>	<i>Eléments de savoir</i>	<i>Registres sémiotiques</i>
Première inscription					
Effet d'une bobine dans un circuit électrique	Registre graphique (2 courbes)	---	---	---	---
Comparaison du comportement d'un circuit composé d'un générateur et d'une résistance seulement avec un dipôle RL	Registre graphique (1 courbe)	---	---	Présent à moitié : Comportement d'un circuit composé d'un générateur et d'une résistance seulement	Registre graphique
Dans un circuit RL, la mesure de l'intensité directement aux bornes de la bobine cause des problèmes avec une interface qui mesure la tension; $U_L = r_i + L \frac{di}{dt}$ ce qui rend l'extraction de i difficile	Registre algébrique accompagné d'une explication à l'oral	---	---	Présent	Registre algébrique avec une transcription de l'explication orale de l'enseignant
Calcul de la tension aux bornes de la bobine en régime permanent	Registre algébrique ; <u>registre graphique</u>	Présent à moitié	Registre algébrique seulement	Présent à moitié	Registre algébrique seulement

Légende.

« Présent » : l'élément de savoir évoqué dans l'inscription se retrouve dans l'écrit de l'élève ;

« Présent à moitié » : l'élément de savoir se retrouve dans les cahiers des élèves sous un seul registre sémiotique alors que l'enseignant a mobilisé au moins deux registres.

« Les tirets » indiquent l'absence de l'élément de savoir.

Tableau 3: comparaison entre les éléments de savoir dans les inscriptions et les écrits de deux élèves.

En fonction des élèves, plus ou moins d'éléments de savoirs sont en lien non seulement avec les inscriptions mais également en lien avec les savoirs donnés oralement par l'enseignant. L'écart est parfois très important (Tableau 3). Ces résultats renvoient à des questions sur le rôle de ces traces dans les apprentissages des élèves d'une part et sur « l'autonomie » laissée aux élèves pour : (1) organiser les savoirs dans leur cahier, (2) choisir et sélectionner les éléments de savoir à garder dans leurs cahiers, ainsi que les représentations sémiotiques pour garder ces éléments de savoir. La prise en charge des conversions et de traitement entre ce que l'enseignant écrit au tableau et les écrits des élèves montre que ces derniers ont réalisé des opérations sur les registres sémiotiques sans que l'enseignant ne le demande. L'engagement dans ce travail cognitif de la part de quelques élèves a eu lieu indépendamment des interactions durant la correction. Pourrions-nous parler dans ce cas de l'autonomie des élèves ? Comment pourrions-nous analyser cette forme d'autonomie ?

Mes interrogations sur l'autonomie prennent un autre virage suite aux entretiens que j'ai réalisés auprès de chercheurs physiciens²². Avec mes collègues (Cécile-Ouvrier Buffet, Elisabeth Plé et Hussein Sabra), nous nous sommes interrogés sur les sciences en train de se faire (par les chercheurs physiciens et par les mathématiciens pour pouvoir repenser les stratégies pédagogiques et didactiques transposables dans l'enseignement au secondaire, en physique et en mathématique). Pour démarrer cette réflexion, nous avons réalisé et analysé des entretiens auprès de quelques enseignants-chercheurs (noté EC pour la suite) de physique et de mathématiques. L'analyse des transcriptions des entretiens réalisés auprès des enseignants-chercheurs de physique a fait ressortir que les écrits de différents types (écrits pour réfléchir, écrits pour s'organiser, écrits pour un article) jouent un rôle très important dans la recherche. Pour les chercheurs interviewés, il existe deux manières d'envisager de faire de la physique : soit en faisant appel à des modèles et en les mobilisant d'une certaine façon lors de la réalisation des manipulations soit en modélisant des situations réelles et en construisant des modèles. Tous les enseignants-chercheurs interrogés ont évoqué la nécessité d'interagir avec des collègues (sur le campus, lors des conférences) et que cela devient d'autant plus nécessaire en cas de blocage. Quant à la possibilité d'effectuer une transposition de la démarche de recherche contemporaine dans leur enseignement de physique, les EC ont listé différents facteurs susceptibles de l'influencer : le contenu du module d'enseignement ; le niveau d'enseignement qui est directement lié à des connaissances et donc des prérequis ; le niveau d'autonomie des étudiants. Les EC se considèrent comme autonomes dans la recherche comme dans l'enseignement selon plusieurs aspects : proposition de projet, choix du sujet de recherche parmi une liste proposée, gestion de projet, recherche bibliographique, nature de preuves pour valider leurs résultats, organisation méthodologique et temporel pour faire avancer les projets. Cependant, ils reprochent à leurs étudiants de ne pas être autonomes.

²² D'une part, une place importante est accordée aux modèles et à la modélisation dans les recherches en didactique de la physique. Cela est justifié, en partie, par l'histoire des disciplines. D'autre part, des travaux en didactique de la physique traitant des questions liées aux démarches d'investigation s'appuient sur des fondements épistémologiques qui ont été élaborés par les auteurs à partir de grands moments de l'histoire des sciences et sont ainsi plus liés à ces grands événements qu'à une pratique contextualisée de la science (Bachelard, Dewey, Kuhn, Popper, etc.). Les travaux, que j'ai menés ou auxquels j'ai contribué (El Hage et Plé, 2016 ; El Hage et Ouvrier Buffet, 2018 ; Sabra et El Hage, 2019 ; El Hage, 2021a, 2021b), postulent que la science qui se pratique évolue à grande vitesse et qu'il est donc nécessaire d'interroger des chercheurs du 21^{ème} siècle pour obtenir des références reliées aux chercheurs « qui font la science ». Ainsi, nous nous sommes intéressés aux chercheurs contemporains pour avoir une idée de leurs démarches de recherche et étudier la possibilité de leurs transpositions dans le second degré.

Cette absence d'autonomie évoquée par les EC chez les étudiants m'interpelle : ne se pose-t-elle pas plus tôt dans la scolarité c'est-à-dire pour les élèves du secondaire ? Pourrions-nous ainsi travailler les modèles, la modélisation dans les enseignements de physique au collège et lycée sans un minimum d'autonomie ? Quels seraient alors les rôles possibles de l'enseignant dans le développement de cette autonomie d'une façon générale et notamment lors des moments où l'interaction didactique avec l'enseignant est absente (temps de recherche, travail personnel...)?

1.3. Synthèse et nouveaux questionnements sur l'autonomie

L'analyse d'une situation d'enseignement-apprentissage est par nature complexe. Pour faire face à cette complexité, nous avons choisi de suivre Buty et al. (2012) qui proposent de prendre plusieurs angles d'attaque. Nous avons ainsi convoqué plusieurs éléments théoriques : la modélisation, les registres sémiotiques et les interactions didactiques.

Pour mémoire, nous considérons que l'enseignant coopère et coconstruit avec l'élève des savoirs par le biais des interactions didactiques. Or, en classe il y a des moments sans interactions didactiques (exemple phase a-didactique durant laquelle l'enseignant n'apporte pas d'information sur les contenus de savoir) voire des interactions qui visent à supprimer les interactions sur les contenus (dévolution). L'ouverture des tâches proposées aux élèves nous renvoie à la question de l'autonomie des élèves. Certaines tâches demandent à l'élève de faire des choix (comme le chercheur en fait pour sélectionner un cadre ou modéliser). Il doit donc faire preuve d'une certaine autonomie dans sa conduite cognitive.

Cette entrée par les interactions laisse apparaître en creux l'absence d'interaction et donc la question de l'autonomie et m'amène à revisiter les recherches que j'ai menées et auxquelles j'ai participé.

En reprenant mes premiers travaux, j'ai pris conscience qu'il existait un élément transversal déjà présent. Il renvoie à l'expression « autonomie des élèves » sans pour autant qu'elle ne soit, à ce stade, clairement délimitée :

- passer d'un registre sémiotique à l'autre est une tâche complexe en physique (Bécu-Robinault, 2015, 2018) laissée à la charge de l'élève ;
- faire modéliser une situation pour résoudre un problème matériel est une activité proche de celle des chercheurs qui la décrivent eux-mêmes comme nécessitant d'effectuer ses propres choix ;

- le travail personnel de l'élève, sa prise de note sont par définition des activités où il est laissé seul face à la tâche.

Les analyses didactiques que j'ai menées ne permettent pas d'accéder à ces différents aspects du processus d'enseignement et d'apprentissage. Ces aspects sont liés par la question de l'autonomie qui est d'ailleurs présente dans les programmes d'enseignement de physique-chimie comme dans les discours officiels.

À la suite de ces réflexions, et bien que l'autonomie ne soit pas mon objet de recherche premier, j'ai revisité mes données brutes (vidéos et entretiens), mes écrits et j'ai constaté qu'elle y était convoquée sans pour autant être spécifiquement définie.

Dans mon écrit de thèse

J'ai parlé des moments où les élèves travaillent seuls, essentiellement en TP, c'est-à-dire des moments où il y a une absence d'interaction didactique avec l'enseignant. Cette absence d'interaction didactique, avec parfois la présence des interactions d'encouragement, semble exploiter une forme d'autonomie des élèves déjà existante (ou supposée comme telle) tout en contribuant à son développement. C'est par exemple le cas des élèves dans mes analyses portant sur la partie dipôle RLC (El Hage, 2012, page 161) et où, d'ailleurs, le terme « autonomie » renvoie à ce type de moment de travail.

Dans les recherches sur les écarts entre les inscriptions au tableau et les traces dans les cahiers des élèves

Dans l'analyse de l'écart entre ce que l'enseignant écrit au tableau pour accompagner son discours (inscriptions) et les traces gardées dans les cahiers des élèves de classe de terminale, il s'avère que nous avons eu besoin de mobiliser l'idée d'autonomie dans la discussion et la conclusion (El Hage et Buty, 2016) :

« Nous supposons que l'activité a été remplie en TP, donc en toute logique le logiciel (Regressi) a affiché une seule valeur ; cette dernière a été recopiée par les élèves. Après cette partie, les élèves deviennent plus autonomes ; ils peuvent choisir ce qu'ils vont garder ou pas » (El Hage et Buty, 2016, p. 40).

Des constats sur les vidéos filmées en classe de terminale sur la séquence de l'électricité

Sur les vidéos de la séquence de l'électricité, nous pouvons constater que les élèves travaillent par petits groupes pendant le TP sans l'enseignant. Ils devaient construire des montages en suivant le schéma donné.

Lors des entretiens réalisés avec l'enseignant pour comprendre ses pratiques d'enseignement et notamment lors de l'auto-confrontation, il évoque deux catégories d'élèves : (1) ceux qui sont autonomes mais qui doivent l'appeler quand même, une fois que leur montage est prêt pour les autoriser à démarrer l'expérience et (2) ceux qui ne le sont pas du tout et qui n'arrivent pas à construire le montage sans son aide et donc ne peuvent pas aller plus loin dans l'activité.

Par ailleurs, cet enseignant filmé dans le cadre de ma thèse a participé à d'autres recherches dont une sur la nécessité d'établir des liens avec la vie quotidienne lors des enseignements en physique et notamment par les stratégies d'enseignement type démarches d'investigations (DI). Nous trouvons ainsi dans une publication en lien avec cette recherche cette phrase reliant DI et autonomie :

« Les enseignants expriment sans ambiguïté que les démarches d'investigations sont difficiles à mettre en œuvre, en particulier du fait de la gestion des élèves induite et de leur manque d'autonomie, ainsi que du caractère chronophage de telles démarches. » (Vince et al., 2013).

Dans les recherches menées auprès des EC physiciens²³

En revisitant les entretiens réalisés avec les huit enseignants-chercheurs physiciens, j'ai constaté que l'autonomie a été évoquée par quatre chercheurs alors que je ne les ai pas sollicités sur cet aspect. Le Tableau 4 présente les occurrences du terme autonomie dans les quatre entretiens.

Chercheur	EC1	EC2	EC3	EC4
Occurrences du mot « autonome » et « autonomie »	2	4	1	2

Tableau 4: occurrences du terme « autonome » et « autonomie » dans la transcription des entretiens des 4 enseignants chercheurs (EC) nommés EC1, EC2, EC3 et EC4 l'ayant évoqué.

Le sens donné à l'autonomie semble pluriel :

- EC1, par exemple, évoque l'autonomie tout en l'associant à l'acte de s'auto évaluer ;
« [la démarche de recherche du chercheur est transposable en classe] elle permet de développer la créativité, l'autonomie et de pouvoir eux aussi s'évaluer c'est-à-dire qu'ils se rendent compte

²³ El Hage (2021a, 2021b)

que justement il leur manque des compétences par contre ils sont bons pour exprimer des choses, pour rechercher, pour être actifs, etc. »

- EC2 évoque, quant à lui, le manque d'autonomie des étudiants et de la façon dont les étudiants peuvent aborder des sujets sans surveillance ou avec un encadrement : « De toutes façons le niveau de compétence et d'autonomie de ces étudiants est assez faible, on va dire que c'est des « techniciens plus » pour la plupart, ça ne leur permet pas d'aborder ces sujets-là de manière autonome. En fait mon expérience c'est que c'est très long en physique pour pouvoir aborder de manière autonome un sujet. Ça prend beaucoup, beaucoup de temps ».
- EC2 insiste sur le paramètre temps avant de pouvoir devenir autonome et rajoute « Je considère qu'on commence à être physicien, théoricien à peu près autonome à la fin du post-doc soit une dizaine d'années. »
- EC3 évoque, pour sa part, l'importance des prérequis pour pouvoir devenir un étudiant autonome : « Y a déjà une partie formation importante avant que l'étudiant puisse être autonome et avoir ses propres idées, etc. »

En somme, les différentes recherches que nous avons menées précédemment (analyse des interactions didactiques notamment à travers les traces, analyse des démarches des EC...) soulèvent la question de l'autonomie des élèves ou des étudiants. Cette question n'avait pas été traitée à cette époque, en l'absence de réflexion spécifique sur l'autonomie et définition claire de cette dernière. Pour autant, ces différents éléments semblent montrer qu'un questionnement spécifique sur l'autonomie apporterait un nouvel éclairage sur les apprentissages des élèves et les pratiques de enseignants.

Nous pouvons constater, dans les différents écrits convoqués ici (1.3), que le terme autonomie nécessite une clarification. Nous commençons en questionnant les différentes acceptions du terme autonomie tant dans la vie courante que dans la recherche pour ensuite proposer un cadre d'analyse permettant de définir ce qu'est un élève autonome en physique et enfin terminer par une première mise en fonctionnement de ce cadre.

Partie 2. Vers un cadre d'analyse didactique de l'autonomie des élèves en classe de physique

Comme didacticienne de la physique, je m'interroge sur ce qu'est un élève autonome en physique. Mais de fait, ce terme employé dans le langage courant, administratif, technique, scolaire, universitaire, apparaît comme non défini de façon stricte. Nous voulons donc examiner les différentes acceptions du terme avant de proposer un cadre d'analyse qui permette de mieux le cerner.

2.1. Autonomie : une notion polysémique

Nous pouvons constater une promotion de l'autonomie que ce soit dans la vie quotidienne, dans le milieu professionnel, à l'école, au collège, au lycée, à l'université etc. Pour autant y attribue-t-on le même sens au mot « autonomie » ?

2.1.1. Autonomie et sens commun

Dans la vie de tous les jours, le terme « autonomie » est employé pour évoquer différents aspects : l'indépendance, la liberté, la souveraineté. Ils s'opposent à la dépendance, l'hétéronomie, la soumission. Par exemple, on définit une personne qui a eu un accident de la route et qui doit rester quelques jours dans son lit comme non autonome (autonomie physique) ; on entend dire que l'enfant a besoin qu'on lui laisse de l'autonomie pour s'épanouir (liberté) ; un étudiant n'est pas autonome, du point de vue de ses parents et de la société, tant qu'il n'a pas de salaire.

D'origine grecque, le mot se décompose ainsi : « autos » signifie le même, ce qui vient de soi et évoque les actions individuelles du sujet et « nomos », règles établies par la société, lois. « Autonomos » veut donc dire littéralement qui se régit par ses propres lois.

Pour le Trésor de la Langue Française Informatisé (TLFI), en pédagogie, l'autonomie renvoie à l'« organisation scolaire telle que les écoliers participent, dans une mesure plus ou moins grande, au choix des matières enseignées et à la discipline générale de l'école, de manière à apprendre à se gouverner eux-mêmes ». Cependant, dans le dictionnaire, on ne trouve pas de définition de ce qu'est l'autonomie du point de vue des processus d'enseignement-apprentissage (didactique).

Dans les deux définitions, nous constatons :

- qu'une importance est donnée à l'aspect individuel ;

- que l'autonomie est associée à des verbes d'action et engage toujours un individu ; l'autonomie n'existe pas sans l'individu et sa volonté d'agir : disposer de soi, choisir, décider, se déterminer, mettre en œuvre, fixer ses orientations, initiatives individuelles, conquête.

2.1.2. Autonomie dans le langage scolaire et universitaire

L'autonomie apparaît dans le champ de l'éducation, dans le milieu scolaire et universitaire. Ce terme est présent, par exemple, dans la fiche avenir de la plateforme Parcoursup²⁴ renseignée pour tout lycéen par son établissement scolaire lorsque celui-ci postule à l'entrée dans l'enseignement supérieur.

Dans l'enseignement supérieur, il est aussi question de l'autonomie. Des enseignants insistent communément sur l'importance de l'autonomie comme facteur de réussite à l'université, le système de crédit ECTS²⁵, lui-même, vise à la développer :

« Par ailleurs, l'utilisation des crédits facilite la création et la mise en œuvre d'un apprentissage flexible, ce qui amène les étudiants à devenir autonomes et responsables » (ECDGEYSC, p. 14).

Il est évalué, pour obtenir un crédit ECTS, une moyenne de 25 à 30 heures de travail (en classe et en dehors de la classe). Ce temps de travail en dehors de la classe peut être vu comme, en partie, un travail autonome.

Ce même terme est aussi utilisé pour qualifier des organisations : il est question d'un établissement autonome. La Loi LRU (numéro 2007-1199 du 10 août 2007) souvent appelée loi d'autonomie des universités est relative aux libertés et responsabilités des universités. L'autonomie est alors vue comme un équilibre entre liberté et responsabilité. Pour Finance (2015)²⁶, il est possible de caractériser le niveau d'autonomie d'une université grâce à un ensemble de paramètres qui couvre quatre domaines d'autonomie : autonomie organisationnelle, autonomie financière, autonomie en matière de ressources humaines et autonomie académique.

²⁴ Parcoursup est la plateforme nationale de préinscription en première année de l'enseignement supérieur en France. Elle a été créée par arrêté ministériel du 19 juin 2018.

²⁵ ECTS : European Credit Transfer System en anglais (système Européen de transfert d'unités de cours capitalisables en français) définit une échelle commune permettant de mesurer, en unités de cours capitalisables, votre charge de travail requise pour accomplir des unités de cours.

²⁶ <https://www.cairn.info/revue-administration-et-education-2015-3-page-61.htm>

1.3.1. Synthèse

Ceci permet d'illustrer la polysémie de l'autonomie et son emploi, dans la vie de tous les jours, sous différentes acceptions.

Nous pouvons nous demander dans quelle mesure l'éducation emploie et valorise l'autonomie. Que disent les recherches en sciences humaines et sociales sur l'autonomie ? Comment définir l'autonomie dans le cadre scolaire ?

2.1.3. Autonomie dans le système éducatif

La notion d'autonomie n'a pas été introduite récemment dans le système éducatif français. Patry (2018) note qu'elle est entrée dans les programmes français à partir de l'arrêté du 18 mars 1977 sur les horaires, objectifs et programmes du cycle élémentaire concernant l'Éducation morale et civique pour faire suite à la loi relative à l'éducation de 1975 élaborée par René Haby. Patry (ibid.) souligne que « dès la fin du XIX^e siècle, les acteurs et grandes figures de l'Éducation nouvelle ont, par le prisme de la psychologie de l'enfant, tenté de repenser la forme scolaire et les méthodes d'apprentissage par la pratique de l'autonomie » (p. 4). Cette dernière est pensée comme une remise en question de la relation enseignant-enseigné à l'instar du statut de l'élève (Ottavi, 2001). Par conséquent, l'autonomie semble plus en adéquation avec certaines formes de pratiques laissant une plus grande initiative à l'élève dans le fonctionnement de la classe. Les normes éducatives scolaires actuelles valorisent l'élève « actif », qui réfléchit et découvre par lui-même, qui sait respecter les règles communes, qui sait s'organiser et faire des choix, voire s'auto-évaluer (Lahire, 2001).

Être autonome est associé à des compétences valorisées sur le plan scolaire et social (Gasparini et al., 2009) comme le montre le contenu de certains curriculums (CCSSO²⁷, 2010 ; NGSS²⁸ Lead States, 2013). Dans le contexte scolaire français, la promotion de l'autonomie apparaît de façon ostensible au sein des programmes, notamment au niveau de l'enseignement de la physique.

²⁷ The Council of Chief State School Officers (CCSSO) est une organisation qui dirige des départements d'enseignement élémentaire et secondaire dans les États, le District de Columbia, le « Department of Defense Education Activity », le Bureau de « Indian Education » et les cinq juridictions extra-étatiques des États-Unis.

²⁸ Next Generation Science Standards (NGSS) regroupe : « National Research Council », « National Science Teachers Association » et « American Association for the Advancement of Science » qui se sont tous associés pour définir les connaissances scientifiques que tous les élèves de la maternelle à la 12^{ème} année doivent acquérir.

2.1.4. Autonomie dans les programmes de physique-chimie du secondaire

Dans ce qui suit, je m'appuie sur quelques exemples de programmes du collège et du lycée depuis 1997 pour étudier l'évolution du terme autonomie. Ainsi, il ne s'agit en aucun cas de faire une analyse historique des programmes en lien avec l'autonomie.

Les programmes de physique-chimie de la classe de 5^{ème}, 4^{ème} et 3^{ème} (mis en œuvre progressivement entre 1997 et 1999) mentionnent, parmi les idées directrices, que l'enseignement de physique-chimie doit permettre aux élèves d'acquérir une certaine autonomie liée à la créativité et à la responsabilité (Figure 8).

D. Autonomie, créativité et responsabilité

Dès l'année de 4^e, l'enseignement de physique-chimie doit permettre d'aider les élèves à acquérir une certaine autonomie qui s'articule autour de deux axes : la créativité et la responsabilité. Il est important que les premières séances de l'année soient consacrées, au travers des activités proposées, à la prise de conscience par les élèves de l'importance de ces objectifs qui seront par ailleurs omniprésents toute l'année.

Ainsi on pourra, par exemple, proposer des activités expérimentales où le respect d'un protocole est essentiel, chacun opérant à son tour au sein d'un groupe restreint sous le regard de ses camarades. D'autres séances mettront l'accent sur la capacité à imaginer des expériences en fonction d'un objectif et sur celle à s'organiser pour les mener à bien.

Il s'agit de valoriser l'esprit d'initiative, mais aussi l'écoute et le respect des autres au sein d'une équipe.

Figure 8: extrait des programmes de physique-chimie (classe de 5^{ème} et 4^{ème}, BO n° 5 du 30 janvier 1997)

Depuis 1999, de nombreux changements de programmes sont opérés au collège mais l'intérêt accordé à l'autonomie n'est pas démenti, puisque ce terme y figure toujours explicitement. Cependant, dans les différents programmes, et d'une réforme à une autre, nous pouvons constater une certaine discontinuité, voire une non-homogénéité. L'association de certains termes à « autonomie » montre une évolution discontinue, voire une fluctuation en fonction des programmes. Cet aspect est illustré par le Tableau 5 construit en fonction du concordancier obtenu grâce au logiciel Iramuteq²⁹.

²⁹ IRaMuTeQ est un logiciel d'analyse statistique de textes.

Autonomie et... Programmes	créativité	responsabilité	mode de travail	poursuite d'étude	prise d'initiative	projet	citoyen	compétences vis-à-vis de la démarche
1997 (5 ^{ème} -4 ^{ème} et 3 ^{ème})	✓	✓						
2005			✓	✓			✓	
2008 (collège)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
2020 (collège)		✓	✓	✓			✓	
2020 (lycée)	✓				✓	✓		✓

Tableau 5: tableau de synthèse des concordanciers obtenus par l'analyse dans le logiciel Iramuteq

Ce tableau montre l'absence d'une ligne directrice entre les différents programmes : une forme de récurrence des associations de termes liés à l'autonomie sans pouvoir dégager, ni de progressivité, ni réellement de filiation nette entre les années. Ainsi, nous pouvons, par exemple, constater que les termes autonomie et créativité sont associés et font partie des programmes du collège de 1997 et 2008 mais ne le sont pas dans ceux de 2005 et de 2020.

Iramuteq permet de construire le graphe (Figure 9) des mots de tous les programmes du collège, de 1997 à 2020, qui sont le plus souvent cooccurrents avec le terme autonomie.

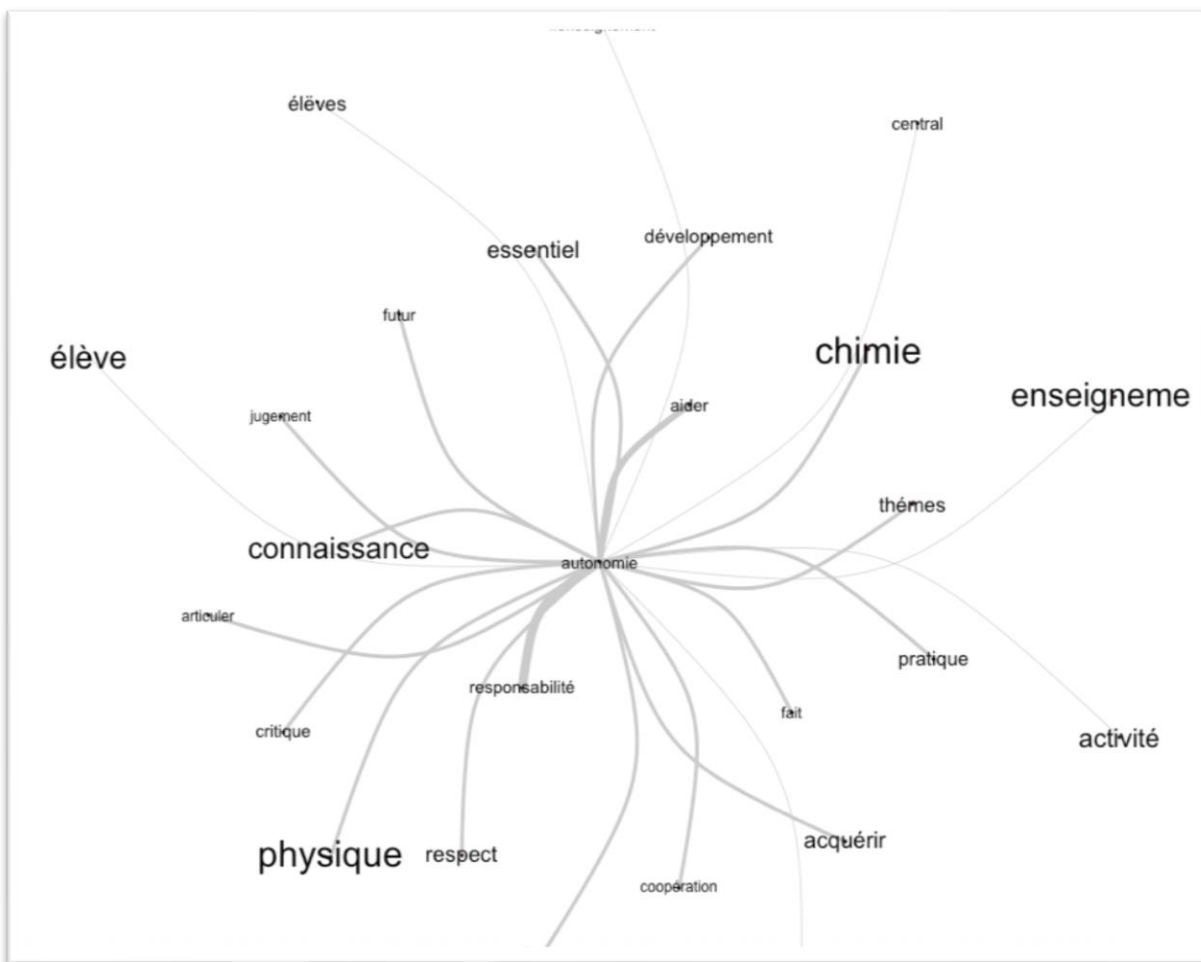


Figure 9: graphe du mot autonomie obtenu en se basant sur 4 programmes du collège à savoir ceux de 1997, 2002, 2008, 2020

Cette figure est donc construite en fonction des mots associés aux 16 occurrences du terme autonomie dans les quatre programmes en question. Tout d'abord, nous pouvons remarquer l'absence de nœuds et un éclatement du graphe. De plus, nous remarquons l'absence d'homogénéité : le terme autonomie est cooccurrent aux mots physique, chimie, connaissance, enseignement, élève etc. Il s'avère que toutes les associations que j'ai envisagées (Tableau 5) n'apparaissent pas clairement dans la Figure 9.

Ce constat est le même pour les programmes de physique-chimie du lycée ; le terme autonomie est associé à plusieurs éléments. Par exemple, dans les programmes de 2010, l'autonomie est liée au projet (individuel ou par groupe) pour la classe de seconde :

« L'enseignement thématique se prête particulièrement bien à la réalisation de projets d'élèves, individualisés ou en groupes. Ces projets placent les élèves en situation d'activité intellectuelle, facilitent l'acquisition de compétences et le conduisent à devenir autonome ». (BOEN, n° 4 du 29 avril 2010, p. 3).

Les auteurs du programme publié dans le Bulletin officiel spécial n°9 du 30 septembre 2010, formulent un questionnement important en lien avec les compétences des bacheliers : « Ont-ils acquis les compétences de base de la démarche scientifique ? ». Pour les programmes de 2010, la DGESCO³⁰ a publié sur le site Eduscol³¹ un document³² rédigé par l'Inspection Générale de Physique-Chimie intitulé « Former et évaluer par compétences dans le cadre des activités expérimentales ». Dans ce document, sont identifiés six domaines de compétences³³ intervenant dans le cadre des activités expérimentales menées en sciences physiques et chimiques : (1) s'approprier, (2) réaliser, (3) analyser, (4) valider, (5) communiquer, (6) être autonome et faire preuve d'initiative. Pour chaque domaine, des capacités et des attitudes pouvant être mobilisées sont précisées (Figure 10).

Être autonome, faire preuve d'initiative

- S'impliquer dans un projet individuel ou collectif
- Prendre des initiatives, des décisions, anticiper
- Travailler en autonomie
- Travailler en équipe
- Mobiliser sa curiosité, sa créativité
- ...

Pour ces différentes capacités, il est possible de définir un certain nombre d'observables qu'il appartiendra aux professeurs de choisir et d'évaluer en fonction des objectifs poursuivis.

Figure 10: quelques exemples de capacités et d'attitudes pouvant être mobilisées dans chaque domaine (grille de compétences Inspection générale de l'Éducation nationale, MEN-DGESCO, 2010)

Nous pouvons lire, dans cette Figure 10, que pour le domaine « être autonome, faire preuve d'initiative », un exemple donné parmi la liste de capacités et d'attitudes pouvant être mobilisées dans ce domaine est « travailler en autonomie ». Face à cette tautologie, il est probable que ce document crée plus de confusions que d'aide auprès des enseignants.

³⁰ DGESCO : la direction générale de l'enseignement scolaire.

³¹ « Eduscol » est le site pédagogique du Ministère de l'Éducation Nationale.

³² https://media.eduscol.education.fr/file/PC/66/5/Ressources_PC_former_evaluer_compétences_exp_grilles_144_665.pdf

³³ Pour le socle commun de connaissances et de compétences, la compétence est reliée à : des connaissances, capacités et attitudes. « Chaque grande compétence du socle est conçue comme une combinaison de connaissances fondamentales pour notre temps, de capacités à les mettre en œuvre dans des situations variées, mais aussi d'attitudes indispensables tout au long de la vie, comme l'ouverture aux autres, le goût pour la recherche de la vérité, le respect de soi et d'autrui, la curiosité et la créativité. » (MEN, 2006).

La grille en question a subi quelques modifications depuis et une nouvelle version figure, cette fois-ci, dans les programmes actuels de lycée (MEN, 2019a ; MEN, 2019b ; MEN 2019c). Il s'avère que dans la nouvelle grille de compétences, qui figure sous le même format dans le programme de seconde, de première et terminale spécialité, l'autonomie est vue sous une approche différente. En effet, être autonome ne semble plus être considéré comme une compétence à développer en soi (qui figurerait seule dans une ligne de la grille) mais semble être vu comme un moyen qui impacte l'ensemble des autres compétences (Figure 11).

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

Les compétences retenues pour caractériser la démarche scientifique visent à structurer la formation et l'évaluation des élèves. L'ordre de leur présentation ne préjuge en rien de celui dans lequel les compétences sont mobilisées par l'élève dans le cadre d'activités. Quelques exemples de capacités associées précisent les contours de chaque compétence, l'ensemble n'ayant pas vocation à constituer un cadre rigide.

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Énoncer une problématique. - Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée. - Représenter la situation par un schéma.
Analyser/ Raisonner	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Proposer une stratégie de résolution. - Planifier des tâches. - Évaluer des ordres de grandeur. - Choisir un modèle ou des lois pertinentes. - Choisir, élaborer, justifier un protocole. - Faire des prévisions à l'aide d'un modèle. - Procéder à des analogies.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. - Utiliser un modèle. - Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.) - Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. - Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. - Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.

Communiquer	À l'écrit comme à l'oral :
	<ul style="list-style-type: none"> - présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; - utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ; - échanger entre pairs.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de **l'autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux élèves sur les notions et capacités exigibles du programme. La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les élèves la finalité et le fonctionnement de la physique-chimie, des questions citoyennes mettant en jeu la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, l'éducation à **l'environnement** et au **développement durable**.

Figure 11: extrait du programme de classe de seconde générale et technologique (BOEN spécial n°1, 2019)

La Figure 12 représente le graphe obtenu par Iramuteq pour illustrer les mots les plus souvent associés au terme autonomie (élève, acquisition, compétence) dans les programmes en vigueur au lycée (seconde générale, enseignement scientifique et spécialité). Il montre, lui aussi, un éclatement.

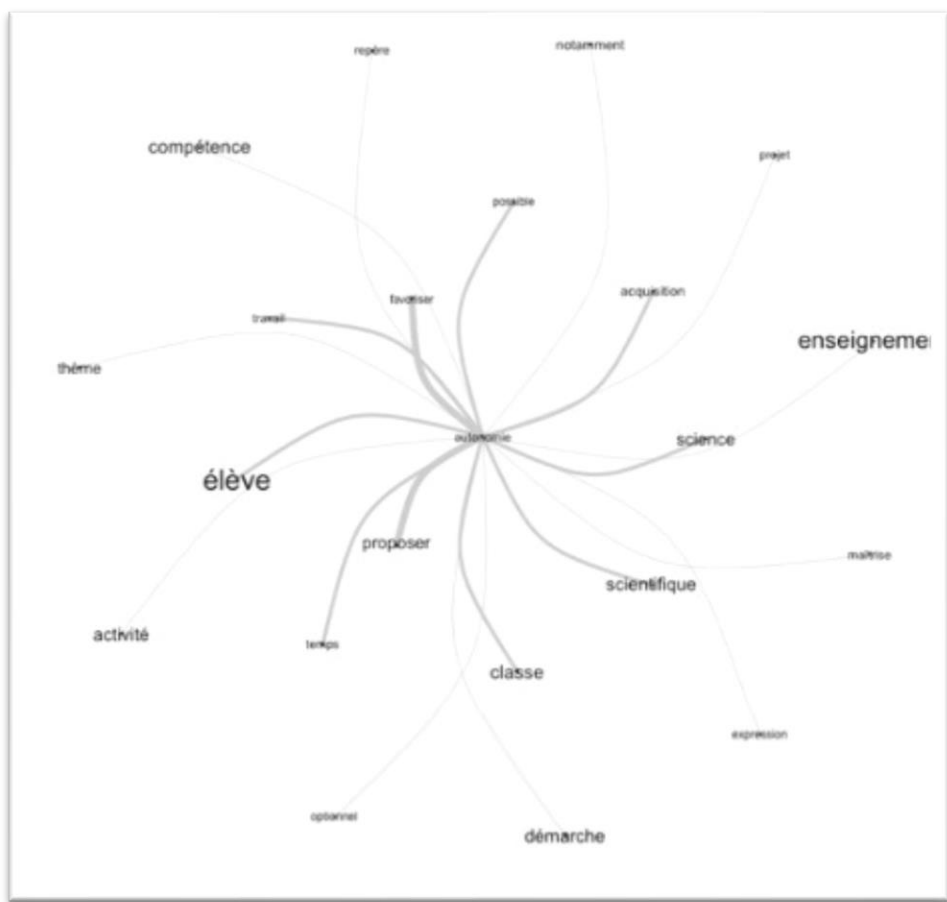


Figure 12: graphe du mot autonomie obtenu en se basant sur les programmes du lycée en vigueur

Les programmes en vigueur au collège comme ceux du lycée ont servi de base à la production de ressources d'accompagnement au niveau des académies. Par exemple, SESAMES affiche « accompagner vers l'autonomie » comme deuxième thématique de formation pour les enseignants de physique-chimie tout de suite après « expliciter la modélisation en physique ». De plus, un groupe de travail de l'académie de Versailles ³⁴ a mis en ligne, en septembre 2021, des ressources sous forme de vidéos et/ou de scénarios de classe comme pistes d'exploitation des programmes. Un autre groupe de travail a également publié des ressources, en juin 2022, concernant les programmes du lycée. Les termes « autonomie » et « autonomisation » reviennent régulièrement dans ces ressources ciblant des concepts précis en physique et/ou en chimie (exemple : séquence au collège « escape e-card au planétarium » ; séquence au lycée « des marshmallows au micro-ondes pour déterminer la célérité de la lumière »). Cependant, nous ignorons si ces groupes de travail, composés d'enseignants sous la responsabilité du corps d'inspection, prennent en compte les résultats des recherches en didactique sur l'autonomie dans la conception de ces ressources.

2.1.5. Synthèse

L'analyse des cooccurrences entre le terme autonomie et d'autres mots dans les différents programmes (collège comme lycée) ne montre pas une ligne directrice explicite et continue. L'autonomie figure même, selon moi, avec des statuts opposés :

- autonomie vue comme une finalité, voire un objectif (Barbot, 2000 ; Rivens Mompean et Eisenbeis, 2008) dans le cas de l'autonomie et la citoyenneté par exemple ;
- autonomie vue comme un moyen (Barbot, 2000), voire un prérequis (Rivens Mompean et Eisenbeis, 2008).

Tout cela amène à constater l'absence d'une direction politique continue liée à la notion d'autonomie et à la présence de fluctuations entre les programmes.

En regardant les figures (Figure 9 ; Figure 12), nous trouvons des cooccurrences du terme autonomie avec les mots : « favoriser », « développement », « acquérir », « l'acquisition ». Ainsi, il semble que les programmes renvoient au fait que l'autonomie se « développe » et qu'il est possible de la faire croître, ce qui laisse entendre qu'elle est déjà présente et qu'il n'y a qu'à l'alimenter. Cependant, les enseignants de physique-chimie se retrouvent sans définition

³⁴ <https://phychim.ac-versailles.fr/spip.php?article1250>

explicite de ce qu'est un élève autonome. Comment peuvent-ils donc faire pour développer cette autonomie ?

Comme nous pouvons le constater, l'autonomie est un terme qui revêt diverses significations et son utilisation semble être naturalisée dans le monde éducatif. Certes, elle ne constitue pas une nouveauté dans les programmes mais ce sujet ne semble pas être assez traité dans les recherches en didactique des disciplines. Ainsi, le besoin de conceptualiser ce qu'est l'autonomie en physique-chimie et de spécifier ses différentes formes se précise selon nous.

Devant le nombre de réformes auxquelles les enseignants sont confrontés, la naturalisation du terme autonomie sans définition explicite dans les programmes et face à la discontinuité d'association entre le terme autonomie avec d'autres termes, nous pouvons imaginer les grandes difficultés de mise en œuvre des prescriptions invitant à développer l'autonomie des élèves. Par exemple, il est demandé aux enseignants de développer une autonomie en faisant travailler les élèves en groupe... Concrètement, comment vont-ils faire ? En quoi le travail de groupe favorise-t-il l'autonomie ?

Pour résumer la situation, les enseignants n'ont pas assez d'informations sur ce qu'est un élève autonome en physique-chimie ni sur comment ils peuvent parvenir à développer l'autonomie.

2.2. Autonomie : des propositions de conceptualisation

L'ambition de cette partie est de présenter une synthèse des recherches permettant d'éclairer la compréhension de ce qu'est un élève autonome en physique. Je procède d'abord à une présentation des recherches en éducation puis j'examine les recherches en didactiques autour d'un élève autonome. Je termine par une discussion.

2.2.1. Autonomie « objet » de recherche en éducation

La recherche d'une définition de l'autonomie dans la littérature scientifique met en lumière une importante diversité de propositions. Cette diversité est liée, d'une part, au fait que la notion d'autonomie est employée dans le langage courant et souvent entendue comme synonyme de « faire seul » et d'autre part, au fait qu'elle est présente dans de nombreux champs de recherche et dans différentes disciplines. Elle est en effet associée le plus souvent à d'autres notions : autonomie et autoformation (Carré, 1992 ; Albero, 2004 ; Eneau, 2018) ; autonomie et numérique (Denouël, 2017) ; autonomie et motivation (Deci et Ryan, 2000 ; Ryan et Deci, 2017, 2020) ; autonomie et auto-régulation (Cosnefroy, 2010, 2013) ; autonomie et croyances des enseignants (Berger et Girardet, 2016) etc.

Les approches traitant l'autonomie semblent ne pas être les mêmes en sociologie de l'éducation, en philosophie, en psychologie ou en sciences de l'éducation.

2.2.1.1. Autonomie en sociologie et philosophie de l'éducation

L'une d'elles considère l'autonomie comme un processus social. Adoptant un point de vue sociologique, Lahire (2001) évoque deux pôles de l'autonomie à l'école : l'autonomie politique (respect des règles de la vie collective) correspondrait au fait « d'être un élève-citoyen autonome » ; le pôle cognitif correspondrait à l'appropriation des savoirs, la compréhension des tâches scolaires et de leur finalité par les élèves. Pour Lahire (2001), ces pôles ne sont pas contradictoires puisqu'il est fréquent de les retrouver dans les situations étudiées. Cet auteur suggère que l'autonomie repose sur trois éléments essentiels : (1) la transparence c'est-à-dire que l'élève doit être tenu au courant de tout ce qui va se passer au sein de la classe (emploi du temps, compétences visées, critères d'évaluation...) ; (2) l'objectivation dans le sens où les nouvelles notions doivent « s'appuyer sur un ensemble de savoirs, d'informations, de règles, etc., écrits ou imprimés (manuels, fichiers, tableau noir, dictionnaire, livres divers) » (Lahire, 2001, p.153). Ces savoirs doivent être mis à disposition de l'élève pour qu'il puisse mobiliser les informations par lui-même ; (3) la publication : l'élève doit pouvoir se reporter à des éléments visibles (savoirs, règles communes, consignes d'un exercice), ce qui lui permettra de trouver une réponse à ses questions sans être dépendant d'autrui.

Foray (2017) souligne, pour sa part, que l'autonomie était au centre de la philosophie de Kant. Ce dernier l'envisage sous l'angle de la rationalité : « agir et choisir de façon autonome implique un usage de la raison » (Kant, 1785, p. 5). Foray (ibid.) souligne que pour répondre à la question reliant autonomie et rationalité aujourd'hui, il est utile d'opérer un déplacement de la raison kantienne. Pour cela, il donne quelques exemples nécessitant ce qu'il appelle une réflexion critique telle que : élaborer un projet, effectuer une opération arithmétique, construire une phrase correcte ou enchaîner des arguments dans une discussion.

2.2.1.2. L'autonomie en psychologie : une question de motivation ?

De son côté, à partir d'une approche interactionniste en psychologie, Raab (2014) distingue deux types d'autonomie : l'autonomie individuelle et l'autonomie de groupe. Quel que soit le type d'autonomie en question, l'auteure définit l'autonomie scolaire comme :

« La capacité d'un élève, d'un groupe d'élèves ou d'une classe à mener une activité productive (la tâche) au service d'une activité constructive (les apprentissages) en dehors de la présence directe de l'enseignant » (p. 3).

Quant à la théorie de l'autodétermination, issue de la psychologie et des théories de la motivation (Deci et Ryan, 2000 ; Ryan et Deci, 2017, 2020), elle donne lieu à de très nombreuses études autour des liens entre autonomie et apprentissages. Par motivation, ces auteurs entendent une force inter-individuelle qui peut avoir des déterminants internes et/ou externes et qui permet d'expliquer le déclenchement, la persistance et la qualité du comportement ou de l'action. Au sein de ce courant de recherche, l'autonomie est comprise comme un des trois besoins fondamentaux d'un humain afin de s'auto-organiser et se gouverner lui-même. Ryan et Deci (2020) définissent l'autonomie par le sens de l'initiative et la propriété des actions d'une personne, cette dernière (son self) étant à l'origine de son propre comportement (Ryan et Deci, 2006). L'autonomie est soutenue par les intérêts envers les expériences :

“Autonomy concerns a sense of initiative and ownership in one's actions. It is supported by experiences of interest and value and undermined by experiences of being externally controlled, whether by rewards or punishments”³⁵ (Ryan et Deci, 2020, p. 3).

En effet, le besoin d'être autonome se justifie par le fait que l'être humain a une tendance naturelle à s'engager dans des activités intéressantes, exercer ses compétences et se sentir efficace dans les activités entreprises, développer des relations sociales et intégrer des expériences psychiques et interpersonnelles dans une relative unité. En somme, pour Deci et Ryan (2002), l'être humain a tendance à être motivé intrinsèquement par la satisfaction de ses besoins psychologiques fondamentaux dont le besoin d'autonomie. Cette motivation intrinsèque a un rôle important dans la réussite scolaire (Taylor et al., 2014 ; Howard et al., 2017) et sur l'engagement universitaire (Froiland et Worrell, 2016). De plus, cette motivation interne peut exercer une influence sur l'identité de l'apprenant. Par exemple, Skinner et al. (2017) ont montré que la satisfaction des besoins fondamentaux était associée, non seulement à un engagement et à des performances plus importantes des élèves en classe de sciences, mais également à une identification de soi en tant que scientifique.

Par opposition à la motivation intrinsèque, la motivation est extrinsèque quand elle est régulée par des agents extérieurs, appelés « renforcements ». Il existe une large gamme de motivations extrinsèques plus ou moins autodéterminées. Sur un continuum d'autodétermination, la motivation intrinsèque se situe à une extrémité alors que l'amotivation (absence de motivation

³⁵ L'autonomie est un sentiment d'initiative et d'appropriation de ses propres actions. Elle est soutenue par des expériences d'intérêt et de valeur et est freinée soit par des contrôles externes soit par des récompenses ou des punitions" (traduction personnelle)

autodéterminée) se trouve à l'autre extrémité (Deci et Ryan, 1985). Entre ces deux formes de motivation se trouvent plusieurs formes de régulation qui correspondent à la motivation extrinsèque.

En somme, cette théorie, qui permet de comprendre les raisons sous-jacentes à la motivation (le besoin d'autonomie ou un contrôle externe), est reprise dans plusieurs recherches menées autour de l'autonomie dans le milieu scolaire, afin de comprendre les comportements des enseignants favorisant l'autonomie et le développement de la motivation intrinsèque des élèves. Niemiec et Ryan (2009) ont montré, dans une méta analyse de publications reprenant la théorie de l'auto-détermination, qu'il existe des liens entre le soutien des enseignants aux besoins psychologiques fondamentaux de leurs élèves en matière de besoin psychologique (autonomie, compétence et appartenance) et la facilité des élèves à être motivés intrinsèquement et à apprendre.

Je propose de résumer la théorie de l'auto-détermination en la représentant sous la forme d'un graphe à deux dimensions correspondant aux deux besoins psychologiques (Figure 13) :

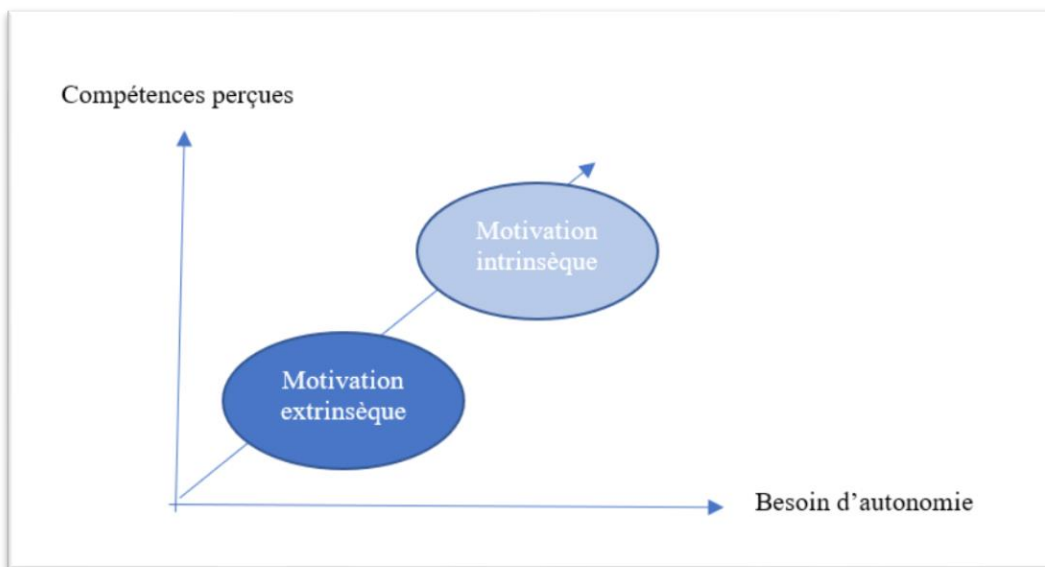


Figure 13: modélisation en 2D reliant le besoin de l'autonomie et la motivation.

En ordonnée, j'indique la compétence perçue qui est totalement subjective et en lien avec l'estime de soi. En abscisse, figure le besoin d'autonomie. Sur la diagonale, apparaissent les différents types de motivation.

Quand il y a peu de besoin d'autonomie et de compétences perçues, ce sont les motivations extrinsèques qui mettent l'individu en mouvement. Quand la personne ressent le besoin d'autonomie et perçoit qu'elle est compétente, c'est la motivation intrinsèque qui augmente. Cette motivation est la plus forte et est, également, appelée motivation autonome (Deci et Ryan, 2000) car la personne agit par rapport à des ressorts intrinsèques. En absence de motivation extrinsèque et de sentiment de compétence, on retombe dans l'amotivation.

Cosnefroy (2010) fait appel à la théorie de l'auto-détermination pour mieux expliciter les liens entre cette dernière et l'autorégulation des apprentissages. Selon cet auteur, quatre conditions sont nécessaires dans un apprentissage autorégulé : une motivation initiale suffisante, la définition d'un but à atteindre, la possibilité de recourir à des stratégies d'autorégulation et la capacité à s'auto-observer. Cependant, Cosnefroy (2010) précise que :

« Dans les modèles de l'apprentissage autorégulé, l'autonomie est définie en extériorité. L'apprenant est autonome s'il est capable d'atteindre le but fixé, que celui-ci soit autodéterminé ou non. Chez Deci et Ryan (2002) au contraire, il n'y a de véritable autonomie que lorsque l'apprenant peut considérer que le but émane de lui-même (Reeve *et al.*, 2008). Ce que Deci et Ryan (2002) appellent la régulation introjectée (par exemple, aller jusqu'au bout de l'activité sous peine de se sentir coupable) n'est pas une figure de l'autonomie selon la théorie de l'auto-détermination alors qu'elle le serait dans la perspective de l'apprentissage autorégulé. » (Cosnefroy, 2010, p. 40).

2.2.1.3. *Autonomie et formation d'adultes*

Dans le cadre de la formation d'adultes, Albero (2004), quant à elle, conçoit l'autonomie :

« non plus comme une notion globale, mais comme un ensemble de compétences spécifiques auxquelles il est possible de préparer les apprenants par les activités et des tâches qu'ils ont à réaliser » (Albero, 2004, p. 147).

L'autonomie est alors multidimensionnelle et peut s'analyser à partir de sept domaines que nous résumons comme suit.

- Technique : maîtriser les technologies, maîtriser l'expérimentation, etc.
- Informationnel : maîtriser les outils de la recherche documentaire ; savoir chercher, stocker et restituer l'information, etc.

- Méthodologique : savoir organiser son travail selon les objectifs fixés (personnels et/ou institutionnels), planifier son activité, etc.
- Social : communiquer pour apprendre, coopérer, échanger, partager l'information, etc.
- Cognitif : repérer des indices, créer des liens, des catégories, comparer, discriminer, synthétiser, recourir à des opérations mentales diversifiées (induction, déduction, abduction), anticiper par formulation d'hypothèses, etc.
- Métacognitif : mener une activité réflexive sur l'action, autoévaluer la démarche d'apprentissage choisie, réguler, etc.
- Psycho-affectif : réguler ses émotions, assumer sa part de responsabilité dans l'apprentissage, etc.

Ces domaines, bien que présentés séparément, sont liés les uns aux autres. En effet, il est difficile de regarder, par exemple, le domaine technique de l'autonomie sans regarder les autres domaines. Il est à noter que les travaux d'Albero (2004) évoquent l'autonomie des apprenants dans un contexte de formation ouverte et à distance. Albero (2004) insiste sur le fait que l'autonomie visée par des dispositifs de formation est à appréhender selon une structure dynamique, transitoire (il s'agit toujours d'une autonomie « relative ») et polymorphe car elle dépend du contexte et de certaines conditions (cognitives, culturelles, techniques, etc.).

L'approche multidimensionnelle de l'autonomie développée par Albero est mobilisée dans le cadre des formations hybrides (Nissen, 2007). Cependant, Grimault-Leprince (2017) montre que ces sept domaines sont adaptés au contexte scolaire ordinaire.

À la suite des diverses caractérisations proposées par la littérature scientifique (philosophie, psychologie, formation d'adulte, sociologie de l'éducation), je constate que les différents éléments apportés fournissent des éclairages sur la notion d'autonomie, de manière générale indépendamment des disciplines scolaires et de leurs spécificités. Autrement dit, dans ces travaux, l'autonomie est considérée d'une manière globale sans prise en compte explicite des savoirs en jeu.

2.2.2. Autonomie « objet » de recherche en didactiques des disciplines

L'émergence de certains travaux en didactique francophone montre l'intérêt pour le questionnement de l'autonomie dans différentes disciplines, notamment : mathématiques, physique, chimie, etc. Ainsi, Robert (1998), en didactique des mathématiques, bien que ne parlant pas explicitement de l'autonomie, distingue plusieurs niveaux de mise en fonctionnement des connaissances (niveau technique, niveau mobilisable et niveau disponible) eux-mêmes considérés, par exemple, par Gueudet et Lebaud (2019a) comme des dimensions de l'autonomie. Ces chercheuses considèrent que les sept domaines d'Albero correspondent à une autonomie pédagogique (AP) puisque les éléments du travail de l'élève peuvent être présents dans toutes les disciplines indépendamment du savoir en jeu. Elles évoquent donc une autonomie pédagogique en opposition à une autonomie didactique entièrement liée au savoir en jeu. Pour cela, elles transfèrent le cadre d'Albero au contexte disciplinaire des mathématiques (Tableau 6). De plus, Gueudet et Lebaud (2019a) citent Ben-Zvi et Sfard (2007) afin de montrer l'intérêt de distinguer deux formes d'autonomie didactique, relatives au statut, à la nature des savoirs en jeu dans la situation d'enseignement-apprentissage : l'autonomie de mobilisation et l'autonomie d'acquisition. La première concerne des savoirs anciens, c'est-à-dire considérés comme déjà connus et assimilés ; la deuxième concerne la rencontre de savoirs nouveaux.

Domaine	Autonomie pédagogique	Autonomie didactique (en mathématiques)
Technique	Maîtrise des technologies numériques et capacité à s'adapter face à la diversité des outils et supports.	Maîtrise des logiciels (géométrie dynamique, tableur, ...) ou des techniques spécifiques aux mathématiques (calcul, représentation graphique, ...).
Informationnel	Recherche et traitement de l'information : savoir maîtriser les outils de recherche documentaire, savoir rechercher et trouver de l'information pertinente, savoir recueillir, stocker, gérer l'information obtenue et savoir traiter, restituer l'information recueillie.	Recherche et traitement de l'information : savoir comprendre un énoncé mathématique, savoir chercher dans son cours, dans son manuel de maths, ..., et savoir utiliser l'information recueillie.
Méthodologique	Organisation de son travail en classe ou à la maison. Il s'agit de savoir s'organiser en tenant compte des objectifs et des contraintes diverses.	Organisation de son travail : pouvoir choisir parmi différentes stratégies pour résoudre un problème de mathématiques.
Social	Collaboration avec d'autres élèves et/ou avec le professeur. Il s'agit de savoir prendre part à un travail collectif, à la construction collective d'une stratégie. Il peut aussi s'agir de savoir solliciter à bon escient le professeur.	Échanger avec d'autres élèves sur le choix d'une procédure ou la validité d'un raisonnement ; solliciter à bon escient le professeur.
Cognitif	Aspects individuels de la construction d'une stratégie de travail.	Aspects individuels de la construction d'une stratégie de travail concernant un contenu mathématique particulier.

Tableau 6: différents domaines de l'autonomie selon Gueudet et Lebaud (2019a)

En didactique de l'anglais, Vincent-Durroux et Panckhurst (2002) envisagent l'autonomie de l'apprenant comme l'aptitude de ce dernier à être indépendant :

« Cette indépendance se traduit par une responsabilisation de l'apprenant vis-à-vis de son apprentissage et de sa capacité à se fixer des objectifs et à prendre des décisions pédagogiques informées- concernant le parcours d'apprentissage, le choix de matériaux pédagogiques, etc.- basées sur une autoévaluation permettant d'apprécier, de manière adéquate, les domaines demandant un travail individuel en profondeur » (Vincent-Durroux et Panckhurst, 2002, p.69).

En didactique des sciences de la vie et de la Terre (SVT), Sanchez (2023) parle de la ludicisation³⁶ et de son lien avec l'autonomie. Pour lui, la ludicisation consiste à changer le contexte d'une situation d'apprentissage de façon à ce qu'elle soit perçue comme amusante à travers une histoire, une situation fictive, etc. Il s'agit de faire réaliser aux élèves des activités scolaires tout à fait habituelles mais à l'aide de jeux (absence de conséquences négatives en cas d'échec, la liberté du joueur) au cours desquels les élèves devront mobiliser des savoirs. Pour Sanchez (2023), la façon de concevoir un enseignement peut augmenter l'engagement des élèves et donc amener une implication dans sa résolution. Sanchez et al. (2015) expliquent que le lien entre la ludicisation d'une situation d'apprentissage et l'autonomie est relié à la liberté offerte pour effectuer des choix, la prise d'initiative et l'auto-évaluation de la pertinence des choix effectués.

« Le jeu constitue un contexte favorable au développement de l'autonomie dans le sens où il offre au joueur une liberté de choix et d'action ainsi que des informations, sous la forme de feedbacks, qui, parce qu'ils constituent des informations importantes sur sa manière de penser et d'agir, lui permettent d'exercer cette liberté. Cet espace de réflexivité favorise ainsi l'autonomie » (Sanchez et al., *ibid.*, p. 11).

Monod-Ansaldi et al. (2010) se sont intéressées à l'autonomie des élèves dans le cadre de la mise en œuvre d'un enseignement fondé sur des investigations en SVT. Pour ces auteures,

« le travail autonome pouvant s'organiser autour de résolution de problème, en combinant des activités individuelles de recherche et des temps d'échanges et de confrontation d'idées ou de résultats (Liquète et Maury, 2007), l'autonomisation semble pouvoir être construite dans des démarches d'investigation » (p. 89).

Ces auteures postulent l'existence de liens entre l'autonomie et l'investigation permettant potentiellement

« une meilleure motivation des élèves, un développement de l'esprit d'initiative, de la curiosité et de la créativité en lien avec l'autonomie, ainsi qu'une meilleure approche de la complexité » (*ibid.*, p. 89).

Monod-Ansaldi et al. (*Ibid.*) ont ainsi réalisé une enquête en ligne auprès d'une cinquantaine d'enseignants de l'option « Mesure, Informatique et SVT » pour étudier notamment leurs

³⁶ La ludification est différente de la ludicisation. En effet, « ludiciser ne consiste donc pas à utiliser de manière mécanique des éléments qui auraient une certaine valeur ludique intrinsèque pour élaborer un jeu mais plutôt, selon une vision non essentialiste du jeu, à métaphoriser une situation pour concevoir un espace de réflexivité au sein duquel la nature et le sens des interactions sont modifiés » (Sanchez et al, 2015, p. 12)

représentations concernant l'autonomie des élèves dans le cadre de la mise en œuvre des démarches d'investigation³⁷.

L'élève...	Effectifs	Fréquence
...échange et aide ses camarades	33	69 %
...trouve les informations dont il a besoin pour agir par des recherches documentaires	26	54 %
...a le choix entre différentes stratégies pour résoudre un problème	26	54 %
...est placé dans une situation où l'erreur est permise	25	52 %
...construit seul son raisonnement, un protocole	22	46 %
...est placé dans une situation où il peut évaluer la pertinence de ses stratégies	14	29 %
...maîtrise un outil sans aide	12	25 %
...s'auto-évalue et corrige seul ses erreurs	10	21 %
...choisit le matériel sans aide	9	19 %
...sait suivre un protocole ou une fiche technique sans aide	6	12 %
...est libre de se déplacer dans la salle	4	8 %
...ne pose pas de questions à l'enseignant	1	2 %
Total/répondants	48	

Figure 14 : fréquence des réponses à la question « Parmi les propositions ci-dessous lesquelles définissent en priorité pour vous un élève autonome ? » (Monod-Ansaldi et al., 2010).

Les enseignants ont pu choisir des paramètres dont dépendrait l'autonomie des élèves (Figure 15). Certaines réponses ne mettent pas en avant le lien entre autonomie et savoir en jeu dans le sens où la moitié des enseignants ne se représente pas l'autonomie des élèves comme dépendante des savoirs travaillés dans l'investigation en cours. Ils considèrent que pour aborder une investigation de manière autonome très peu de connaissances sont nécessaires.

³⁷ L'introduction de la démarche d'investigation dans les programmes du second degré en France (B.O.E.N hors-série n°5 du 25 août 2005) a conduit les chercheurs en didactique des sciences à s'interroger sur ce thème.

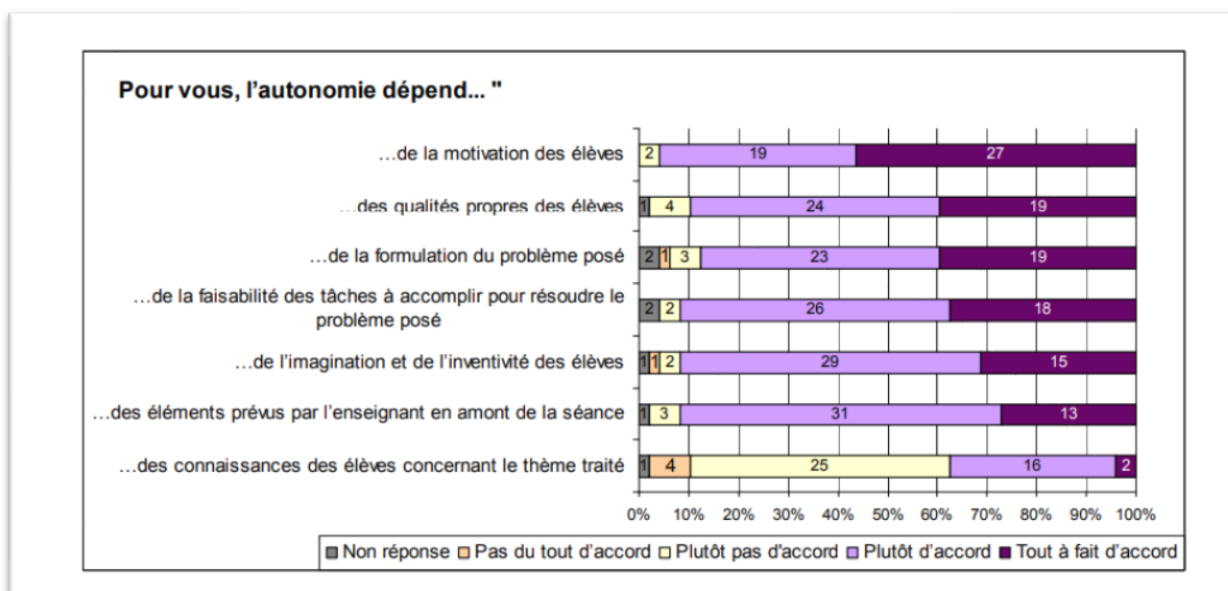


Figure 15: opinions des enseignants en réponse à la question « Pour vous, l'autonomie dépend... » (Monod-Ansaldi et al., 2010).

L'étude pointe donc les difficultés rencontrées par les enseignants pour accompagner le travail autonome d'investigation et les relie à la posture pédagogique. Les auteures mettent l'accent sur la nécessité de mettre en place des dispositifs de formation des enseignants.

En didactique de la chimie, El Bilani et al. (2007) étudient l'autonomie et la motivation des élèves dans une situation³⁸ d'enseignement et d'apprentissage sur l'énergie des liaisons chimiques. Dans cette situation, les élèves travaillent par groupe pour réaliser un ensemble de tâches tout en ayant la possibilité de se servir d'un simulateur³⁹. L'hypothèse de départ, dans cette recherche, est qu'une situation avec simulateur permet l'expression de l'autonomie (associée à la théorie de l'auto-détermination de Deci et Ryan, 2000). De plus, la façon dont les questions sont formulées dans les tâches peut impacter la motivation des élèves tout au long de leur activité sous son aspect cognitif (Small et Venkatesh, 2000) en relation avec le besoin de clôture⁴⁰ (besoin créé en cas de déstabilisation des besoins fondamentaux).

Pour El Bilani et al. (2007), les trois binômes filmés pour cette étude ont travaillé avec une autonomie qu'ils qualifient de volontaire pour différentes raisons :

³⁸ La situation d'enseignement et d'apprentissage est créée par le groupe SESAMES lycée, elle traite de la partie « l'énergie au quotidien » du programme 2001 de Première S.

³⁹ Le simulateur utilisé est « Calorimètre » qui permet de travailler les notions de chaleur et d'énergie de liaison ; il est issu de la collection micro méga (Le Maréchal et Bécu-Robinault, 2006).

⁴⁰ Le besoin de clôture est défini « comme le désir d'une réponse définitive et sans ambiguïté à une question afin d'en finir et d'être soulagé de la crainte de la non-réponse (impulse ou crainte induite par la situation : Kruglanski et Webster, 1996 ; Pierro et al. 2005). Le besoin de clôture est induit par une situation qui déstabilise les besoins psychologiques fondamentaux de l'individu ». (El Bilani et al., 2007, p.7)

- bien que le travail ne fût pas noté, les élèves ont tenu à le finir ;
- les élèves ont sollicité l'enseignant une seule fois. Les trois binômes ont réussi à construire des connaissances tout en gérant eux-mêmes leur propre cheminement. Ils n'ont pas exprimé le besoin de clôture.

Une autre recherche en didactique de la chimie (Khanfour-Armalé, 2008) évoque la notion de l'autonomie en s'intéressant à la structuration, par le professeur, des connaissances construites par des élèves ayant travaillé en « autonomie » lors d'une activité expérimentale. Dans cette recherche, l'autonomie renvoie au travail pendant les TP sans sollicitation de l'enseignant. L'élève est actif, il manipule et interagit avec son binôme. Il écrit les résultats des expériences, les observations et les interprétations dans un compte rendu, sans entrer dans une interaction didactique avec l'enseignant.

Il semble que, dans ces deux travaux de recherche en didactique de la chimie, l'autonomie soit synonyme de travailler sans l'enseignant en TP (seul ou en binôme). Autrement dit, il s'agit d'une situation conçue dans un objectif d'enseignement où :

- l'élève doit gérer les instructions et ses actions ; il est invité à mobiliser ses connaissances tout en sachant que la validation ou l'invalidation d'une procédure choisie par lui-même se fait sans intervention du professeur ;
- l'enseignant ne rentre pas dans des interactions didactiques ;
- la structuration de connaissances, qui émerge en « situation d'autonomie », n'est réalisée par l'enseignant que dans un deuxième temps chez Khanfour-Armalé (phase de débriefing). Quant à El Bilani et al. (2007), ils écrivent que l'enseignant sera présent lors d'une utilisation ultérieure de ces connaissances et dans d'autres contextes, sans plus de précision.

Cette perspective semble être cohérente avec la définition de l'autonomie de Yackel et Cobb (1996) distinguant l'élève autonome, qui n'est pas à la recherche des affirmations d'une autorité extérieure, de l'élève hétéronome qui a besoin d'une validation extérieure.

Ces situations d'autonomie rencontrées en chimie sont aussi évoquées dans des recherches en didactique de la physique mais cette fois-ci en lien avec l'hétérogénéité des élèves, tel le travail de Bécu-Robinault (2015) :

« Le groupe collaboratif DBR s'est appliqué à élaborer des stratégies pour gérer au mieux cette hétérogénéité sans perdre de vue les objectifs d'apprentissage assignés au collège. Les séquences

comportent donc des activités supplémentaires à réaliser en autonomie : au cours de ces activités les élèves réinvestissent leurs connaissances dans une tâche différente de la tâche initiale. Cette adaptation permet à l'enseignant de maintenir l'attention des élèves sur la discipline en jeu, même lorsque tous les élèves ne travaillent pas au même rythme. » (P. 43)

Dans d'autres recherches en didactique de la physique, les chercheurs évoquent l'autonomie sans préciser l'arrière-plan épistémologique. Ainsi, le travail de Boilevin (2017), en lien avec l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation, illustre parfaitement cette opacité épistémologique :

« Au-delà des phénomènes de mode, l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation semble un bon candidat pour mettre en œuvre ces principes. Mais ce type d'enseignement doit remplir certaines conditions pour permettre ces apprentissages. Il doit amener les élèves à s'engager dans des contenus scientifiques, proposer des tâches ou des problèmes à résoudre requérant des activités cognitives et/ou expérimentales. Il doit permettre des discussions argumentatives et des communications entre élèves. Il doit enfin prévoir une structuration des connaissances. De plus, suivant le degré d'ouverture des tâches proposées aux élèves (autonomie des élèves) et le niveau d'intervention de l'enseignant, on peut alors distinguer des investigations plus ou moins complètes ». (Boilevin, 2017, p. 215).

En didactique de la physique, Le Bouil (2022) s'est intéressé aux pratiques enseignantes et notamment aux conditions que doit satisfaire une formation d'enseignants en physique-chimie afin de contribuer à développer des usages du numérique favorisant l'autonomie des élèves. L'auteur définit l'autonomie explicitement en faisant appel aux travaux d'Albero (2004) tout en effectuant un croisement avec l'organisation praxéologique (Chevallard, 1998). Ce croisement

Organisation praxéologique des dimensions de l'autonomie	Tâche Amener les élèves à...	Technique	Logos
Technique			
Informationnelle			
Méthodologique			
Sociale			
Cognitive			
Méta-cognitive			
Psycho-affective			

Tableau 7) a permis de générer un ensemble de critères pour coder les données recueillies dans le cadre du travail collaboratif. Les résultats ont montré comment le travail collectif des

professeurs stagiaires ainsi que la conception et la mise en œuvre de scénarios de classe peuvent être déterminants dans le développement d'une praxéologie des différentes dimensions de l'autonomie des élèves à l'aide des outils numériques.

Organisation praxéologique des dimensions de l'autonomie	Tâche Amener les élèves à...	Technique	Logos
Technique			
Informationnelle			
Méthodologique			
Sociale			
Cognitive			
Méta-cognitive			
Psycho-affective			

Tableau 7: organisation praxéologique des dimensions de l'autonomie (Le Bouil, 2022)

La place de l'autonomie des élèves dans les investigations en classe de sciences, évoquée dans les travaux de Boilevin (2017), l'est aussi dans plusieurs recherches internationales avec des orientations axées sur les pratiques d'enseignement. Citons, à titre d'exemples, le travail de Olsen et al. (1996) qui étudie la gestion de TP par les enseignants quand les élèves travaillent en autonomie ; Vorholzer et Aufschnaiter (2019) qui s'intéressent aux questions de guidage par l'enseignant permettant de développer l'autonomie des élèves.

2.2.3. Discussion

En didactique des disciplines, Gueudet et Lebaud (2019a, 2019b) ont défini ce qu'est un élève autonome en mathématiques. Cependant, en didactique de la chimie comme en didactique des SVT, je n'ai pas trouvé un cadre précis pour définir ce que serait un élève autonome. Les éléments théoriques mobilisés par les auteurs semblent être à la croisée de la théorie de l'autodétermination et d'autres théories plus ou moins explicitées.

Dans les recherches francophones en didactique de la physique, bien que certains chercheurs évoquent l'autonomie dans leurs recherches, je n'ai pas trouvé non plus de références explicites à l'autonomie. Ce terme est employé, semble-t-il, dans un sens commun et renvoie notamment à des situations d'autonomie correspondant à un travail à réaliser par un élève ou un groupe d'élèves sans solliciter l'enseignant de physique. Or, comprendre l'influence de l'autonomie des élèves sur leur comportement lors des activités (expérimentale et/ou théorique) en physique nous semble particulièrement important à la lumière des efforts pédagogiques actuels pour encourager l'autonomie des élèves et/ou étudiants dans l'apprentissage des STEM (Modrek et

al., 2020, 2021). La revue de littérature réalisée soulève l'absence d'un cadre d'analyse permettant de décrire l'autonomie des élèves en physique tout en prenant en compte les spécificités de la discipline. Il nous semble ainsi qu'il serait pertinent de développer un cadre d'analyse permettant de décrire, tout d'abord, l'autonomie des élèves en classe de physique pour pouvoir ensuite penser à la façon dont un enseignant de physique pourrait soutenir son développement.

2.3. Proposition d'un cadre d'analyse didactique : le cadre « AtA2d »

Les questions liées à l'autonomie intéressent l'institution scolaire mais également la recherche en éducation, sans pour autant faire l'objet d'une définition univoque. Des cadres d'analyse (Deci et Ryan, 2000 ; Albero 2004 ; Gueudet et Lebaud, 2019a) permettent une première caractérisation de ce qu'est un élève autonome mais pas spécifiquement en classe de physique. L'objectif de cette section est de mettre en évidence la construction d'un cadre d'analyse exploitant les avancées des cadres précédents. Ce travail aboutit à la description d'un tel cadre que je nomme AtA2d « Autonomie transversale Autonomie Didactique Disciplinaire ». Cette partie se termine par une discussion sur les apports du cadre AtA2d.

2.3.1. Genèse et structuration du cadre AtA2d

J'ai participé de 2018 à 2021 au projet Interactions Digitales pour l'Enseignement et l'Éducation (IDEE⁴¹, réponse retenue dans le cadre de l'appel à projets eFRAN) visant à favoriser la transformation des usages de ressources numériques par les enseignants et dont un des objectifs consiste à réduire les inégalités de parcours éducatif. Ce projet était divisé en trois volets dont le volet CERAD (Collectif d'Enseignants et Ressources pour l'Autonomie des élèves) auquel j'ai contribué. Le collectif CERAD s'intéressait aux usages du numérique par les enseignants, en vue de contribuer au développement de l'autonomie des élèves.

Au début, nous sommes partis d'une définition de l'autonomie qui permettait aux didacticiens de trois disciplines scolaires (mathématiques, anglais et physique-chimie) de mener des recherches dans des contextes disciplinaires différents. Ainsi, dans le glossaire du projet IDEE, l'autonomie était considérée comme un :

« processus qui permet à l'élève, dans un contexte donné et au sein d'un système d'interactions, d'organiser son travail et de mobiliser des ressources (internes ou externes) pour accomplir une tâche donnée en développant éventuellement des moyens nouveaux » (IDEE, 2018).

⁴¹ Opération soutenue par l'État dans le cadre du volet eFRAN du Programme d'investissement d'avenir, opéré par la Caisse des Dépôts.

Cette définition, partagée par l'ensemble des membres du projet IDEE, a été mobilisée au sein du groupe CERAD dans des recherches en didactique de mathématiques (Gueudet et Lebaud 2019a, 2019b), en didactique de la physique (Le Bouil et al., 2019 ; Le Bouil et al., 2021 ; Le Bouil, 2022) et en didactique de l'anglais (Quéré et al, 2022)

Pour initier la recherche au sein de CERAD, et notamment en physique, j'ai réalisé des entretiens individuels exploratoires avec quatre enseignants ordinaires de physique-chimie (qui ne sont associés à aucun groupe de recherche-action) à Reims. De son côté, Antoine Le Bouil (doctorant dans le cadre de ce projet à l'époque) a réalisé un entretien auprès d'un enseignant faisant partie du groupe physique-chimie du volet CERAD de Rennes.

Notre première étude exploratoire (Le Bouil et al., 2019) visait à comprendre, d'une part si les enseignants de physique-chimie interrogés attribuaient la même signification à la définition de ce qu'est un élève autonome en physique et, d'autre part à comprendre les spécificités de l'autonomie en classe de physique. Le canevas d'entretien était conçu pour questionner les professeurs sur leur parcours professionnel, leur vision de l'autonomie, les leviers sur lesquels ils s'appuient pour développer l'autonomie de leurs élèves en classe de physique ainsi que les freins les empêchant de la développer. Des transcriptions intégrales des entretiens (durée environ 1h) ont été réalisées. Nos résultats se présentaient sous deux angles :

- la vision de l'autonomie des enseignants de PC d'un point de vue générique. Nous constatons, par exemple, que les cinq enseignants de PC relient tous l'autonomie au nombre de questions posées par l'élève à son enseignant pendant un cours ;
- la vision de l'autonomie spécifique à la physique-chimie. (1) Deux enseignants font un lien entre l'autonomie et la coopération entre élèves pendant les travaux pratiques (TP). Ceci me semble lié aux séances de TP typiques en physique-chimie où les élèves ne travaillent pas individuellement (collaboration spécifique de la discipline). (2) L'autonomie est reliée au contenu travaillé en physique et à l'épistémologie qui la sous-tend (utilisation des modèles avec des limites de validité).

Dans la même temporalité, une étude menée par Gueudet et Lebaud (2019a) en didactique des mathématiques introduit deux formes d'autonomie dénommées autonomie pédagogique et autonomie didactique.

Dans d'autres études de cas (Boilevin et al, 2021 ; El Hage et al., 2021), la caractérisation de l'autonomie (Figure 16) se base sur :

- la distinction introduite par Gueudet et Lebaud (2019a) entre, d'une part, l'autonomie pédagogique (AP) et, d'autre part, l'autonomie didactique (AD) ;
- le croisement entre ces distinctions et les domaines de l'autonomie d'Albero. Ainsi les sept domaines peuvent concerner aussi bien l'autonomie pédagogique que l'autonomie didactique.

Autonomy dimensions	Pedagogical autonomy (PA)	Didactic autonomy (DA)
Technical	Control of the digital technologies and ability to adapt to the diversity of tools and media.	Control of the applications, software, or specific techniques for the acquisition and the processing of data in science.
Methodological	Organization of the work in the classroom and at home. Being able to take into account the different objectives and constraints.	Organization of the work: to be able to choose from different strategies while implementing IBSE.

Figure 16: illustration des dimensions de l'autonomie d'une part et la différence entre AP et AD d'autre part (El Hage et al., 2021).

Cependant, la distinction entre AP et AD ne prenait pas explicitement en compte les aspects épistémologiques de la discipline notamment pour certains domaines d'Albero (technique, cognitif par exemple).

Par ailleurs, j'ai pensé à enrichir le domaine psycho-affectif en m'appuyant sur la théorie de l'auto-détermination. Le croisement motivation-autonomie en classe de sciences est en effet plutôt courant dans les travaux de recherche anglo-saxons. Par exemple, Vedder-Weis et Fortus (2018) montrent que les pratiques s'appuyant sur l'autonomie des élèves apparaissent comme un des éléments associés à la motivation des collégiens pour l'apprentissage des sciences. Quant à Zhang et al. (2020), ils ont trouvé que les comportements d'enseignants de physique favorisant l'autonomie conditionnent l'engagement authentique des élèves en classe de physique.

Au sein du groupe CERAD, les didacticiens de la physique se sont interrogés sur les éléments proposés par Albero (2004) pour choisir entre une caractérisation en « domaine d'application de l'autonomie » (terme employé par Albero, 2004) ou en « dimension d'autonomie ». Cette dernière proposition de Le Bouil et al. (2021) vise à mettre en évidence l'aspect dynamique, transitoire et polymorphe de l'autonomie. De mon côté, pour construire le cadre AtA2d, j'ai choisi de parler de dimension de l'autonomie :

- quand on étudie et que l'on caractérise l'autonomie d'un élève à un instant donné, par rapport à une tâche donnée dans un contexte donné ;
- quand on identifie ce sur quoi agissent les leviers activés par l'enseignant de physique pour développer l'autonomie des élèves.

Comme je m'intéresse aux pratiques des enseignants de physique permettant de développer l'autonomie des élèves, il me semble tout d'abord nécessaire de caractériser ce que serait un élève autonome en physique.

2.3.2. Présentation du cadre d'analyse AtA2d

Pour concevoir ce cadre d'analyse didactique visant à caractériser ce qu'est un élève autonome en physique, je me suis inspirée des travaux d'Albero (2004) et des travaux de Gueudet et Lebaud (2019a). J'ai écarté la définition donnée par IDEE, mobilisée au début du travail du groupe CERAD car elle renvoie essentiellement à une autonomie scolaire a-disciplinaire. De plus, elle entraîne une confusion entre le processus d'autonomisation et la notion d'autonomie, résultat de ce processus.

Mon cadre amène à distinguer deux formes de l'autonomie. L'une est qualifiée d'autonomie transversale (At)⁴² et correspond à une autonomie pouvant être présente dans toutes les disciplines indépendamment du savoir en jeu contrairement à l'autonomie didactique disciplinaire (Add ou A2d). Cette dernière ne se réduit pas à une simple spécification de l'autonomie transversale dans un champ disciplinaire donné ; elle s'inscrit plutôt dans une perspective épistémologique. Quand on évoque l'autonomie didactique disciplinaire, il semble en effet raisonnable de prendre en compte le point de vue épistémologique. Rappelons (§ 1.1.2) qu'il est possible de caractériser le fonctionnement de la physique comme la recherche de relations entre les phénomènes, les concepts et les lois permettant d'expliquer, d'interpréter, de prédire ces phénomènes. Ces relations de modélisation, fondatrices de l'élaboration des savoirs en physique, sont aussi au cœur de l'enseignement de cette discipline (Tiberghien, 1994 ; Bécu-Robinault, 2015 ; El Hage et Buty, 2014). Cet ancrage de nature épistémologique semble essentiel quand on parle d'une autonomie didactique dans des situations d'enseignement et d'apprentissage en physique. Un second ancrage tout aussi important concerne l'aspect

⁴² Je préfère parler dans ce cadre d'analyse d'une autonomie transversale et non pas d'une autonomie pédagogique (comme au début du projet eFRAN) pour éviter des malentendus liés à la notion de pédagogie. Quand je cite des références, le terme pédagogique utilisé à cette époque est désormais remplacé, dans ce texte, par transversal.

sémiotique permettant de communiquer les différents éléments du savoir en classe de physique (El Hage, 2014 ; Bécu-Robinault, 2015, etc.).

L'autonomie didactique disciplinaire correspond ainsi à une autonomie dans un champ de savoirs prescrit par des curriculums (physique-chimie dans notre cas). De plus, elle présente un caractère transitoire et étroitement lié au contexte de l'enseignement et d'apprentissage et aux types de tâches dans lesquelles les élèves sont engagés. En outre, l'Add présente un caractère évolutif puisque les savoirs abordés dans une classe ou un cycle pourront être revisités ultérieurement dans la scolarité pour progresser vers plus de généralisation et d'abstraction. Dans mon cadre d'analyse, le temps constitue ainsi une variable essentielle dans la caractérisation de l'autonomie.

Le Tableau 8 présente le cadre d'analyse AtA2d sous forme de sept dimensions présentées dans le même ordre que celui introduit par Albero (2004). L'ordre d'apparition des dimensions ne reflète pas forcément un ordre déterminé ou la prédominance d'une dimension sur une autre.

Dimensions de l'autonomie	Autonomie transversale (At)	Autonomie didactique disciplinaire (A2d) en physique
Technique	Maîtrise des technologies numériques utilisées et capacité à s'adapter face à la diversité des outils et supports.	Maîtrise des tâches numériques (logiciels d'acquisition de données en physique) ou du matériel expérimental (connecter et utiliser un instrument de mesure, etc.).
Informationnelle	Recherche et traitement de l'information : maîtriser les outils de recherche documentaire, savoir rechercher et trouver de l'information pertinente, savoir stocker et gérer l'information etc.	Recherche et traitement de l'information sur des sites dédiés en physique, dans son cours, dans son manuel de physique : compréhension des énoncés en physique ; distinction entre les représentations sémiotiques d'une même notion, d'un même concept en physique. Identification de la nature de l'information : issue du monde empirique ou du monde théorique
Méthodologique	Organisation de son travail en classe ou à la maison en tenant compte des objectifs et des contraintes diverses.	Organisation de son activité en physique selon les objectifs fixés par l'enseignant. Organisation de la résolution d'un problème théorique ou expérimental en physique. Mise en œuvre d'un protocole expérimental
Sociale	Collaboration avec d'autres élèves et/ ou avec le professeur. Développer une attitude d'ouverture, de tolérance, d'empathie envers ses pairs.	Échange et argumentation entre élèves au sujet de la situation étudiée favorisent la construction des connaissances en physique. Sollicitation à bon escient du professeur pour résoudre un exercice théorique ou expérimental en physique.
Cognitive	Aspects individuels de la construction d'une stratégie de travail. Recours à des opérations mentales diversifiées. Création des liens entre les éléments nouveaux et les éléments stabilisés dans les représentations. Anticiper une action et contrôler ses effets	Réinvestissement de connaissances apprises plus tôt dans l'année en P pour résoudre une tâche sur un autre thème du programme. Conception individuelle d'un protocole expérimental en TP de physique. Justification du choix d'un protocole ou d'une stratégie à mettre en œuvre lors de la résolution de problème en physique. Établissement d'un lien entre le monde des objets et des événements et le monde des théories et des modèles. Recours à des opérations mentales concernant des contenus de physique.
Métacognitive	Activité réflexive sur : l'action entreprise ; l'efficacité des modalités d'apprentissage choisies. Régulations en fonction de l'analyse des situations rencontrées.	Capacité à s'auto-évaluer et à utiliser ses erreurs pour faire évoluer une stratégie en physique. Régulation de son activité expérimentale et/ou théorique en physique.
Psycho-affective	Estime de soi en classe : oser répondre lorsqu'une question est posée à la classe entière, oser montrer son travail à tous. Ne pas avoir peur de faire une erreur et d'être jugé. Motivation extrinsèque et/ou intrinsèque par rapport à des contenus.	Estime de soi : oser faire des prévisions, proposer des hypothèses, par oral ou par écrit, en physique sans avoir peur de se tromper ; oser s'exprimer en classe de physique même si l'élève n'a pas le langage adéquat. Intérêt pour des savoirs en physique, pour la compréhension du fonctionnement de la physique. Poursuite du travail en physique malgré l'obtention d'une mauvaise note. Persévérance dans la résolution d'une tâche jusqu'à trouver une solution.

Tableau 8: indicateurs permettant de caractériser les dimensions de l'autonomie (At et A2d)

Ci-dessous, chaque dimension de l'autonomie est présentée avec son adaptation au contexte scolaire de l'enseignement de la physique.

La dimension technique

Albero (2004) évoque certaines compétences requises pour ce domaine. Ainsi, pour l'autonomie transversale, je me suis inspirée de ses idées pour élaborer des indicateurs caractérisant l'autonomie selon la dimension technique : l'élève maîtrise des technologies numériques et sait s'adapter face à la diversité des outils et supports.

Pour l'A2d, je propose, dans le contexte de la physique, de prendre en compte deux aspects pour cette dimension correspondant à ce que Tiberghien (1994) considère comme appartenant au monde des objets et des événements :

- le premier aspect est relié au côté expérimental de la physique scolaire. Il s'agit de savoir utiliser des instruments de mesure, des appareils pour réaliser des expériences qualitatives et/ou quantitatives (exemple : manipuler un oscilloscope, savoir brancher un voltmètre en dérivation aux bornes d'une lampe dans un circuit pour trouver la valeur de la tension électrique, etc.) ;
- le second aspect est relié aux tâches de type numérique (exemple : usage de logiciels d'acquisition et/ ou de traitement de données en physique).

De mon point de vue, les savoirs relevant du monde des théories et des modèles ainsi que la mise en relation entre les deux mondes (processus de modélisation selon Tiberghien, 1994) se trouvent dans une autre dimension de l'autonomie didactique.

La dimension informationnelle

Pour l'autonomie transversale, je me suis inspirée de ce qu'Albero (2004) nomme des compétences pour élaborer des indicateurs caractérisant l'autonomie : l'élève est capable de rechercher et traiter l'information ; l'élève maîtrise les outils de recherche documentaire ; il cherche et trouve l'information pertinente ; il recueille, stocke et gère l'information obtenue et peut la traiter ; il synthétise et présente l'information recueillie.

En termes d'autonomie didactique disciplinaire, les indicateurs retenus sont en lien avec la recherche d'informations en physique et ses spécificités. En voici quelques exemples : l'élève trie des informations dans une ressource distribuée par le professeur pour répondre à des questions concernant la deuxième loi de Newton ; l'élève est capable de mener une recherche documentaire sur internet au sujet de la décharge d'un condensateur lors d'une démarche fondée sur l'investigation ; l'élève distingue les photos des dessins et/ou des schémas d'un circuit électrique à la suite d'une recherche documentaire.

La dimension méthodologique

Je me suis inspirée des travaux d'Albero (2004) pour élaborer des indicateurs caractérisant l'autonomie transversale selon cette dimension. Exemple : l'élève s'organise tout seul en tenant compte des objectifs et des contraintes diverses qui nécessitent un respect du calendrier et des délais du travail.

Du point de vue de l'A2d en physique, les indicateurs permettant d'inférer une autonomie sur ce domaine sont les suivants : s'organiser temporellement pour résoudre un problème théorique ou expérimental en physique ; mettre en œuvre un protocole expérimental. Notons que mettre en œuvre un protocole expérimental repose sur un ensemble de tâches dont certaines peuvent appartenir à la dimension technique, comme relever la valeur d'une grandeur physique, mais l'objectif de la tâche va bien au-delà de la dimension technique et nécessite une organisation à l'échelle temporelle.

La dimension dominante de l'autonomie dans les 2 exemples suivants est méthodologique :

- pour mesurer la tension alternative avec un multimètre, l'élève sait que, tout d'abord, il faut sélectionner la grandeur à mesurer par le multimètre (sans tourner dans tous les sens en passant par les fonctionnalités : ohmmètre, voltmètre et ampèremètre). Puis, il tourne et démarre par une échelle plus grande que celle qu'il pense mesurer. Ensuite, il branche correctement l'instrument de mesure dans le circuit ;
- résoudre un exercice en mécanique newtonienne : l'élève doit choisir, dans un premier temps, un référentiel galiléen, puis le système en fonction de la question posée et ensuite réaliser le bilan exhaustif des forces.

La dimension sociale

En me basant sur les propositions d'Albero (2004), je considère que cette dimension renvoie au fait que l'autonomie ne se limite pas au temps de travail d'un élève seul, en dehors de la présence de l'enseignant. Cela inclut la collaboration avec d'autres élèves et/ou avec le professeur. Un indicateur caractérisant l'autonomie selon cette dimension est : l'élève prend part à un travail collectif, à la construction collective d'une stratégie. Il peut aussi s'agir de savoir solliciter, à bon escient, le professeur. Cela correspond à ce que Raab (2014) définit comme l'autonomie de groupe. Les indicateurs dans ce domaine renvoient à une autonomie de l'individu qui se construit à la fois par lui-même mais aussi avec les autres et ceci pour un usage individuel et/ou collectif ultérieur.

Sur le plan de l'A2d, il s'agit d'une activité sociale à deux niveaux (élève-élève et élève-professeur) lors des résolutions de tâches en physique. Par exemple : l'élève sait échanger, coopérer avec d'autres élèves sur le choix d'une procédure expérimentale ou la validité d'un raisonnement en physique. Il s'agit également de solliciter à bon escient le professeur pour résoudre un exercice théorique ou expérimental en physique. Autrement dit, la prise d'initiative pour entrer en interaction didactique ou pas doit être faite indépendamment de l'intervention de l'enseignant.

La dimension cognitive

Plusieurs indicateurs permettent de caractériser l'At de cette dimension de l'autonomie en lien avec les aspects individuels de la construction d'une stratégie de travail et le recours à des opérations mentales diversifiées.

L'aspect épistémologique constitue un arrière-plan important pour les indicateurs que je présente pour l'A2d de cette dimension. En effet, pour Martinand (1992) comme pour Tiberghien (1994), la compréhension de la physique nécessite que les élèves parviennent à articuler l'expérimental et le théorique (§. 1.1.2). Ces relations de modélisation, fondatrices de l'élaboration des savoirs en physique, sont au cœur de l'enseignement de cette discipline et font appel à des modèles. Tous les modèles de la physique, scientifiques ou scolaires, s'appuient sur des représentations variées (El Hage, 2014). Dans la continuité des travaux de Duval en mathématiques (1995), de Bécu-Robinault (2015), El Hage (2012, 2014a) en didactique de la physique, je considère que les élèves donnent du sens aux modèles en s'appropriant et en articulant diverses représentations sémiotiques d'un même concept. De ce fait, les indicateurs que je présente s'appuient sur les aspects épistémologique et sémiotique de la physique, ce que Bécu-Robinault (2015, 2018) appelle cadre épistémo-sémiotique : l'élève sait concevoir individuellement un protocole expérimental ; l'élève justifie ses choix ou sa stratégie de résolution de problème en physique ; l'élève est capable de formuler des hypothèses lors des investigations ; l'élève établit un lien entre le monde des objets et des événements mais également le monde des théories et des modèles, etc. Par exemple, pour ce dernier indicateur : l'élève sait faire le lien entre le modèle présent sur l'écran de l'application « carte du ciel »⁴³ et le ciel qu'il observe.

⁴³ Apple store : <https://apps.apple.com/fr/app/carte-du-ciel/id345542655>

Playstore : <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.escapistgames.starchartgoogleeducation&gl=FR>

La dimension méta-cognitive

En termes d'At et en m'inspirant d'Albero (2004), les indicateurs caractérisant l'autonomie dans cette dimension sont en lien avec l'activité réflexive sur l'action entreprise (interrelations entre objectif, moyens mis en œuvre et résultats) et/ou sur l'efficacité des modalités d'apprentissage choisies (mémorisation, révisions, entraînements, simulations). D'autres indicateurs peuvent concerner la régulation des stratégies d'apprentissage en fonction de l'analyse des situations rencontrées. Cette dimension englobe également l'examen critique des démarches adoptées (efficacité du travail individuel, de groupe, des interactions avec les personnes ressources).

Sur le plan de l'A2d, les indicateurs caractérisant cette dimension de l'autonomie sont les suivants : l'élève devrait être capable de s'auto-évaluer et d'utiliser ses erreurs pour faire évoluer une stratégie en physique ; l'élève régule son activité expérimentale et/ou théorique en physique. Exemple : l'élève connaît le principe d'inertie et sait le mobiliser pour expliquer l'intérêt de la ceinture de sécurité dans un véhicule.

La dimension psycho-affective

Je me suis inspirée des idées d'Albero (2004) autour de l'estime de soi pour élaborer des indicateurs de cette dimension relevant de l'At tels que : oser répondre lorsqu'une question est posée à la classe entière, oser montrer son travail à tous, ne pas avoir peur de faire une erreur et d'être jugé.

Pour cette dimension, je propose de faire un lien avec la théorie de l'auto-détermination (Deci et Ryan, 2000) bien qu'elle soit absente de la proposition d'Albero. La motivation est importante lors de la réalisation d'une ou de plusieurs tâches car les élèves peuvent systématiquement être confrontés à des difficultés et des obstacles. De plus, Deci et Ryan (2000) ont démontré que la motivation impacte la qualité de l'apprentissage, c'est-à-dire que la motivation peut favoriser la construction des connaissances.

Sur le plan de l'A2d, les indicateurs caractérisant cette dimension de l'autonomie sont en lien avec la prise d'initiative, la prise de « risque » lors de la résolution d'un exercice ou d'une activité expérimentale et/ou théorique en physique ; pour l'élève, il s'agit d'oser s'exprimer en

classe de physique même s'il n'a pas le langage adéquat (exemple : donner son poids en kg et non pas en Newton même s'il a des doutes) et de persévérer dans la résolution d'une tâche jusqu'à trouver une solution.

L'aspect motivationnel est important dans cette dimension surtout dans le contexte où beaucoup d'élèves ne sont pas très intéressés par l'apprentissage des sciences physiques (Venturini, 2007). Ainsi, avoir une motivation intrinsèque pour travailler la physique, non pas pour la note mais par intérêt pour la physique (ou pour une thématique de la physique), constitue un indicateur dans cette dimension. Exemple : pour le grand oral du bac, choisir un sujet de physique (TGV à hydrogène) par intérêt pour le sujet traité et non pas uniquement pour la facilité.

2.3.3. Discussion sur la nature du cadre AtA2d

Le processus de conception du cadre AtA2d a été progressif ; il s'est fait non seulement à partir d'une réflexion théorique mais également à partir de recherches empiriques. Ce processus dynamique a ainsi fait évoluer les indicateurs entre la première version de ce cadre (El Hage et al., 2021 ; El Hage et Maigret, 2022) et celle que je présente ici, version stabilisée en 2022 (§. 2.3.2). En effet, les deux études de cas (El Hage et al., 2021 ; El Hage et Maigret, 2022) ont permis : de mobiliser les deux formes d'autonomie en fonction de sept dimensions ; de constater que les caractéristiques d'un élève autonome élaborées principalement grâce aux lectures théoriques trouvent un écho sur le terrain (que cela soit dans le discours des enseignants de collège de PC ou d'un inspecteur de PC).

La relecture de ces deux publications aujourd'hui ne change pas les résultats présentés en 2021 ou ceux de 2022 mais apporte une plus grande précision sur les indicateurs à l'intérieur des différentes dimensions. Par exemple, pour El Hage et al. (2021), l'indicateur « l'élève coopère avec les pairs » relevait de la dimension sociale contrairement à l'indicateur « l'élève sollicite l'enseignant à bon escient » qui faisait, alors, partie de la dimension méthodologique. Dans la version actuelle du cadre d'analyse AtA2d, ces deux indicateurs, reliés aux interactions, font partie de la même dimension, à savoir la dimension sociale.

Le cadre d'analyse AtA2d permet de caractériser l'autonomie des élèves en fonction de sept dimensions pour deux formes d'autonomie : l'At et l'Add (A2d) lors des situations d'enseignement et d'apprentissage en physique. Le cadre synthétisé dans un seul tableau (Tableau 8), pour faciliter la lecture, peut servir aux chercheurs comme aux enseignants

s'intéressant aux activités des élèves. Certes, il constitue un pas de côté par rapport à mon premier objet d'étude portant sur les pratiques enseignantes mais peut servir, pour un chercheur comme pour un enseignant, d'outil afin de caractériser l'autonomie des élèves en classe de physique.

Ce cadre d'analyse montre que la caractérisation de l'autonomie d'un élève en classe de physique par un chercheur ou un enseignant ne peut pas se faire d'une façon générale. En fonction des indicateurs, il est possible d'inférer la dimension dans laquelle l'élève est autonome pour une tâche donnée. Ainsi, ce cadre n'est pas une caractérisation dans l'absolu de l'autonomie mais dépend bien des tâches à réaliser, du contexte, de l'âge de l'élève, etc.

Chaque indicateur de l'autonomie n'est pas un objectif à atteindre pour acquérir une dimension de l'autonomie et, *in fine*, l'autonomie en elle-même. Je considère que l'autonomie est holistique et que le cadre permet de prendre des informations ponctuelles. Pour caractériser l'autonomie à partir du cadre, je considère que le tout est supérieur à la somme des sept dimensions.

2.4. Opérationnalisation du cadre d'analyse AtA2d

Dans cette partie, j'illustre, dans un premier temps, la mise en œuvre du cadre AtA2d pour analyser des prescriptions officielles. Ensuite, je présente les résultats d'une étude de cas auprès d'enseignants pour caractériser un lycéen français autonome en classe de physique en m'appuyant également sur le cadre AtA2d (El Hage et al., 2022).

2.4.1. Analyse des prescriptions officielles

Mon cadre d'analyse permet de faire une première catégorisation de ce que les programmes de physique-chimie visent en termes d'autonomie des élèves. En effet, il est tout à fait possible d'identifier la forme d'autonomie (soit At soit A2d) dans les phrases où elle apparaît explicitement ou implicitement.

Prenons, à titre illustratif, l'extrait suivant concernant la classe de terminale spécialité physique-chimie :

« le recours régulier à des « résolutions de problèmes » est encouragé, ces activités contribuant efficacement à l'acquisition des compétences de la démarche scientifique et au développement de l'autonomie et de l'initiative. » (MEN, 2019c, p. 4).

Le cadre d'analyse permet de déduire que la prescription évoque ici une autonomie didactique disciplinaire puisqu'il est question de la démarche scientifique en physique.

Ce cadre d'analyse permet également de repérer d'autres compétences à développer étroitement liées à l'autonomie même en l'absence de ce mot. Par exemple, prenons quelques compétences issues de celles définies pour le cycle 4 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

Tableau 9 : ensemble des compétences attendues à la fin du cycle 4 (BOEN n° 31 du 30 juillet 2020, p. 97).

- « proposer une ou des hypothèses pour répondre à une question » correspond au domaine cognitif de l'A2d du fait de sa spécificité au domaine de la physique.

- « interpréter des résultats expérimentaux, en tirer des conclusions et les communiquer en argumentant » concerne également le domaine cognitif de l'A2d.
- « effectuer des recherches bibliographiques » correspond selon nous au domaine informationnel de l'autonomie transversale.

Ces quelques exemples montrent la potentialité du cadre mais aussi une utilisation délicate pour analyser l'ensemble des curriculums de physique. Nous pouvons donc nous demander comment peuvent faire les enseignants pour lire et comprendre les prescriptions alors qu'ils ne sont ni outillés ni formés à cette thématique de l'autonomie ? Pourtant, le rôle de l'enseignant est important comme le montrent de nombreuses publications mentionnant l'autonomie des élèves dans le cadre des enseignements fondés sur l'investigation et/ou sur les démarches scientifiques (Olsen et al., 1996 ; Furtak et Kunter, 2012 ; Vorholzer et Aufschnaiter, 2019 ; Zhang et al., 2020 ; Yolcu et Akar-Vural, 2021). Cela m'amène à m'interroger sur la façon dont un enseignant pourrait percevoir l'autonomie de l'élève et l'usage de mon cadre dans ce contexte.

2.4.2. Caractérisation d'un lycéen autonome en physique selon le point de vue d'enseignants

L'objectif de cette recherche (El Hage et al., 2022) est d'analyser, à l'aide du cadre AtA2d, les points de vue de deux enseignants de physique au lycée.

Pour recueillir des données, je me suis inspirée du guide d'entretien mobilisé pour recueillir des données au collège. Avec un cadre d'analyse plus stable et précis, nous avons ajouté des questions nous permettant de mieux cerner les caractéristiques d'une autonomie didactique ou pédagogique dans les discours des enseignants.

Le guide d'entretien précédent amenait les enseignants de collèges interrogés à évoquer un élève idéal dans leurs réponses. Pour éviter ce biais, nous avons :

- demandé à l'avance le scénario de la séance (ou la fiche de la préparation) où l'enseignant considère qu'elle amène à développer l'autonomie ou qu'elle y fait appel ;
- axé nos questions sur les tâches prescrites aux élèves dans le scénario de classe pour repérer des éléments caractéristiques de l'autonomie.

Nous avons codé les deux entretiens en fonction des deux formes et sept dimensions de l'autonomie. Nos résultats montrent que quatre dimensions de l'At sont partagées entre les deux enseignants de physique du lycée (méthodologique, social, cognitif et psychoaffectif). En termes d'A2d, les analyses reflètent que, pour ces deux enseignants, l'autonomie concerne les domaines informationnel, méthodologique, social, cognitif et psycho-affectif. Mon cadre

d'analyse semble donc être pertinent pour analyser les points de vue exprimés par des enseignants de physique-chimie.

2.4.3. Discussion

La construction de mon cadre d'analyse émane du besoin de comprendre les pratiques enseignantes favorisant le développement de l'autonomie en classe de physique. En effet, je suis partie des différentes « définitions » de l'autonomie existant dans la littérature scientifique mais aucune n'est ciblée sur la classe de physique. De plus, j'ai constaté qu'il n'existe pas vraiment de consensus sur une « définition » de l'autonomie en contexte scolaire. Cependant, un aspect commun aux études est la faible présence, voire l'absence, des aspects épistémologiques des disciplines en question. Ce manque m'a interpellée, en tant que didacticienne de la physique, et m'a amenée à élaborer un cadre d'analyse AtA2d permettant d'étayer les caractéristiques d'un élève autonome en physique tout en prenant en compte les aspects épistémologiques de la physique.

Pour moi, l'autonomie des élèves comporte deux formes : une At et une Add. L'Add dépend du contenu d'enseignement en jeu, en référence à une discipline scolaire et à un curriculum donné. Cette approche didactique met l'accent sur le fait qu'il n'est pas pertinent de parler d'une autonomie didactique en dehors d'une situation d'enseignement et d'apprentissage donnée. Il est ainsi difficile de qualifier un élève d'autonome sur une dimension indépendamment de la tâche qu'il a à effectuer, de son âge, du curriculum et de ses propres connaissances construites plus tôt (en lien avec la discipline en question et avec les autres disciplines scolaires).

Ce cadre d'analyse permet de comprendre et d'expliquer les attentes d'un enseignant envers des élèves autonomes en physique sans visée normative. Ce cadre n'a pas de visée prescriptive ; il ne s'agit pas de travailler chaque dimension pour atteindre l'autonomie dans une démarche béhavioriste. En revanche, il permet l'analyse de l'At et de l'A2d dans les classes. De plus, il est possible de mobiliser des éléments théoriques complémentaires en didactique de la physique pour approfondir l'analyse de chacune des dimensions. Par exemple, l'étude des interactions didactiques de la dimension sociale peut se faire en termes de tutelle et médiation ou bien en termes d'approche communicative (§. 1.1.1).

Le cadre d'analyse AtA2d a fait ses premières preuves afin d'étudier la place de l'autonomie dans les programmes de PC et dans le discours des enseignants sur leurs élèves. Il permet d'apporter un éclairage complémentaire sur les résultats de la première étude de cas réalisée (Le Bouil et al., 2019) où nous avons montré que les enseignants interrogés relient l'autonomie

au nombre de questions posées par l'élève pendant un cours. La revisite avec le cadre AtA2d permet d'approfondir l'analyse des extraits d'entretien (figure 17).

Enseignant 1 (E1) : « *l'élève autonome n'a pas besoin de prof [...] un élève autonome déjà bon, tous les élèves vont forcément être un peu guidés par le professeur mais ça veut dire que, à partir du moment où il a compris quels étaient les différentes étapes de de de sa progression, euh quels étaient les critères par exemple pour appeler le professeur, il pouvait faire appel à nous et bien s'il avait compris ça, euh on pouvait le considérer comme autonome dans ses apprentissages. Si on pouvait le laisser dans une salle de classe avec les activités préparées euh qu'il venait nous voir de façon ponctuelle, on pouvait le considérer comme autonome... ».*

Enseignant 2 (E2) : « *l'élève autonome c'est l'élève qui va progresser dans l'activité sans qu'on ait besoin de lui rappeler qu'il est censé être là pour travailler et avancer et sans qu'on ait besoin d'être tout le temps derrière lui ; c'est justement l'élève ... qui sait demander quand il est embêté ; l'élève autonome est capable de savoir si le point qui bloque est urgent pour pouvoir progresser ou si ça peut attendre que l'enseignant soit disponible pour aider quoi ».*

Figure 17: extrait de Le Bouil et al. (2019, page 278) présentant de éléments définitoires de ce qu'est un élève autonome selon des enseignants en PC.

Si je reprends l'extrait de E1 dans la Figure 17, je dirais plutôt que l'enseignant attend de l'élève autonome des caractéristiques en At relevant de la dimension méthodologique (il connaît les différentes étapes à suivre et il peut les exécuter par ordre chronologique) et de la dimension sociale (savoir quand solliciter son enseignant de physique). Quant à l'extrait de E2, je le mettrais en At et je relierais les caractéristiques attendues à trois dimensions : cognitive, psycho-affective et sociale.

De plus, la méthodologie d'analyse développée (El Hage et al., 2021) permet de repérer des invariants et des caractéristiques attendues par les enseignants de physique-chimie pour chacune des dimensions de l'autonomie.

Nous rappelons que l'At et l'A2d ne sont pas disjointes et peuvent se développer dans des contextes différents. Nous pouvons nous interroger sur la nature des relations entre l'At et l'A2d (relation bijective ou pas ; quelle forme d'autonomie à maîtriser en premier).

Bien que la revue de littérature montre qu'il n'existe pas vraiment de consensus sur une définition de l'autonomie en contexte scolaire, le rôle primordial de l'enseignant est souligné par de nombreux auteurs (Chirkov et Ryan, 2001 ; Stefanou et al. 2004 ; Tan, 2013 ; Reeve et al., 2018 ; Reeve et Cheon, 2021 ;) pour soutenir l'autonomie des élèves.

L'autonomie n'étant pas innée (Ravestain, 1999), je vais m'intéresser aux rôles des enseignants de physique-chimie dans son développement. Mon cadre d'analyse peut servir d'outil aux enseignants pour établir les dimensions dans lesquelles les élèves sont autonomes et pour construire les séquences d'enseignement en fonction de ce qu'ils souhaitent développer en termes d'autonomie auprès de leurs élèves.

Pour conclure cette partie, il me faut rappeler que mon centre d'intérêt initial porte sur les pratiques d'enseignements. Or, pour analyser ces pratiques en relation avec l'autonomie, il m'a été nécessaire de caractériser au préalable un élève autonome en physique. En l'absence de cadre adéquat, j'ai été amenée à construire le cadre AtA2d. Dans la partie suivante, je reviens à la question des pratiques par la question des leviers pour travailler l'autonomie et stratégies d'enseignement. Par levier, j'entends ce qui sert à soulever, à mouvoir, à surmonter quelque résistance (dictionnaire Larousse). C'est pourquoi ce terme est préféré à « conditions », « facteurs » ou « variables pédagogiques » afin de mieux décrire l'implication de l'enseignant dans le processus visant à développer l'autonomie des élèves.

2.5. Leviers et stratégies pour favoriser la construction de l'autonomie des élèves en classe : rôles de l'enseignant

Dans cette partie, j'explore la littérature portant sur les pratiques enseignantes favorisant le développement de l'autonomie des élèves. Les recherches mettent en avant le rôle essentiel de l'enseignant (Ravestain, 1999 ; Jang et al., 2010 ; Basten et al., 2014 ; Reeve et Halusic, 2009 ; Reeve et al., 2014, 2021 ; Berger et Girardet, 2016 ; Patall et al., 2018 ; Vorholzer et Aufschnaiter, 2019 ; Zhang et al., 2020 ; Xu et al., 2021 ; Quéré et al., 2022, etc.). En analysant ces rôles, j'ai identifié trois entrées que je développe ci-dessous : le choix des ressources, le soutien organisationnel, la quantité et qualité de guidages, etc.

Je termine cette partie par une discussion autour des freins et difficultés rencontrées par les enseignants pour développer l'autonomie des élèves et j'évoque la nécessité du développement professionnel.

2.5.1. Entrée par les ressources

Le choix d'une ressource⁴⁴ pourrait constituer un des leviers à mobiliser par l'enseignant susceptible de soutenir le développement de l'autonomie des élèves. Avec le nombre croissant de ressources disponibles en ligne, il n'est pas évident pour un enseignant de choisir et d'identifier les « bonnes » ressources développant l'autonomie des élèves en classe. Ainsi, ce levier (choisir une ressource parmi les existantes) se situe en amont de la mise en œuvre d'un enseignement.

En didactique de la chimie, El Bilani et al. (2007) ont fait l'hypothèse qu'une ressource mobilisant un simulateur permet l'expression de l'autonomie. Ces auteurs avancent que la formulation des questions dans les ressources pourrait impacter la motivation des élèves tout au long de leur activité et notamment sous son aspect cognitif (Small et Venkatesh, 2000).

En didactique des mathématiques, Gueudet et Lebaud (2018, 2019b) proposent une grille d'analyse permettant de « mesurer » la richesse d'une ressource existante⁴⁵ ainsi que la place accordée potentiellement à l'autonomie. Cette grille se compose de cinq entrées :

1. la ressource propose une description claire et riche pour le professeur ;
2. la ressource est facile à prendre en main et adaptable ;
3. l'utilisation du numérique est pertinente et cohérente avec l'activité⁴⁶ prévue ;
4. le contenu disciplinaire de la ressource est riche du point de vue didactique ;
5. l'activité proposée peut favoriser l'autonomie pédagogique transversale des élèves.

Pour chaque catégorie, une liste de critères a été construite. Les catégories 1, 2 et 5 comportent des critères communs à toutes les disciplines scolaires. Quant aux autres catégories, elles ont été adaptées à différentes disciplines telles que la physique et l'anglais (Quéré et al., 2022).

⁴⁴ Il faut entendre « ressource » en tant que « tout ce qui est susceptible de re-sourcer le travail du professeur » (Adler, 2010). Ainsi une ressource peut être matérielle, une copie d'élève, ou humaine, un échange avec un collègue. À cela s'ajoutent également les ressources numériques (forme audio ou vidéo) etc. J'utilise cette définition sans pour autant mobiliser, dans cette partie, le cadre de l'approche documentaire du didactique (Gueudet et Trouche, 2021). Pour autant, c'est un cadre qui pourrait, dans des recherches futures, apporter un approfondissement à cette entrée.

⁴⁵ La grille est créée dans le cadre du projet de eFRAN IDEE (Interactions Digitales pour l'Éducation et l'Enseignement), plus précisément le volet CERAD (Collectifs Enseignants et Ressources pour l'autonomie des élèves).

⁴⁶ Le terme « activité » dans les titres de catégories est employé au sens de l'institution Éducation nationale et non au sens ergonomique.

2.5.2. Soutiens à l'autonomie : liens avec la théorie de l'auto-détermination (SDT)

Dans cette partie, je présente quelques études se basant sur la SDT (§. 2.2.1), et suggèrent des conditions et stratégies qui aidant l'enseignant à développer l'autonomie des élèves. Reeve et al. (1999) étudient la manière dont les enseignants peuvent favoriser l'autonomie dans leur enseignement et l'influence de ces pratiques sur la motivation des élèves. Ces auteurs catégorisent le style motivationnel des enseignants comme « style contrôlant » et transmissif versus « style favorisant l'autonomie ». Reeve et al. (1999) donnent des conseils sur le style soutenant l'autonomie qui se définit par les pratiques d'enseignement : adoptant le point de vue des élèves, faisant preuve de patience pour laisser le temps d'apprendre, nourrissant les ressources de motivation intrinsèque, fournissant des justifications explicatives, s'appuyant sur un langage non contrôlant et reconnaissant voire acceptant les expressions d'effet négatif, offrant le choix aux élèves pour s'organiser et décider avec qui ils souhaitent travailler. Stefanou et al. (2004) approfondissent un point présenté par Reeve et ses collègues et notamment celui en lien avec les aspects organisationnels qui ne doit pas se limiter à donner le choix aux élèves. En effet, Stefanou et al (2004) soulignent la nécessité de faciliter la prise d'initiative qui relève du domaine cognitif tout en aidant l'élève à construire son propre raisonnement. Stefanou et al (2004) ont mené 84 observations et ont filmé des classes de mathématiques pendant 8 mois aux États-Unis. L'analyse de l'ensemble de données les conduit à distinguer trois soutiens à l'autonomie :

- soutien organisationnel consistant à encourager les élèves à décider avec qui ils souhaitent travailler, à choisir leur place dans la salle de classe ;
- soutien procédural dans lequel les élèves peuvent par exemple, choisir et gérer leur propre matériel expérimental ;
- soutien cognitif où les élèves peuvent trouver de multiples solutions aux problèmes par eux-mêmes, recevoir des informations en retour et bénéficier d'un soutien du professeur dans la réévaluation de leurs erreurs.

Stefanou et al. (2004) mettent l'accent non seulement sur le soutien organisationnel mais insistent sur le soutien cognitif qui, selon eux, mène véritablement les élèves à s'investir dans leurs apprentissages. Les résultats de ces travaux sont mobilisés pour mener des études en classe de sciences et notamment sur la thématique du mouvement lors des activités types IBSE où l'engagement cognitif des élèves est plus significatif (Furtak et Kunter, 2012). Ces auteurs classent l'aide à l'autonomie en classe de sciences selon deux catégories : un soutien à

l'autonomie procédurale où les élèves peuvent choisir et gérer leur propre matériel expérimental et un soutien à l'autonomie cognitive où les élèves peuvent trouver plusieurs solutions aux problèmes par eux-mêmes. De leur côté, Ramnarain et Hobden (2015) mettent en avant une approche centrée davantage sur l'élève que sur l'enseignant dans le domaine de l'investigation scientifique. À partir d'entretiens et d'observations de classe, les auteurs formulent des propositions afin de guider les enseignants dans l'utilisation de stratégies de soutien appropriées pour orienter les élèves vers une autonomie dans la réalisation des investigations.

D'autres recherches ont mis l'accent sur les soutiens à l'autonomie, en se basant sur la théorie de l'auto-détermination, et les effets positifs sur : la motivation (Reeve et Halusic, 2009), les performances des élèves en sciences (Tan et al., 2023) ; l'engagement des élèves dans des tâches en classe de physique (Zhang et al., 2020) ; la réussite en mathématiques (Xu et al., 2021).

Le développement de l'autonomie peut être associé aux interactions lors des situations d'enseignement et d'apprentissage d'une façon générale. Dans le contexte de la SDT, les pratiques auxquelles recourent les enseignants pour interagir avec les élèves et les motiver sont dénommées « styles interpersonnels » (Deci et al., 1981 ; Reeve et Cheon, 2021). Ainsi Zougkou et al. (2017) soulignent que l'intonation vocale dans le style interpersonnel peut constituer un soutien à l'autonomie. Cette attitude montrant que l'enseignant prend en compte les élèves et se met en position égalitaire vis-à-vis d'eux (Cheon et al, 2019) peut constituer un support à l'autonomie (Reeve et Chelon, 2021).

2.5.3. Qualité et quantité de guidage dans les interactions

Une autre approche reliant les interactions et l'autonomie a été introduite par Vorholzer et Aufschnaiter (2019). Il s'agit d'examiner, lors d'enseignements basés sur l'investigation dans une classe de physique, l'impact des interactions en termes de quantité et de qualité de guidage entre enseignants et élèves sur le développement de l'autonomie de ces derniers. Pour cela, ils mobilisent un cadre théorique tri dimensionnel (Figure 18) qui permet de comprendre les effets de guidage (avec des acceptions multiples) mis en œuvre par les enseignants.

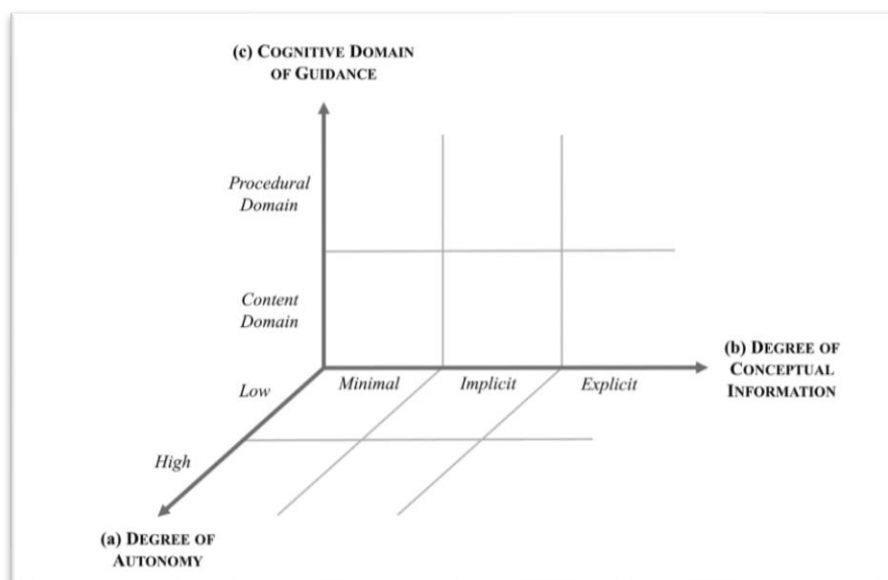


Figure 18: les trois dimensions de guidage lors des investigations en classe de sciences.

Les auteurs soulignent que la quantité et la qualité de guidage, domaine de recherche peu exploré selon eux, dépendent :

- 1^{ère} dimension : du degré d'autonomie étroitement lié au nombre d'occasions dont disposent les élèves pour prendre des décisions individuelles. Cela peut aller d'un degré d'autonomie important à un degré faible. Ce degré d'autonomie peut varier selon différentes phases d'investigation (Blanchard et al., 2010) ;
- 2^{ème} dimension : du degré d'informations conceptuelles fournies par le professeur lors des investigations menées par les élèves, soit explicitement (avec étayage), soit implicitement, soit minimal (avec essai-erreur, sans aucun feedback de la part de l'enseignant). Cette deuxième dimension est en lien direct avec le contenu ou ce que Sandoval et Reiser (2004), voire Van Riesen et al. (2018), appellent « content domain ».
- 3^{ème} dimension : composée de deux domaines cognitifs, le « procedural domain » qui correspond à la mise en œuvre des compétences de recherche scientifique et le « content domain » qui nécessite de sélectionner des connaissances spécifiques à la thématique en question (Sandoval et Reiser, 2004 ; Van Riesen et al., 2018).

Il me semble que penser la qualité et la quantité de guidage peut aider les enseignants à surmonter les difficultés en lien avec la gestion des dilemmes liés aux interactions, comme soulignées par Olsen et al. (1996). De plus, nous partageons le point de vue de Furtak et Kunter (2012) qui proposent de s'appuyer sur l'approche communicative de Scott et al. (2006), en

classe de sciences, ciblant le besoin d'alternance entre deux types de discours de l'enseignant (discours autoritativ vs discours dialogique) pour le développement de l'autonomie des élèves.

2.5.4. Discussion

Une esquisse de synthèse des recherches sur le rôle de l'enseignant dans le développement de l'autonomie en classe m'amène à identifier plusieurs leviers. Ils opèrent en amont ou durant le déroulement de la tâche.

- Le support de l'activité qui définit la tâche de l'élève est choisi par l'enseignant et constitue un levier en amont de la tâche ;
 - o cette tâche laisse plus ou moins d'occasions de prendre des décisions seuls (degré d'autonomie).
- Les leviers pour influencer sur l'activité de l'élève peuvent être :
 - o organisationnels (degré d'autonomie dans la gestion du déroulement de la tâche) ;
 - o procéduraux (aide à la structuration matérielle de la réalisation de la tâche) ;
 - o cognitifs (degré d'information conceptuel fourni).

Cette première catégorisation nécessite d'être affinée et approfondie avec des recherches empiriques tout en menant un travail sur l'arrière-plan théorique pour distinguer et définir les contours des termes comme : guidage, soutien, support, stratégie, levier etc. Dans la littérature, les définitions de guidage et de soutiens à l'autonomie, si elles sont données, présentent un haut niveau de généralité et sont parfois une traduction littérale des termes anglais. Illustrons nos propos avec ces deux définitions :

- pour Deci et Ryan (2000), "autonomy support"⁴⁷ renvoie au fait qu'une personne en position d'autorité (par exemple, un enseignant) adopte le point de vue de l'autre (par exemple, un élève), reconnaît les sentiments de l'autre et lui fournit des informations

⁴⁷ The concept of autonomy support means that an individual in a position of authority (e.g., an instructor) takes the other's (e.g., a student's) perspective, acknowledges the other's feelings, and provides the other with pertinent information and opportunities for choice, while minimizing the use of pressures and demands. (Black et Deci, 2000, p.742)

pertinentes et des possibilités de choix, tout en minimisant l'utilisation de pressions et d'exigences

- pour Berger et Girardet (2016), « le soutien à l'autonomie renvoie aux comportements de l'enseignant qui visent à identifier, nourrir et développer les ressources motivationnelles internes aux élèves » (p.132).
- pour Patall et Zambrano (2019), “autonomy support”⁴⁸ est un style personnel d'interaction dans lequel une personne (par exemple, un enseignant) tente de prendre le point de vue d'une autre (par exemple, un élève), en tenant compte de ses pensées, de ses valeurs et de ses perspectives pour guider son comportement.

En somme, les « définitions » de « autonomy supports » sont relativement différentes.

Quand il s'agit du développement de l'autonomie des élèves, différents termes sont employés et il me semble nécessaire de clarifier les arrière-plans théoriques qui ont conduit à ces choix pour différents auteurs. De plus, les soutiens à l'autonomie peuvent correspondre soit à ce que j'appelle des leviers, soit à des stratégies, soit à des attitudes et des comportements de la part de l'enseignant. Un des prolongements de ce travail consiste à revoir la littérature scientifique faisant appel à ces termes pour pouvoir comprendre ce qu'ils englobent.

Ce travail est également rendu nécessaire par les différences entre les langues. En Anglais, on trouve des expressions de façon récurrente qui renvoient aux rôles de l'enseignant : « autonomy support » (Black et Deci, 2000 ; Deci et al., 2006 ; Reeve, 2009 ; Aelterman et al., 2016) ; autonomy supportive (Furtak et Kunter, 2012 ; Aelterman et al., 2013 ; Cheon et al., 2018 ; Reeve et Cheon, 2016, 2021) ; supporting autonomy (Stefanou et al., 2004 ; Patall et Zambrano, 2019). Il n'est ni simple de traduire ces termes ni de trouver leur équivalent en français s'ils existent. Par exemple, Gueudet et Lebaud (2019a) parlent de situations favorisant l'autonomie, quand Berger et Girardet (2016) utilisent le terme soutien.

⁴⁸ Autonomy support is a personal interaction style in which one person (e.g., a teacher) attempts to take the perspective of another (e.g., a student), considering their thoughts, values, and perspectives to guide behavior (p. 115-116).

Ces leviers peuvent rencontrer des freins capables d'entraver le développement de l'autonomie.

Ils sont dus à :

- un enseignement traditionnel avec un style contrôlant (Reeve, 2002 ; Deci et Ryan, 2008 ; Reeve, 2009) amenant les élèves à avoir du mal à prendre des initiatives et à s'engager ;
- la difficulté de trouver un équilibre entre, d'une part, laisser du temps pour que les élèves s'organisent et avancent dans la tâche et, d'autre part, garder du temps pour compléter le contenu et institutionnaliser les savoirs (Zhang et al., 2020) ;
- la perception de l'enseignant de son propre manque d'autonomie dans son environnement de travail (Bennett et al., 2016) qui pourrait l'empêcher de mettre en œuvre des stratégies de soutien à l'autonomie. Ce point est également mentionné dans les travaux de Robertson et Gail Jones (2013) mettant en avant le besoin des enseignants d'avoir une certaine liberté pédagogique ;
- la gestion de classe. Bergeret et Girardet (2016) mettent l'accent sur le fait que la gestion de classe dépend des croyances des enseignants sur l'intérêt de travailler l'autonomie de leurs élèves ainsi que de leur vision de la discipline qu'ils enseignent ;
- la mise en œuvre d'un guidage modéré. Vorholzer et Aufschnaiter (2019) ont constaté qu'un guidage modéré est plus efficace pour développer l'autonomie qu'un guidage excessif ou insuffisant ;
- le manque de supports d'activités adéquates, c'est-à-dire dans les termes de notre recherche, un manque de ressources (Robertson et Gail Jones, 2013) ;
- le manque de matériel dans les laboratoires de physique (Robertson et Gail Jones, 2013 ; Le Bouil et al. (2019).

Patall et Zambrano (2019) mettent en avant que les difficultés rencontrées par les enseignants pour développer l'autonomie des élèves sont en lien avec le manque de formation. Quant à Reeve et Cheon (2021), ils soulignent qu'une grande partie des enseignants ayant suivi des formations en lien avec le développement de l'autonomie sont mieux équipés et arrivent à soutenir l'autonomie de leurs élèves. En somme, Reeve et Cheon (2021) explicitent que la formation peut jouer un rôle clé, pour les enseignants, dans le soutien du développement de

l'autonomie de leurs élèves. Cela étant, la culture et la croyance des enseignants peuvent limiter l'impact sur les pratiques pédagogiques.

Pour leur part, Pataill et Zambrano (2019) insistent aussi sur les retombées positives auprès des enseignants suivant des formations sur le développement de l'autonomie. Or, les résultats concernant leurs effets montrent qu'elles sont limitées et manquent d'efficacité en raison de leur courte durée et du manque d'importance accordée au contenu.

2.6. Contribution du cadre AtA2d à l'analyse des pratiques enseignantes développant l'autonomie des élèves en physique

Il découle de la partie précédente que certaines pratiques enseignantes sont plus ou moins propices au développement de l'autonomie des élèves. Dans cette partie, il s'agit de présenter, à l'aune du cadre AtA2d, une analyse des discours des enseignants sur les leviers, les pratiques et les stratégies d'enseignement, d'une part, et une présentation d'une grille d'analyse des ressources en physique, d'autre part.

2.6.1. Analyse de points de vue d'enseignants de physique sur les leviers à activer pour rendre un élève autonome

Dans toutes les données recueillies pour les études exploratoires auxquelles j'ai participé, les entretiens comportent plusieurs parties. L'une d'elles vise à caractériser ce qu'est un élève autonome en physique et une autre porte sur les leviers sur lesquels l'enseignant peut s'appuyer pour développer l'autonomie de ses élèves. Je nomme ce processus de développement : processus d'autonomisation.

Pour présenter ces études exploratoires, j'ai décomposé les publications. En effet, les analyses s'appuyant sur les deuxièmes parties des entretiens ont évolué au fur et à mesure de l'opérationnalisation du cadre AtA2d.

Au début de mes recherches (El Hage et al., 2021 ; El Hage et Maigret, 2022), je caractérisais les leviers en termes de pratiques enseignantes et non pas, comme c'est désormais le cas, en fonction de ce que la mobilisation de ce levier vise à développer du côté des élèves, sans distinction entre leviers et leurs mises en œuvre que je dénomme stratégies.

Par exemple, dans El Hage et Maigret (2022), on trouve le levier « gestion de l'erreur » que nous avons considéré comme levier du côté de l'enseignant relevant de la dimension psycho-affective :

« Un élève ne peut être autonome que s'il n'a pas peur de se tromper. Donc si vous voulez développer l'autonomie et la prise d'initiative, du coup, vous êtes obligé de travailler sur le statut

de l'erreur dans les cours... Le discours du professeur sur l'erreur doit être très clair vis-à-vis des élèves pour éviter justement cette peur de se tromper » (p. 11).

Aujourd'hui, je dirais que la gestion de l'erreur par l'enseignant est un levier visant à développer des caractéristiques relevant des dimensions psycho-affective et cognitive du côté des élèves.

Pourquoi avoir changé de point de vue ? En traitant les leviers uniquement sous l'angle des pratiques enseignantes, on perd de vue leurs usages et ce qu'ils permettent effectivement de développer chez l'élève.

Prenons, à titre d'exemple, cet extrait où j'évoque les leviers :

- « - Passation des consignes claires et explicites pour faire entrer tous les élèves dans la tâche ;
 - Vérification de l'appropriation des consignes : « Interroger un élève qui doit expliquer à la classe ce qu'il a compris des consignes. » suivi de « Il ne faut pas oublier la phase d'appropriation des consignes et vérifier que cette phase-là s'est bien passée pour l'ensemble des élèves ».
- (El Hage et Maigret, 2022, p.10) ;

En revisitant ainsi ce travail, je peux dire que le levier est plutôt « la consigne » et que ce que j'ai appelé leviers correspond, dans cette analyse, à des stratégies c'est-à-dire aux différentes façons dont un levier pourrait être utilisé. Ainsi, je propose de distinguer les leviers, qui permettent de faire bouger quelque chose, des différents moyens d'utilisation que je dénomme stratégies en suivant Legendre (1993). Ce dernier entend, par le terme stratégie, un ensemble d'opérations et de ressources planifiées ou décidées par l'enseignant, visant l'atteinte d'un but. Ainsi à un levier, correspondent des stratégies qui influencent des dimensions de l'autonomie de l'élève.

Comme nous l'avons vu précédemment (2.5.4) un des leviers possibles est la tâche proposée, associée à un déroulement prévu par l'enseignant. C'est ce levier spécifique, le scénario pédagogique, que nous allons maintenant analyser grâce à la grille AtA2d.

2.6.2. Opérationnalisation du cadre AtA2d pour élaborer des grilles d'analyse des scénarios pédagogiques en classe de physique

Dans le cadre du projet IDEE (El Hage et al., accepté), se pose la question de l'élaboration d'une grille d'analyse générale des ressources proposant un scénario qui mobilise le numérique pour développer l'autonomie des élèves. Comme exposée plus haut (§. 2.5.1), cette grille se compose de 5 catégories: (1) description de la ressource, (2) facilité de prise en main, (3) contenu et autonomie disciplinaire, (4) usage du numérique, autonomie disciplinaire et (5) autonomie transversale.

Les catégories 3, 4 et 5 de la grille d'analyse⁴⁹ des ressources de type scénario de classe sont reliées à l'autonomie, c'est pourquoi je les présente ci-dessous. Pour rappel, la catégorie 5 renvoie à l'autonomie transversale, quant aux catégories 3 et 4, elles incluent aussi bien des critères communs à toutes les disciplines que des critères spécifiques en lien avec l'autonomie disciplinaire. Ainsi, nous avons fait le choix de prendre appui sur le cadre AtA2d pour l'élaboration d'indicateurs en lien avec ces catégories.

Je souligne que dans El Hage et al. (accepté), chaque catégorie renvoie à plusieurs critères. Pour la suite, je remplace le terme critère, étymologiquement lié à l'idée de jugement (du grec *kritêrion*, de *krinein*, juger), par indicateur car dans les évolutions du cadre, je pense qu'indicateur (renseigner, informer) correspond mieux à la dimension prise d'information sur un élève à un moment donné.

Catégorie 3 : Le contenu disciplinaire est riche du point de vue didactique

Cette catégorie dédiée aux contenus de savoir en jeu inclut des analyses didactiques qui ne concernent ni l'autonomie (adéquation des tâches proposées aux objectifs fixés par exemple), ni des éléments directement liés à l'autonomie disciplinaire. Cette catégorie contient ainsi des indicateurs communs à toutes les disciplines et des indicateurs spécifiques à la physique (El Hage et al., accepté).

En physique, comme en mathématiques (Gueudet et Lebaud, 2019b), nous distinguons deux types de ressources : celles concernant une situation de recherche (en lien avec l'autonomie d'acquisition) et celles concernant une situation d'entraînement (autonomie de mobilisation). Les indicateurs spécifiques dans cette catégorie sont fortement liés aux aspects épistémologiques de la physique d'une part, et aux multiples dimensions de l'autonomie disciplinaire d'autre part. Ainsi, pour élaborer les indicateurs de cette catégorie, le modèle AtA2d nous a été d'une grande utilité (Tableau 10).

D'autres indicateurs sont en lien direct avec les programmes comme le travail de compétences (expérimentales et méthodologiques) spécifiques à la physique ou à l'investigation scientifique.

⁴⁹ A chaque fois que le terme INEG se trouve entre parenthèses dans des catégories de la grille, cela indique que l'indicateur prend en compte les inégalités éducatives.

3. Le contenu disciplinaire de la ressource est riche du point de vue didactique	
Les contenus disciplinaires correspondent bien aux objectifs et prérequis annoncés	
Des productions demandées aux élèves permettent au professeur d'accéder à leur cheminement	
La ressource comporte des critères permettant à l'enseignant une évaluation formative	
Indicateurs spécifiques à la physique ci-dessous	
Cas 3.1 : situation de recherche	Cas 3.2 : situation d'entraînement
La situation proposée nécessite de chercher des informations dans différentes ressources [Informationnelle]	
La situation proposée nécessite d'utiliser du matériel habituellement disponible dans le labo de physique [Technique]	
La situation proposée nécessite que l'élève/les élèves s'organise sans le professeur pour réaliser une expérience (montage, relevé des valeurs, tracé de la courbe) en suivant un protocole fourni [Méthodologique]	
La situation proposée nécessite de mettre en place un processus de modélisation [Cognitive]	
La situation proposée utilise divers registres de représentation et des conversions de registres [Cognitive]	
La situation proposée contient des éléments permettant l'auto-évaluation [Méta-cognitive]	
La situation proposée nécessite de coopérer avec les autres pour la résoudre [Sociale]	
La situation proposée permet de faire des exposés devant les autres [Sociale]	
La situation proposée permet à l'élève d'utiliser différentes stratégies, il y a plusieurs solutions possibles [Cognitive]	La situation permet de travailler individuellement des automatismes (savoir-faire expérimental, etc.) [Technique]
La situation proposée permet à l'élève de mener une investigation [Cognitive]	
La situation proposée nécessite que l'élève s'organise sans le professeur pour proposer un protocole expérimental [Cognitive, méthodologique]	

Légende : Les dimensions de l'autonomie sont ajoutées entre crochets pour chacun des indicateurs spécifiques

Tableau 10: ensemble des indicateurs de la catégorie 3 dont ceux qui sont spécifiques pour l'analyse de la richesse didactique d'une ressource en physique, réalisé à partir de Quéré et al. (2022) et El Hage et al. (accepté).

Catégorie 4 : L'utilisation du numérique est pertinente et cohérente avec l'activité prévue (numérique)

Dans cette catégorie, il s'agit de voir d'une part si l'usage du numérique est en cohérence avec les objectifs visés et, d'autre part, si le numérique apporte une plus-value. Il y a ainsi des indicateurs reliant l'usage du numérique et l'autonomie didactique disciplinaire (Tableau 11).

4.L'utilisation du numérique est pertinente et cohérente avec l'activité prévue	
Le numérique est nécessaire pour l'atteinte de l'objectif annoncé	
Le numérique permet au professeur de prendre en compte la diversité : par exemple diversifier son parcours (INÉG)	
Dans le cas où un travail est prévu à la maison, celui-ci peut se faire avec un smartphone (INÉG).	
Le numérique permet au professeur d'accéder au travail des élèves et/ou de le montrer à la classe.	
Le numérique permet aux élèves d'effectuer différents essais et de tester leur validité.	
Eléments spécifiques à la physique ci-dessous	
4.1 L'activité peut être faite sans le numérique	4.2 L'activité ne peut pas être faite sans le numérique
Le numérique aide à voir les limites de validité d'un modèle en faisant varier les paramètres [Cognitive]	
Le numérique permet aux élèves d'échanger ou de travailler collectivement en physique [Sociale]	
Le numérique fournit des représentations dans différents modèles [Cognitive]	
	Le numérique facilite la mobilisation/coordination de plusieurs registres sémiotiques en les affichant simultanément sur l'écran [Cognitive]
	Le modèle matérialisé informatisé permet la mise en relation entre le monde empirique et le monde théorique par les élèves [Cognitive]

Tableau 11: ensemble des indicateurs pour l'analyse de la pertinence de l'emploi du numérique en physique. Les dimensions de l'autonomie sont ajoutées entre crochets pour chacun des différents indicateurs spécifiques.

Catégorie 5 : L'activité⁵⁰ proposée peut favoriser l'autonomie transversale des élèves

Cette catégorie est dédiée à l'autonomie transversale. Les différents indicateurs prennent en compte les dimensions de l'autonomie ajoutées entre crochets dans le Tableau 12. Nous avons fait le choix de limiter chaque indicateur à deux dimensions majoritaires. Certains indicateurs de cette catégorie découlent de l'objectif de réduction des inégalités socio-éducatives à travers la mise à disposition d'aides variées pour les élèves : le fait que le professeur anticipe des aides concernant le contenu disciplinaire ou la prise en main du logiciel permet une forme de différenciation, et la progression de chacun à son propre rythme.

⁵⁰ Le terme « activité » dans les titres de catégories est employé au sens de l'institution Éducation nationale et non au sens ergonomique.

<i>5.L'activité proposée peut favoriser l'autonomie transversale des élèves.</i>
L'activité prévoit la possibilité de rythmes différents [Méthodologique, cognitive]
L'activité prévoit des aides en cas de difficultés [Informationnelle, cognitive]
Les aides proposées sont variées : textes, images, vidéos, etc. [Informationnelle] ;(INEG)
L'activité laisse à l'élève la possibilité de prendre des initiatives [Psycho-affective]
L'activité permet à l'élève de savoir si son travail est valide sans appeler le professeur [Méta-cognitive]
La ressource intègre un ou des supports pour l'auto-évaluation [Méta-cognitive]
Des aides sont fournies pour la prise en main du logiciel si besoin, et ces aides intègrent des éléments visuels [Technique] (INEG)
L'activité prévoit un recours à certaines formes de travail collectif [Sociale]
L'activité permet à l'élève de faire des choix pour personnaliser son parcours [Méta-cognitive]

Tableau 12: ensemble d'indicateurs permettant d'analyser si l'activité proposée favorise ou non l'autonomie transversale.

Notre grille d'analyse des scénarios en classe de physique est basée, en partie, sur le cadre d'analyse AtA2d et permet d'analyser des ressources types scénarios déjà disponibles ou d'en élaborer.

Elle pourrait ainsi servir d'outil pour choisir, modifier une ressource existante en physique et l'adapter ; elle pourrait aussi servir pour concevoir des ressources au sein d'ingénieries didactiques coopératives (comme des groupes SESAMES, cf. première partie de la note de synthèse).

2.6.3. Synthèse

En revisitant les publications El Hage et al. (2021) et El Hage et Maigret (2022), je me suis rendu compte de l'utilisation du terme levier pour évoquer ce que l'enseignant fait. Aujourd'hui, j'entends par levier ce qui sert à soulever, à mouvoir, à surmonter quelque résistance. Quant aux stratégies, cela renvoie aux différentes façons d'utiliser les leviers. Ainsi, on peut se trouver face à une diversité de stratégies pour un seul et même levier. De plus, la caractérisation des leviers se fait en s'appuyant sur ce qu'ils visent à développer du côté élève. Notons que l'expression soutiens à l'autonomie rencontrés dans la littérature (Berger et Girardet, 2016 ; Ravez, 2020) semble venir d'articles en anglais qui utilisent *autonomy support* ou *autonomy supporting*. Je crois que ces deux expressions ne sont pas synonymes et que la nuance est complexe à restituer en Français. C'est une des raisons qui m'ont amené à choisir des termes spécifiques comme leviers et stratégies etc. Les leviers et les stratégies peuvent renvoyer à une multitude de pratiques enseignantes qui potentiellement permettent de développer l'autonomie des élèves en classe de physique.

Bien que nos différentes études ne se basent que sur du déclaratif (concernant les pratiques d'enseignement des interviewés, leurs élèves), les résultats viennent enrichir la littérature actuelle en particulier celle évoquant les soutiens pour développer l'autonomisation des élèves. Le cadre d'analyse AtA2d permet d'envisager les leviers en les caractérisant selon des dimensions de l'autonomie qu'un enseignant de PC souhaite développer auprès de ses élèves.

Les difficultés de traduction et les arrières plans théoriques sous-jacents aux expressions « autonomy support » et « autonomy supportive » restent néanmoins à questionner et peuvent constituer un de mes futurs axes de recherche autour du cadre AtA2d.

Ce premier axe théorique et conceptuel visant à cerner d'un point de vue conceptuel le cadre qui a émergé de mes recherches post-thèse devra être complété par un axe plus méthodologique visant à éprouver le AtA2d sur les pratiques effectives des enseignants.

2.7. Synthèse et discussion générale

Dans cette deuxième partie de ma note de synthèse, j'ai présenté un cadre d'analyse à l'intersection de la didactique, des sciences de l'éducation et de la psychologie. Il permet de caractériser ce qu'est un élève autonome.

Le cadre d'analyse AtA2d s'appuie sur des lectures théoriques existantes et quelques recherches empiriques. AtA2d a fait ses preuves et semble relativement robuste : indépendant du niveau scolaire (secondaire et supérieur), du type de données (déclaratif des enseignants, analyse de support pédagogiques, documents institutionnels) et de la méthode (analyse de ressources, de discours...).

Un autre intérêt du cadre d'analyse est sa potentialité à apporter une lecture des prescriptions permettant une meilleure compréhension des difficultés de transformation des pratiques. Furtak et Kunter (2012) précisent qu'ils sont en accord avec Blumenfeld et al. (1991), Hardy et al. (2006) et Mayer (2004), quand ils affirment

« que le principal défi posé par les approches pédagogiques axées sur la réforme [de l'approche par résolution de problèmes] ne provient pas des fondements théoriques sur lesquels elles reposent, mais plutôt d'interprétations et de mises en œuvre incomplètes ou imprécises de l'autonomie que les étudiants devraient se voir accorder dans ces contextes d'apprentissage. » ([traduction personnelle], p.285)

Je pense donc que le cadre d'analyse AtA2d pourrait servir également d'entrée complémentaire lors de recherches en lien avec des enseignements de type IBSE (Inquiry Based Science Education). En effet, ce cadre aiderait l'analyse des difficultés liées à l'autonomie mises en avant par Furtak et Kunter (ibid.).

L'autonomie peut donc être un moyen, comme nous venons de le signaler, mais aussi un but, un objectif. Dans les situations d'enseignement et d'apprentissage de la physique, l'enseignant peut favoriser le développement de l'autonomie chez ses élèves à l'aide de stratégies et de leviers de différentes natures. Comprendre les pratiques enseignantes favorisant l'autonomie pourrait se faire en combinant le cadre AtA2d à d'autres éléments théoriques comme : les interactions didactiques (Weil-Barais et Dumas-Carré, 1998) ou l'analyse en termes de communication (Mortimer et Scott, 2003). Ces compléments articulés avec le cadre AtA2d permettront de déterminer la dimension de l'autonomie que l'enseignant souhaite développer auprès des élèves lors de l'activation des leviers. C'est en cela que notre cadre d'analyse apporte une vision complémentaire par rapport à ce qui existe dans la littérature. En utilisant l'approche instrumentale (Rabardel, 1995), une piste pourrait être de considérer les leviers pour l'autonomie comme des artefacts conceptuels et d'en analyser les genèses instrumentales. Les stratégies pourraient être, alors, interprétées en termes de schèmes d'actions. Un autre point de vue pour regarder cette question pourrait également être fourni par l'approche documentaire ; les leviers seraient alors des ressources au sens de ce cadre.

Enfin, il me semble que le cadre d'analyse AtA2d est pertinent pour penser des programmes de formation selon les spécificités de chaque discipline. En « sciences » par exemple, l'autonomie est en lien avec les démarches d'enseignement adoptées notamment celles recourant à des activités expérimentales. L'étude de Robertson et Gail Jones (2013), comme celle de Le Bouil et al. (2019), rappelle que l'autonomie des élèves dépend fortement de l'accès au matériel et matériaux nécessaires aux activités de laboratoire.

Partie 3. Perspectives

Dans mes recherches, j'ai rencontré des enseignants et enseignants-chercheurs de physique indiquant que les situations d'enseignement échouaient souvent à cause de l'absence d'autonomie des élèves ou étudiants. Ainsi, la question de l'autonomie influencerait sur les processus d'enseignement apprentissage. Cela m'amène à m'interroger sur la contribution possible du cadre d'analyse AtA2d aux recherches en didactique de la physique. Ce cadre pourrait donc se combiner à l'analyse didactique sur des situations d'enseignement, d'étude⁵¹ et d'apprentissage en classe de physique.

En effet, Caillot (2001) écrit que la « modélisation » purement cognitive de l'élève a ses limites : « la réalité de l'enseignement et du processus d'enseignement-apprentissage bute sur la réalité des élèves et sur la réalité des professeurs ». Cela veut dire que malgré des situations bien pensées en didactique, une rupture existe encore entre les résultats des travaux de recherche et leur mise en œuvre effective dans les classes et dans les pratiques professionnelles des enseignants (Boilevin, 2012, p.15). Des questions se posent du côté des enseignants comme de celui des élèves : d'où viennent ces difficultés ? est-ce un problème d'efficacité et/ou de pertinence de la recherche ? s'agit-il d'un problème de diffusion des résultats des travaux de didactique de la physique ? est-ce un problème de formation des enseignants initiale ou continue ? s'agit-il de pratiques enseignantes non « efficaces » ne permettant pas aux élèves de mieux étudier la physique ? est-ce un problème d'engagement des élèves dans une tâche ? est-ce un problème de posture des élèves vis-à-vis de la physique ? Parmi l'ensemble des questions que l'on peut se poser, mon regard se porte sur l'élève. Ainsi, cela m'amène à questionner la place d'une analyse portant sur l'autonomie des élèves comme outil complémentaire à ceux utilisés en didactique de la physique. Les résultats pourront contribuer à une meilleure compréhension des raisons de l'écart existant entre résultats de recherche en didactique et réalité de la classe.

Dans cette même logique, la mise en œuvre d'une situation pensée par des chercheurs en didactique dans une classe dépend non seulement de l'enseignant mais également de l'élève.

⁵¹ Je me situe dans la continuité des travaux de Bécu-Robinault (2018) qui distingue les termes « étude » et « apprendre » en s'appuyant sur Chevallard (1995) pour qui « l'étudiant est un sujet agissant, reconnaissant l'intérêt du projet proposé par l'enseignant : l'élève agissant dans le système didactique devient un *étudiant* (et non un apprenant, le terme étudiant n'étant pas à prendre au sens commun en français) » (p. 12). Ainsi, l'apprentissage, de nature individuelle et privée, n'est qu'une inférence produite par le chercheur qui s'appuie sur l'activité des élèves. Donc, dans cette mouvance, il est possible de distinguer le rôle d'étudiant qualifié de « pratiques des élèves » des apprentissages qui sont, quant à eux, individuels, privés et invisibles directement.

La réalité de la classe fait que même une situation a-didactique en physique (situation où l'élève est rendu responsable de la tâche prescrite dont il connaît les critères de réussite) validée par la recherche peut ne pas permettre d'apprentissage dans certains cas. Prenons comme exemple la situation proposée par Morge et al. (2005) permettant d'aborder les principales caractéristiques des circuits électriques, simples, en série et en dérivation. Dans cette situation, les élèves cherchent les montages électriques cachés dans différentes « boîtes noires ». Seuls les interrupteurs et les lampes de ces boîtes sont visibles. Les élèves manipulent le(s) interrupteur(s) des boîtes et observent les effets de leurs manipulations sur la(les) lampe(s). À partir de ces observations, les élèves doivent retrouver la façon dont les différents composants du circuit sont assemblés dans les « boîtes noires ». Bien que la situation soit pensée et validée dans cette recherche, on pourrait imaginer une mise en œuvre plus ou moins difficile dans une classe ordinaire. Suite à la dévolution du jeu par l'enseignant à ses élèves, il pourrait arriver qu'un élève dans un groupe ou bien un groupe ne jouent pas le jeu attendu, ne s'impliquent pas dans l'activité (attendant la réponse sans chercher, cherchant à ouvrir la boîte noire...). Ces événements singuliers ne doivent pas remettre en question la situation en elle-même (conçue en faisant appel à des cadres didactiques, à l'épistémologie de la physique, etc.) mais pourraient être expliqués par d'autres éléments difficiles à capter avec la théorie des situations didactiques. Le refus de l'élève d'étudier, le contournement de l'obstacle conçu pour l'amener à apprendre, pourraient être analysés en termes de motivation, manque d'intérêt pour la physique, interactions sociales (composition du groupe), difficulté à mobiliser des savoirs qui existent pourtant, etc. donc des caractéristiques relevant de l'autonomie d'un élève selon le cadre AtA2d.

Tout d'abord, cela m'amène à interroger la nature du sujet étudié classiquement⁵² en didactique, élève épistémique versus le sujet présent en AtA2d. Ensuite, les projets développés actuellement sont présentés. Puis, les projets envisageables à moyen terme sont évoqués. Enfin, une réflexion théorique autour de l'autonomie clôt cette troisième partie de la note de synthèse.

⁵² Il existe, bien entendu, des travaux en didactique de la physique qui prennent en compte l'élève avec une coloration psychologique. Citons à titre d'exemple les travaux de Venturini (2006) portant sur l'implication des élèves dans leurs apprentissages en physique avec une entrée théorique « rapport au(x) savoir(s) ».

3.1. Recherches en didactique de la physique et le sujet épistémique

Pour Johsua et Dupin (1993), « à la base d'un enseignement de type scolaire, il y a la mise en relation de trois éléments : l'élève, le professeur, un savoir » (p. 4). Ces trois éléments sont souvent modélisés par le triangle didactique bien qu'on les trouve à des positions différentes dans ce triangle suivant les auteurs. Toute recherche didactique s'intéresse aux trois pôles et aux trois côtés les reliant dans le triangle, mais avec des priorités différentes suivant les chercheurs. Le pôle savoir est toujours présent mais plus ou moins explicitement. Le savoir peut faire l'objet d'une investigation épistémologique, historique, etc. Dans une grande partie des recherches, l'élève du triangle didactique peut sembler être réduit à un sujet épistémique (appelé, sujet, apprenant, ...).

Le sujet épistémique est en quelque sorte une construction théorique (Brousseau, 1988) différente de l'élève.

« Selon Legendre (2009), Piaget conçoit le « sujet épistémique » pour préciser « les structures d'actions ou de pensée communes à tous les sujets d'un même niveau de développement » et il l'oppose au « sujet individuel ou psychologique utilisant ces instruments de connaissance » (Lebaume, 2011, p.13).

Dans les recherches en didactique des sciences, Beaufiles (1998), comme Caillot (2001, p. 143), constatent que les recherches menées par les didacticiens des sciences considèrent l'élève comme un « sujet purement apprenant, sans sexe, ni origine sociale, ni famille ». Or, cela ne ressemble pas aux élèves présents dans une classe. Caillot (ibid.) défend la nécessité de le considérer comme un « *sujet apprenant* » à part entière et souligne : « si, comme la didactique doit le faire, elle s'intéresse à ce qui se passe dans la réalité de la classe, la question de l'élève, pris dans sa singularité, doit être posée ».

Nous partageons le point de vue de Venturini (2006). Pour réfléchir en didactique de la physique, il est nécessaire de réduire la complexité et les paramètres de la situation d'apprentissage. C'est ce qui justifie de travailler avec un élève épistémique. L'auteur ajoute que cette « modélisation très épurée » permet d'obtenir des résultats importants en didactique de la physique. Une fois les savoirs didactiques constitués, il me semble possible de réintroduire des paramètres afin de mieux se rendre compte de la réalité de la classe.

Pour répondre à ces besoins, le cadre AtA2d dépasse le sujet épistémique et prend en compte des éléments du sujet psychologique et motivationnel tout en faisant appel à des théories se situant dans des champs extérieurs à la didactique. La question de l'autonomie vient réinterroger le triangle didactique et l'enrichir (Figure 19).

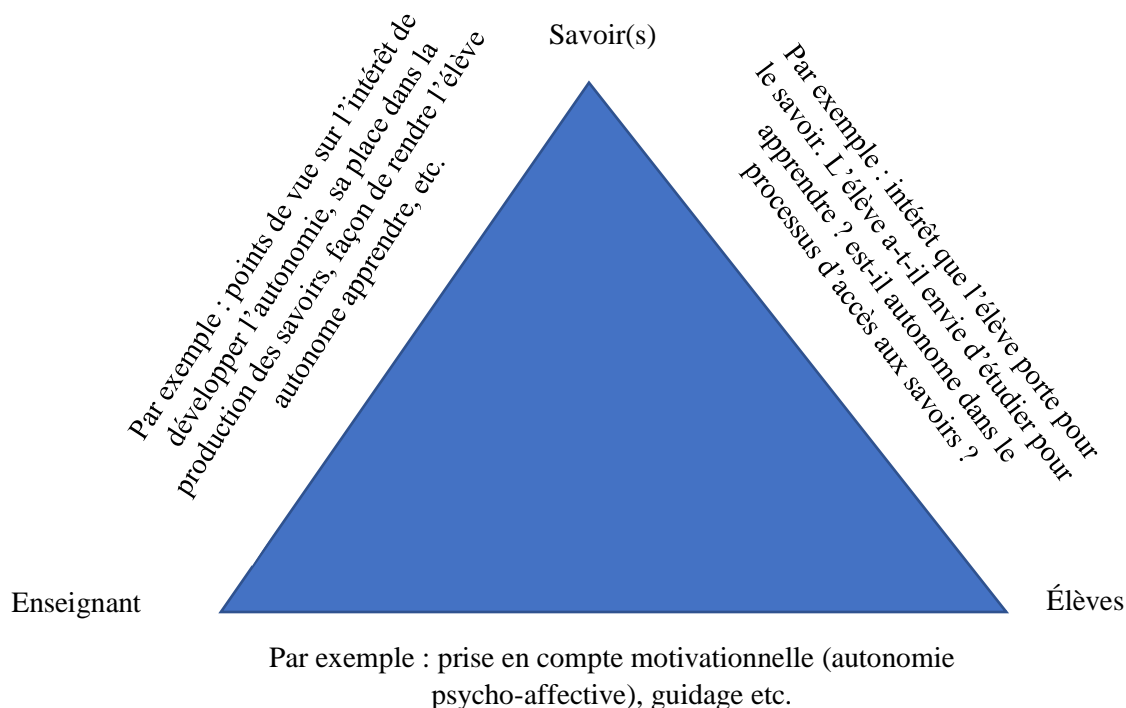


Figure 19 : exemples d'introduction des éléments du cadre AtA2D dans le triangle didactique

Partant du principe que les savoirs⁵³ ne sont pas considérés de la même manière par tous les élèves (Venturini, 2006), la prise en compte de l'élève comme pluridimensionnel permet de mieux comprendre, du point de vue didactique, ce qui se passe en classe en termes d'enseignement, d'étude et d'apprentissage. Par conséquent, le cadre AtA2d alliant didactique et aspects psychologiques permettrait de compléter des travaux de didacticiens portant sur un sujet épistémique. L'élève épistémique⁵⁴ ne se substitue pas à l'élève que Develay (1977) appelle « bio-psycho-social ».

Ainsi, en analysant des situations d'enseignement et d'apprentissage effectives en classe de physique, le cadre AtA2d apporterait des informations supplémentaires grâce à la prise en

⁵³ Cette écriture de « savoirs(s) renvoie à la fois au savoir (en général) et aux savoirs de la physique (savoirs spécifiquement disciplinaires).

⁵⁴ En fonction des auteurs, l'expression change entre « élève épistémique » et « sujet épistémique » (Beaufils, 1998 ; Caillot, 2001 ; Maury et Caillot, 2003 ; Venturini, 2006).

compte du côté psychologique de l'élève. Il me semble que le cadre d'analyse AtA2d, en s'appuyant sur la didactique de la physique et d'autres cadres théoriques comme la motivation, se situe dans la continuité de Méheut (2006) qui écrit :

« Les recherches en didactique visent à ouvrir des perspectives, à apporter des informations sur la faisabilité et les effets de différents types de démarches d'enseignement. Il s'agit, en s'appuyant sur d'autres disciplines, en particulier la psychologie, la philosophie et l'histoire des sciences et la linguistique, d'explorer les potentialités de divers types de ressources et de modalités d'enseignement, pour améliorer le confort des apprenants, leur motivation, leur plaisir d'apprendre, leur image des activités scientifiques et l'efficacité des dispositifs d'enseignement-apprentissage en termes de développement de compétences » (p. 55).

De ce fait, se pose la question de l'utilisation du cadre AtA2d pour comprendre, décrire et analyser les processus d'enseignement-apprentissage, sous l'angle de l'autonomie, en prenant en compte la diversité des élèves avec une coloration psychologique et sociale. Faire des recherches mobilisant le cadre d'analyse AtA2d en physique rejoint une des perspectives ouvertes par Tiberghien et Venturini (2023). Ces auteurs soulignent que peu d'études prennent en compte les aspects sociaux et culturels des élèves :

« The teacher's ways of dealing with the diversity of students in the same classroom, in culture, the mother tongue, socio-economic level, and performance level. Currently, this diversity has increased in many countries and constitutes a challenge for education and science education in particular. At the same time, too few studies focus on this topical challenge in our world » (p. 24-33).

Je partage le point de vue présenté dans des travaux de Venturini (2006) en didactique de la physique explicitant que les apprentissages des élèves dépendent des : (1) savoirs en question, (2) situations d'enseignement, (3) pratiques d'enseignement et (4) particularités des élèves. Mon hypothèse serait donc qu'AtA2d pourrait être utilisé comme un cadre d'analyse des situations didactiques, mobilisable à la fois dans l'analyse des pratiques des enseignants en classe de physique et dans le processus d'autonomisation des élèves dans le temps. Le travail sur cette hypothèse a été initié dans le cadre de travaux doctoraux et de projets des recherches. Ils mettent à l'épreuve le cadre AtA2d.

3.2. Travaux initiés : mise à l'épreuve du cadre d'analyse AtA2d

Cette section porte sur les travaux en cours. Dans ces travaux, le cadre AtA2d :

- est mobilisé autour de méthodes qualitatives et quantitatives auprès des enseignants de physique d'une part et de chimie d'autre part (§ 3.2.13.2.1) ;
- est mis à l'épreuve pour étudier des pratiques effectives, comprendre le lien entre les pratiques enseignantes et l'autonomie des élèves en classe de chimie (§.3.2.23.2.33.2.4)

3.2.1. Thèse de Darine El Hajjar en cours

Je co-dirige cette thèse avec le professeur Jean-Marie Boilevin depuis 2019. Le titre initial de la thèse est : représentations des enseignants libanais de physique et de chimie sur l'autonomie des lycéens : étude comparative entre la France et le Liban. Le sujet de thèse a été depuis réorienté vers une comparaison entre l'enseignement de la physique et de la chimie au Liban, car la situation épidémique n'a pas rendu possible le recueil de données en France. Cette réorientation est facilitée par le fait que les deux disciplines sont enseignées par des enseignants différents au Liban contrairement au choix institutionnel fait en France amenant un même professeur à enseigner physique et chimie, dans le secondaire.

Dans les recherches faisant appel au cadre d'analyse AtA2d, ce dernier a été testé uniquement à partir de données déclaratives et se focalisant sur le volet enseignement de la physique. Dans cette thèse, une première adaptation du cadre d'analyse AtA2d en chimie a été nécessaire pour prendre en compte les différences épistémologiques par rapport à la physique. L'épistémologie de la chimie occupe une place importante dans différents travaux en didactique de la chimie (Johnstone, 1991 ; Barlet, 1999 ; Kermen et Méheut, 2009, etc.). Par exemple, Barlet (1999) écrit que le langage en chimie navigue entre une double culture : le microscopique et le macroscopique. Le « passage de cette modélisation microscopique (on devrait dire plutôt nanoscopique » à la réalité macroscopique caractérise fortement l'épistémologie de la chimie » (Ibid., p. 26). Johnstone (1991) met en avant lui aussi les difficultés des élèves à naviguer entre macroscopique et microscopique en mobilisant des symboles. Depuis, les travaux de Johnstone (1991) ont subi des nombreuses évolutions (Kermen et Méheut, 2009 ; Mzoughi - Khadhraoui et Dumon, 2012 ; Canac, 2017, etc.). Au cours de ce travail doctoral, une première adaptation du cadre AtA2d en chimie sera nécessaire.

Dans cette thèse, il s'agira donc de parler de A2d dans deux disciplines proches c'est-à-dire d'une autonomie didactique disciplinaire en physique et d'une autonomie didactique disciplinaire en chimie. De plus, la doctorante examine, à l'aide de deux questionnaires, les points de vue des enseignants d'une part de physique et d'autre part de chimie exerçant en lycées publics au Liban selon trois axes :

- celui de l'enseignant et de ses attentes vis-à-vis de ce que serait un élève autonome ;
- celui des leviers qu'un enseignant peut activer pour développer l'autonomie des élèves en classe ;
- celui des situations plus concrètes faisant appel à des thématiques du programme de terminale scientifique sur l'autonomie de mobilisation et celle d'acquisition. Pour tenir compte des allègements des programmes pendant la période de Covid, trois thématiques sont retenues en physique : période propre d'une pendule élastique ; l'induction électromagnétique et la loi de conservation de quantité de mouvement de deux autoporteurs sur une table à coussin d'air. Concernant la chimie, la seule thématique retenue porte sur les facteurs cinétiques impactant les transformations chimiques.

Dans cette recherche, le cadre d'analyse AtA2d sera utilisé pour comprendre les pratiques déclarées par des enseignants de physique et de chimie que cela soit via les entretiens (guide d'entretien inspiré de celui développé par des chercheurs français) ou par questionnaire diffusé à grande échelle auprès des enseignants libanais exerçant en lycées publics.

Les intérêts de ce travail, avec un focus sur l'enseignant sans oublier les élèves et les savoirs, sont nombreux : (1) tester à grande échelle la robustesse du cadre d'analyse AtA2d à partir de données quantitatives⁵⁵ ; analyser les pratiques de classes déclarées sous l'angle de l'autonomie, ceci permettant d'identifier celles qui visent, directement ou non, l'autonomie et ainsi en analyser l'importance ; (2) obtenir un premier inventaire sur les manières de faire des enseignants de physique ou de chimie, pour développer les différents domaines de l'autonomie des élèves ; (3) éprouver le cadre AtA2d sur deux disciplines scolaires proches (appartenant au même domaine en France). Cela permettra ensuite de dégager d'éventuelles variations et similitudes dans la caractérisation de l'autonomie des élèves dans deux disciplines proches.

Un prolongement intéressant consistera à étudier, dans le déclaratif des enseignants, les différences faites entre l'autonomie en physique et celle en chimie dans le cas d'enseignants

⁵⁵ 217 professeurs de physique sur une population totale de 410, enseignant en terminale scientifique, ont complété intégralement le questionnaire entre janvier et mars 2023.

ayant une formation double (en France) et d'autres ayant une formation unique (au Liban par exemple où physique et chimie sont enseignées séparément au lycée). Rappelons qu'au Liban, comme en France, les prescriptions institutionnelles de physique et de chimie demandent aux enseignants un développement de l'autonomie des élèves. Ainsi, la question des programmes est la même qu'en France mais la dimension culturelle varie.

3.2.2. Thèse de Reine Mouchaham en cours

Je co-dirige cette thèse avec le professeur Fabien Emprin depuis 2021. Le titre du travail doctoral est : pratiques des enseignants de physique et de chimie, technologies numériques et autonomie des élèves.

Les recherches mobilisant AtA2d n'avaient, jusqu'à présent, pas concerné l'analyse de l'activité effective en classe. Reine Mouchaham cherche à comprendre les pratiques des enseignants utilisant des technologies numériques au prisme de l'autonomie dans des collèges publics au Liban. Le cadre AtA2d adapté pour la chimie, est utilisé comme un outil d'analyse des pratiques instrumentées au sens de Rabardel (1995). Pour cela, la double approche didactique et ergonomique (Robert et Rogalski, 2002) sera combinée à l'approche instrumentale et au cadre AtA2d.

Les données recueillies dans le cadre de cette recherche seront composées des entretiens (ante et post séances) et des vidéos de classe. Une des contributions de cette thèse est la mise à l'épreuve du cadre AtA2d dans un contexte d'analyse de pratiques réelles, constituée d'un matériau quadruple associé à la méthodologie de la double approche. En effet, s'ajoute à ces trois recueils une analyse didactique *a priori* de la situation, fondamentale dans ce type de travail. Ainsi plusieurs croisements s'opéreront entre les potentialités de la situation d'enseignement proposée, les déclarations de l'enseignant en amont et en aval de sa séance et les observations réelles. Il sera alors possible de vérifier si le cadre AtA2d permet la mise en relation de ces différents types de données, ainsi que la mise à jour de cohérences ou de tensions.

Dans cette thèse, la mobilisation du cadre AtA2d en chimie apporte de premiers résultats concrets sur la possibilité de dépasser le sujet épistémique dans les analyses didactiques. Cette recherche fixe les séances observées autour d'un seul logiciel utilisé à plusieurs reprises dans l'année. En réduisant le nombre de paramètres, il sera ainsi plus aisé de comprendre le processus d'enseignement et d'apprentissage et la place de l'autonomie.

En somme, ces deux thèses que je co-encadre s'appuient sur des éléments théoriques communs, les caractéristiques d'un élève autonome et des méthodologies différentes.

Une opportunité nouvelle offerte par ces travaux concerne la dimension culturelle. Rappelons que les instructions officielles au Liban, tout comme en France, incitent au développement de l'autonomie. Il serait intéressant de regarder les résultats de ces deux thèses sous l'angle de la culture (Reeve et Cheon, 2021).

« Les cultures varient dans leurs valeurs, leurs priorités, leurs idéaux et leurs définitions du succès, et les cultures utilisent ces aspirations pour définir attentes, établir des normes, prescrire des attitudes envers les autorités, légitimer les hiérarchies et communiquer ce qui est souhaitable et acceptable »⁵⁶ (Reeve et Cheon, 2021).

Une nouvelle hypothèse est que le cadre AtA2d devrait permettre de prendre en compte la dimension « culturelle » de l'autonomie. AtA2d pourrait servir comme arrière-plan théorique notamment les domaines sociaux et psycho-affectifs pour mener des études en physique tout en prenant en compte l'aspect culturel au même titre qu'un champ de la didactique des mathématiques s'intéresse spécifiquement à cette question : l'ethnomathématique qui met en avant le rapport entre mathématiques et cultures. Ne pourrions-nous pas ainsi penser ce que je pourrais appeler, peut-être abusivement pour l'instant, une « ethnophysique » ou une « ethnoautonomie » ?

3.2.3. Dispositif local « résidence de chercheur »

Ce projet est né d'une sollicitation par le rectorat de l'INSPE de l'académie de Reims pour animer des formations continues autour de l'autonomie. En effet, les corps d'inspection en SVT et PC adoptent le principe suivant : il est compliqué d'évaluer quelque chose de non enseigné. C'est ainsi que j'ai obtenu une résidence de chercheur⁵⁷ au sein de l'académie de Reims depuis 2021. Cette dernière me donne un accès privilégié à des classes et permet de commencer la mise à l'épreuve du cadre AtA2d en contexte réel : auprès d'élèves et d'enseignants. De plus, ce projet me permet d'accompagner des groupes d'enseignants de physique-chimie au collège et au lycée dont le projet d'établissement fait émerger la question de l'autonomie.

⁵⁶ « Cultures vary in their values, priorities, ideals, and definitions of success, and cultures use these inspirations to set expectations, establish norms, prescribe attitudes toward authorities, legitimize hierarchies, and communicate what is desirable and acceptable » (p.69)

⁵⁷ La résidence de chercheur est une convention entre l'Inspé de l'Académie de Reims et le rectorat de l'Académie de Reims.

En 2020-2021, pour objectiver le lien entre la vision des enseignants sur le développement de l'autonomie et les pratiques mises en œuvre, deux entretiens et deux séances ponctuelles sur la matière, notamment formes propres et volumes propres, ont été filmées auprès de deux enseignants volontaires en classe de 6^{ème} qui considèrent que « faire travailler [les élèves] en autonomie leur permet une meilleur apprentissage ».

Les deux enseignants (P1, P2) du même collège partagent leurs ressources. L'entretien avec P1 nous a permis de comprendre ce que l'enseignante considère être une séance de travail en autonomie. Il s'agit pour elle d'« une séance de travail complètement en autonomie, c'est-à-dire que là pour le coup bah ils n'ont pas besoin de moi, c'est-à-dire que vraiment ils vont avancer à leur rythme les activités qui sont proposées... En fait il va y avoir deux thèmes. C'est-à-dire que j'ai repris les deux thèmes sur lesquels on a travaillé la semaine dernière, une partie sur les réservoirs d'eau et puis une partie sur la notion de volume propre, forme propre et puis sur les schémas. Donc en fait ils pourront avancer sur le thème qu'ils choisissent, dans l'ordre qu'ils veulent ». P2 a procédé de la même façon que P1 pour la mise en œuvre de la séance. Cependant pour P2, l'autonomie est un outil sur lequel elle peut s'appuyer pour gérer l'hétérogénéité des élèves.

Pour ces deux enseignantes, le numérique (résoudre des exercices individuels en se servant d'une tablette) aide à développer l'autonomie des élèves. De plus, elles mentionnent une méthode pédagogique précise pendant l'entretien (plan de travail)⁵⁸. Cette approche pédagogique développée par Raymond, Barry et Plourde (2019) semble être utilisée par certaines académies (Toulouse⁵⁹, Versailles⁶⁰, Aix-Marseille⁶¹)

Ce premier travail permettait d'exploiter AtA2d comme grille d'analyse pour comprendre les pratiques dans une séance de classe. Les premières analyses contribuent à réfléchir aux pratiques et/ou aux freins du développement de l'autonomie des élèves en classe de PC. Or, le développement de l'autonomie relève du long terme. C'est pourquoi il nous semble pertinent de réaliser une étude longitudinale des pratiques en lien avec le développement de l'autonomie

⁵⁸ Le plan de travail est un outil pédagogique élaboré par l'enseignant et communiqué aux élèves permettant de planifier le travail à effectuer sur la durée, d'explicitier le travail dans des temps prédéfinis. J'ai constaté que l'expression plan de travail est accompagnée souvent du terme autonomie.

⁵⁹ <https://view.genial.ly/5ed80a8a23f1c90d9609a39e/presentation-plan-de-travailacademie-toulouse>

⁶⁰ <https://phychim.ac-versailles.fr/spip.php?article1311>

⁶¹ https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/jcms/c_10742135/fr/le-plan-de-travail-un-outil-de-differenciation-au-service-des-apprentissages

et de l'apprentissage des élèves. Il s'agit d'identifier les pratiques effectives mais aussi les pratiques potentielles non mises en œuvre. Pour cela, en compagnie de collègues du secondaire de physique-chimie, nous organisons pour la rentrée 2023-2024 un travail longitudinal consistant à étudier l'évolution de l'autonomie didactique des élèves de seconde en fonction des pratiques ordinaires⁶² de trois enseignants mobilisant des plans de travail. Il s'agirait de réaliser des observations et des vidéos régulièrement pendant l'année scolaire 2023-2024 dans des classes des enseignants évoquant le plan de travail comme un outil faisant appel à l'autonomie des élèves et permettant en même temps de la développer. Nous serons amenés à choisir les élèves suivis sur l'année ainsi AtA2d pourrait permettre de construire des catégories d'élèves dont ils seront les représentants.

Les résultats de cette recherche permettront d'objectiver le lien entre la vision des enseignants, membres du groupe, sur le développement de l'autonomie et les pratiques de plan de travail mises en œuvre sur le développement de l'autonomie des élèves.

3.2.4. Projet EDEA (Écrits Des Élèves et Autonomie)

Depuis septembre 2021, un groupe de travail interne au laboratoire Cérep associant des didacticiens (sciences premier degré, physique et géographie) est né à mon initiative. Ce groupe se compose de cinq enseignantes-chercheuses. Notre recherche vise à mener des enquêtes qualitatives autour des pratiques ordinaires des enseignants sur les écrits produits avec les élèves. Il s'agit, avec une entrée disciplinaire, d'analyser les interactions didactiques (Scott et Mortimer, 2006) en relation avec les traces, individuelles ou collectives, soutenant le développement de l'autonomie. En effet, notre hypothèse est que la production des écrits par les élèves en classe (quelle que soit la discipline) est liée aux tâches prescrites de manière générale et aux questions posées par l'enseignant et ainsi reliée à un savoir. Quels sont les liens entre les productions d'élèves et l'autonomie donnée aux élèves ? quels sont les domaines de l'autonomie, selon le cadre AtA2d, sollicités pour réaliser les productions écrites ? Quels types de traces écrites permettent de faire « gagner » les élèves en autonomie ? Nous nous intéressons à tous les types de traces (cahiers, affichages, traces issues de l'institutionnalisation, photos etc.). De quels domaines d'autonomie ont-ils besoin pour réinvestir les traces dans la réalisation des tâches prescrites ?

Notre groupe de travail à commencer à recueillir des données au cycle 3. Pour mener ce travail, une méthodologie de recueil de données (entretien ante, vidéo de classe et entretien post séance)

⁶² Ordinaire car ce n'est pas moi qui aie introduit le fonctionnement par plan de travail.

est prévue et sera identique pour toutes les didacticiennes (quelle que soit la classe du cycle concerné). Les premières données vidéo analysées seront très utiles pour affiner le cadre d'analyse.

Mon cadre AtA2d servira comme outil pour mener ce travail en classe de 6^{ème}. Quant au cycle 3, le groupe adaptera le cadre d'analyse AtA2d proposé ici en physique à l'enseignement des sciences et tiendra compte des spécificités des enseignements au primaire (classes multi-niveaux, polyvalence de l'enseignant...). Ce groupe interne est un point de départ pour déposer une réponse ou contribuer à des appels à projets à plus large échelle.

3.2.5. Conclusion sur les recherches en cours

Si on ne peut encore conclure, ici, à propos des projets de recherche en cours visant à :

- mieux interpréter les points de vue des enseignants ;
- comprendre les pratiques effectives d'enseignement en classe ;
- identifier ce qui peut perturber l'enseignement, l'étude et l'apprentissage de la physique en termes d'autonomie,

Leurs résultats permettront de juger l'opportunité de poursuivre des recherches autour de la problématique de l'autonomie des élèves en classe de physique.

Au-delà de ce travail déjà initié, d'autres études sont nécessaires pour enrichir le cadre d'analyse AtA2d contribuant à documenter ce qu'est l'autonomie des élèves en physique. Rappelons que ce dernier a une double visée : une visée heuristique pour la recherche (contribution à l'avancement du savoir pour les chercheurs en didactique des sciences et des mathématiques notamment avec une compréhension du processus d'enseignement et d'apprentissage grâce à l'autonomie) et une visée pragmatique au service du développement professionnel des enseignants de physique-chimie.

3.3. Projets à moyen terme en relation avec la problématique de l'autonomie

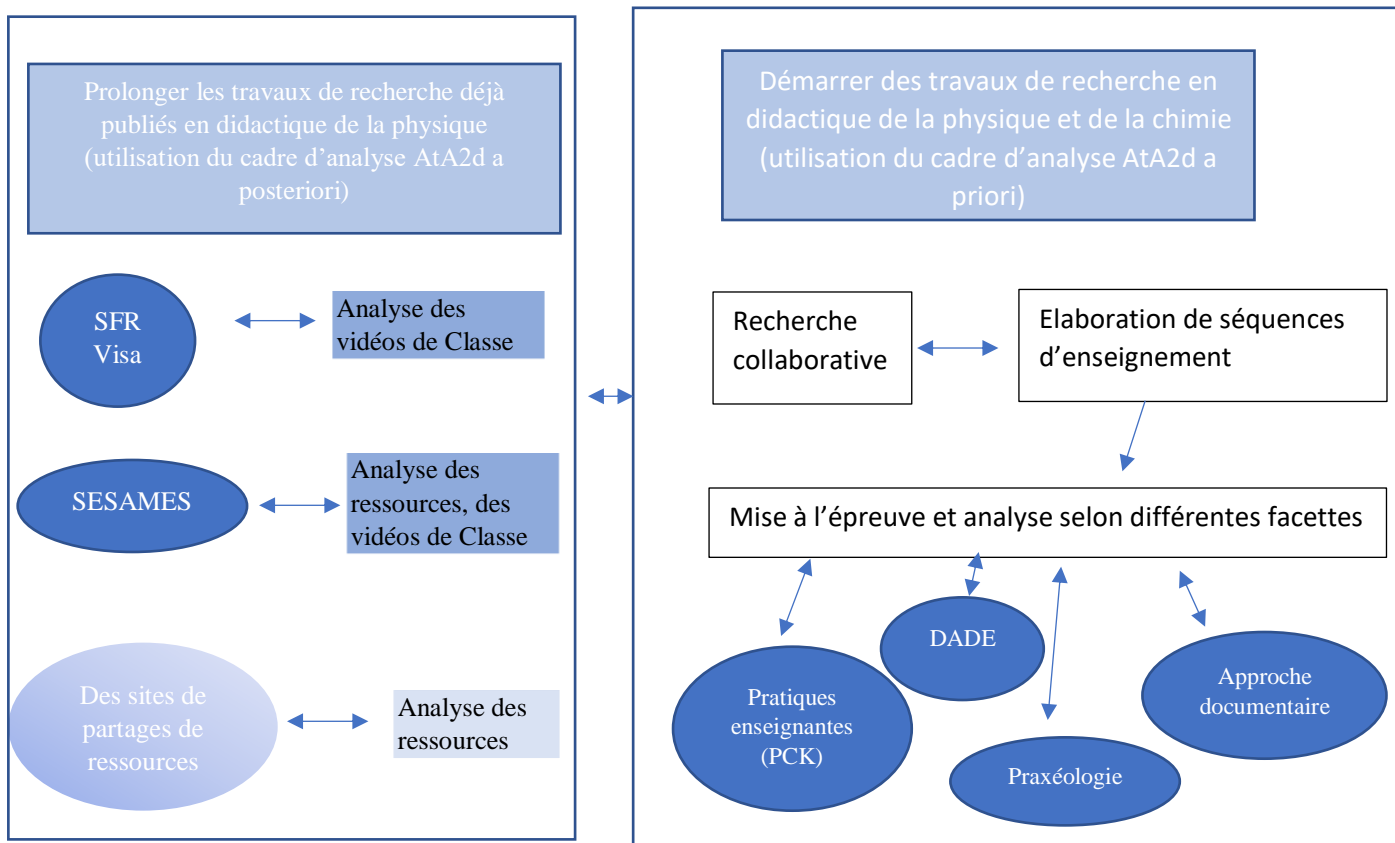
La question de l'autonomie des élèves m'a amenée à examiner les travaux réalisés en didactique des sciences évoquant d'une façon ou d'une autre ce sujet. Dans certaines recherches en didactique de la physique en collège et lycée, les chercheurs évoquent l'autonomie en lien avec les apprentissages sans préciser d'arrière-plan épistémologique (Bécu-Robinault, 2015 ; Boilevin, 2017). De plus, la place de l'autonomie des élèves a été traitée en lien avec les

investigations en classe (Monod-Ansaldi, 2010 ; Vorholzer et Aufschnaiter 2019 ; Ursekar et Naik, 2023). Or, les démarches scientifiques ne se réduisent pas à la démarche d'investigation. Il serait ainsi intéressant de s'interroger sur l'autonomie des élèves en dehors des enseignements fondés sur l'investigation, dans des situations de classes ordinaires et/ou dans des recherches collaboratives.

3.3.1. Projets de recherches en didactique de la physique

La Figure 20 illustre ainsi des pistes de recherche, mettant la question de l'autonomie des élèves au centre des actions de l'enseignement en PC. Le cadre d'analyse AtA2d pourrait être utilisé :

- pour regarder et revisiter les résultats de recherche en didactique de la physique qui existent déjà (utilisation *a posteriori*) ;
- pour enrichir l'outillage classique proposé aux concepteurs dans les recherches collaboratives (contrat didactique, modélisation, etc.) c'est-à-dire dès la conception des scénarios de classe (mobilisation *a priori*).



Légende : ⇔ éléments en interactions

Figure 20: Illustration des pistes de recherche, mettant la question de l'autonomie des élèves, au centre des actions d'enseignement en PC.

L'ensemble de ces recherches visent à mieux comprendre les pratiques d'enseignement, pratiques d'étude et apprentissages en physique. Ainsi, elles participeront à réduire l'écart entre les résultats de recherches produites en didactique de la physique et les pratiques effectives en classe.

3.3.1.1. Utilisation du cadre ATA2d sur des données existantes

Il s'agit de mobiliser le cadre AtA2d *a posteriori* pour regarder sous un nouveau jour les pratiques enseignantes. Différents types de recherches collaboratives existent (ingénierie didactique, recherche action, Design-Based Research, etc.). Elles permettent de produire des ressources pédagogiques et passent par des phases d'implémentation en situation de classe, tout en répondant aux demandes institutionnelles. La conception des ressources s'appuie sur plusieurs éléments théoriques en didactique de la physique qui sont choisis en amont.

Citons à titre d'exemple les groupes SESAMES collège et lycée qui font appel aux processus de modélisation, aux représentations sémiotiques lors de leur conception des séquences d'enseignement. Les recherches collaboratives SESAMES correspondent à un type particulier de recherche collaborative du type Design-Based Research. Ainsi, cette dernière s'appuie sur un processus itératif : conception de la séquence de classe en faisant appel à des résultats de recherche en didactique, implémentation de la séquence par des enseignants de différents établissements, recueil de données type vidéo, première analyse des données en fonction des cadres théoriques retenus, modifications de la séquence, ré-implémentation de la séquence, etc. L'analyse des données recueillies dans différentes situations de classe permet d'envisager des améliorations sur la séquence de base. A la fin de ce processus itératif, l'objectif consiste à présenter des séquences sur une thématique précise des programmes scolaires, avec généralement des documents d'accompagnement pouvant être utilisés en classe par les enseignants qui le souhaitent.

Or, sur le terrain et bien que des situations et des séquences soient validées à la fin du processus itératif au sein du groupe (chercheurs en didactiques et enseignants), le processus d'enseignement et d'apprentissage pourrait échouer pour diverses raisons (les élèves ne sont pas dans les conditions d'étudier, l'enseignant peine à entrer dans l'esprit de la séquence...). M'intéresser à l'écart entre « la transposition » des résultats de recherches en didactique et les pratiques ordinaires en classe, penser à la façon dont il est possible de réduire cet écart ne nécessitent pas forcément de partir du zéro, en termes des données vidéos recueillies en classe.

Les recherches collaboratives, de type DBR par exemple, produisent différentes natures de données (vidéos de classe, entretiens, séquence d'enseignement etc.) étudiables sous différentes facettes. Le cadre AtA2d pourrait être mobilisé pour :

- analyser les ressources déjà produites par des DBR. Une première grille d'analyse existe (El Hage et al., accepté). Les différentes versions de la grille d'analyse ont été mobilisées pour analyser des scénarios de classe existants comme sur la plateforme institutionnelle Cartoun⁶³ qui permet aux professeurs de partager leurs activités pédagogiques (Gueudet et Lebaud, 2019a ; Le Bouil, 2022).
- analyser les séquences d'enseignements produites par SESAMES⁶⁴.
- revoir les données recueillies de type vidéo de classe dans le cadre des DBR, avec mon cadre d'analyse pour mieux comprendre ce qui se déroule dans des situations d'enseignement effectives.

Cela contribuerait ainsi à comprendre certains éléments derrière ce décalage souvent constaté lors de la transposition des résultats de recherche. Analyser différents domaines de l'autonomie sous la focale du cadre d'analyse AtA2d en s'appuyant sur des indicateurs, permettant d'accéder à la partie visible des pratiques des élèves au sens de Chevallard (1988), pourrait amener des éléments de réponses sur le refus de certains élèves face à l'étude de la physique.

Requestionner les travaux de recherche sur les pratiques déjà publiés en exploitant la richesse du cadre d'analyse AtA2d, comprendre ce qui freine le développement de l'autonomie, pourraient contribuer à mieux cerner le processus d'enseignement, d'étude et d'apprentissage en physique.

Une autre piste de recherche consiste à relire des vidéos disponibles dans la base de données ViSA⁶⁵, système de stockage et de partage d'enregistrements vidéos de situations éducatives et des données associées, exclusivement à destination des chercheurs, avec le cadre d'analyse AtA2d. En fonction des vidéos consultées, il est possible d'analyser, sous un autre angle, les pratiques d'enseignement afin d'identifier les facteurs favorisant ou entravant le développement de l'autonomie des élèves.

⁶³[Accueil - Cartoun \(education.fr\)](#)

⁶⁴[Accueil | Enseigner la physique et la chimie \(ens-lyon.fr\)](#)

⁶⁵<http://visa.ens-lyon.fr/base-de-donnees>

Ce travail de réanalyse se place dans une question vive de la recherche, celle de l'open data qui pose des questions éthiques, techniques et méthodologiques. Comment concilier éthique de la recherche, RPPD et open data ? Quelles données partager quand il s'agit de scénarios itératifs de conception de séances ? Comment traiter des données issues d'une méthodologie spécifique sans pouvoir tenir compte de cet arrière-plan théorique ?

Travailler sur la question de la diffusion et de l'utilisation des résultats de la recherche en classe pose la question de la transmission de ces résultats et des gestes professionnels⁶⁶ nécessaires (au sens de Sensevy 2005) pour s'approprier ces situations.

3.3.1.2. Les gestes professionnels des enseignants pour amener l'autonomie des élèves dans des situations issues de la recherche. L'exemple du guidage et de l'analyse vidéo

Tiberghien et Venturini (2023) mettent en avant la complexité à déterminer un profil d'un enseignement de qualité et à dicter une pratique d'enseignement considérée comme performante. Ces auteurs mentionnent :

« [...] Nevertheless, to understand this state, it is important to consider that while it has been shown that “substantial variations in student outcomes are partly due to differences in teaching quality” and that “research has not been able to identify a single, clear and conclusive profile for a high-quality teacher” (OECD, 2020, p. 18) ».

Ce questionnement complexe a amené un changement de focus dans les recherches et une orientation portant sur les interactions enseignants élèves. Bien que ce focus devienne de plus en plus important depuis les années 1990, Tiberghien et Venturini (2023) le proposent comme une des pistes à creuser dans les futures recherches en didactique des sciences :

« The interactions between teaching and learning. The links between research on teaching and learning have evolved since the 1990s. New theoretical approaches integrating learning and teaching emerged, such as the Communicative Approach based on talk with sociocultural theories Mortimer and Scott, 2003). There are also narrower theoretical approaches such as the development of basic principles of teaching and learning (e.g., making connections, developing continuity between ideas, concepts) to support knowledge construction (Scott *et al.*, 2011 and Roth *et al.*, 2011). Therefore, new research can build on these theoretical constructs. It is

⁶⁶ La définition adoptée des gestes professionnels sera à traiter lors de travaux ultérieurs.

probably time to confront and debate such theoretical constructs and also to enrich them with recent research on learning. » (p.24-32)

Au cœur de tout enseignement se trouvent les interactions qui changent en fonction des contenus à aborder, des objectifs fixés, etc. Cette orientation de recherche en didactique ne peut être que contextualisée.

Dans ces études, le guidage peut être abordé selon différentes approches. Tang (2016) étudie les interactions en classe de physique en faisant appel aux travaux de Mortimer et Scott (2003) d'une part et aux représentations sémiotiques d'autre part. Quant à Bansal (2018), il s'est intéressé à l'orchestration du discours dialogique et des catégories de question (justifier, prédire etc.). De leur côté, Vorholzer et Aufschnaiter (2019) abordent la question du guidage lors des investigations en physique selon trois dimensions.

Ces éléments me semblent susceptibles de constituer un arrière-plan théorique sur lequel il est possible de s'appuyer pour élaborer une grille d'analyse des pratiques d'enseignement en classe de physique, notamment des pratiques de guidage par l'enseignant avec les interactions (didactiques ou pas) en lien avec le développement des domaines de l'autonomie didactique. Cette grille d'analyse pourrait s'inspirer des boucles des interactions question-réponse-feedback (Salloum et BouJaoude, 2019) mobilisées sur des échelles temporelles plus petites que celles de l'approche communicative. Ces boucles ont l'avantage de qualifier certains processus cognitifs (mémoriser/comprendre/appliquer ; évaluer/créer des stratégies etc.). L'imbrication de plusieurs niveaux d'analyse (microscopique, mésoscopique) permet d'avoir un ensemble de descripteurs permettant de restituer les pratiques d'enseignements de nature complexe favorisant ou non le développement de l'autonomie des élèves et donc de mieux les comprendre.

3.3.1.3. Utilisation du cadre AtA2D pour des nouvelles recherches

Les propositions qui suivent renvoient à une utilisation *a priori* du cadre d'analyse AtA2d (Figure 20) en lien avec les pratiques enseignantes dans le cadre de recherches collaboratives.

Dans le cadre de certaines recherches collaboratives et notamment DBR, des appuis théoriques sont mobilisés au tout début du processus de conception des séquences d'enseignement. Dans cette partie, les pistes de recherche nécessitent que le cadre d'analyse AtA2d soit convoqué dès le début de la recherche au même titre que d'autres éléments ou cadres théoriques classiques utilisés en didactique de la physique. L'ensemble des pistes proposées constitue une facette

visant à mieux comprendre les situations d'enseignement, d'étude et d'apprentissage en physique.

- ➔ Penser les caractéristiques des situations mises en place par l'enseignant permettant de constituer ou non des aides pratiques des élèves, c'est-à-dire élaborer des séquences en se basant sur le cadre AtA2d visant à développer l'autonomie didactique en physique sous ses différents domaines. L'idée consiste à ce que l'élève agissant dans le système didactique devienne un *étudiant qui s'engage* dans une tâche scientifique.

Le développement de séquences d'enseignement s'appuie entre autres sur les objectifs généraux fournis en préambule des programmes officiels. Les programmes d'enseignement scientifique en classe de 1^{ère} (MEN, 2019d) et terminale (MEN, 2019e) en vigueur se démarquent sensiblement des programmes précédents (Décamp, 2021) puisqu'ils se fixent des objectifs généraux de formation que l'on peut qualifier d'épistémologiques. Décamp (2021) identifie, en effet, trois idées principales au centre des programmes d'enseignement scientifique :

- « Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration
- Identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques
- Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement » (p. 40)

Quelles que soient les pratiques scientifiques mises en œuvre, une part d'autonomie des élèves me semble nécessaire. Ainsi, penser au cadre d'analyse AtA2d en parallèle du savoir visé dans la séquence d'enseignement a toute sa place. A titre d'exemple, le travail du groupe pourrait s'attacher à élaborer une séquence d'enseignement sur un contenu en lien avec le réchauffement climatique et/ou l'effet de serre (thématique de l'enseignement scientifique de la voie générale). Ces contenus sont axés sur l'interdépendance entre science et société, une des caractéristiques de l'activité scientifique recensées par Maurines et Beaufiles (2011) et présentée par Décamp (2021).

- ➔ comprendre les pratiques d'enseignement mettant en œuvre la séquence en physique élaborée dans le cadre d'une recherche collaborative.

Il s'agit, ici, d'interroger les stratégies mobilisées par les enseignants lors de la mise en œuvre de la séquence élaborée en commun par exemple, en fonction des types de tâches prescrites

pour engager leurs élèves (Jang et al, 2010) dans l'étude et par conséquent pour devenir autonome dans leurs apprentissages.

Pour mener cette recherche, il est possible de s'appuyer sur les propositions Le Bouil (2022) qui convoque des éléments de la TAD en didactique de la physique pour étudier les liens entre type de tâches, technique, logos (praxéologie) et les domaines de l'autonomie qui sont développés (Tableau 13)

Organisation praxéologique des dimensions de l'autonomie	Tâche Amener les élèves à...	Technique	Logos
Technique			
Informationnelle			
Méthodologique			
Sociale			
Cognitive		•	
Méta-cognitive			
Psycho-affective			

Tableau 13: organisation praxéologique des dimensions de l'autonomie (Le Bouil, 2022)

Ce cadre croisé au cadre théorique appelé « productive disciplinary engagement » (Engle et Conant, 2002) pourrait servir de point de départ. Ce cadre sert déjà d'outil pour expliquer le cheminement des enseignants accompagnant leurs élèves lors de la mise en œuvre de leurs connaissances en classe (Engle et Conant, 2002). Ce même cadre est mobilisé dans les travaux en didactique de la physique (Venturini, 2004 ; Buty et Plantin, 2009).

➔ S'intéresser aux liens entre pratiques d'enseignement, affinité disciplinaire et développement de l'autonomie des élèves en classe de PC

Dans les recherches s'intéressant aux pratiques d'enseignement, la question de la discipline est importante. Ainsi, mobiliser le concept de conscience disciplinaire (Reuter, 2003) du côté des enseignants de physique-chimie (Alturkmani, 2015) avec les deux concepts complémentaires suivants pour étudier le rapport des enseignants aux disciplines qu'ils enseignent me semble pertinent :

- l'affinité disciplinaire d'un professeur comme rapport particulier à cette discipline, marqué par l'intérêt et la conscience de cette dernière ;
- l'affinité didactique d'un professeur comme rapport particulier à l'enseignement de cette discipline, marqué par l'intérêt, la conscience pour ce dernier.

Selon Alturkmani (2015), chaque affinité pourrait être faible, moyenne, forte, très forte.

Je fais l'hypothèse que les liens entre l'enseignant et le développement de l'autonomie des élèves dépendent de plusieurs facteurs : le point de vue de l'enseignant et/ou des croyances (Berger et Girardet, 2016) et/ou ses « beliefs » (Ursekar et Naik, 2023), de ses affinités disciplinaires et didactiques (Alturkmani, 2015). Cela conduit à un certain nombre de questions : à quelle discipline, les enseignants de PC du collège et du lycée s'identifient-ils ? y a-t-il une empreinte de la discipline favorite et les thématiques choisies (en physique seulement, en chimie seulement, dans les deux disciplines) pour développer l'autonomie des élèves ?

3.3.2. Projets de recherche pluridisciplinaires

Le cadre d'analyse AtA2d se situe à l'intersection de la didactique de la physique, des sciences de l'éducation et de la psychologie. Ce cadre caractérise ce qu'est un élève autonome et peut donner des éléments de réflexion pour penser les manières dont un enseignant de PC développe l'autonomie des élèves. Mais ce cadre permet d'envisager également de nouvelles recherches pluridisciplinaires.

3.3.2.1. *AtA2D et PDP « Professional Development Program »*

Les résultats de recherche montrent que les pratiques peuvent évoluer suite à des actions de formation (initiale ou continue). Viser le développement professionnel (Marcel, 2009 ; Jorro, 2014 ; Grosstephan, 2010a) des enseignants relève d'un processus de transformation des manières de penser et de faire pour un professionnel au cours du temps.

En sciences, Venturini et Boilevin (2021) mettent l'accent sur la nécessité de se former tout au long de la vie pour faire face aux évolutions rapides de nos sociétés et à leur complexité toujours croissante. Ainsi, les apports de la recherche en didactique peuvent nourrir les actions de formation. Ces formations amènent ou non des évolutions de pratiques et cette évolution pourrait se situer sur un continuum allant de limitée à significative. Lee et al. (2016) parlent d'une évolution modérée pour plusieurs facteurs. Quant à Thompson et al (2019), leur constat est que les pratiques des enseignants de l'école élémentaire peuvent significativement évoluer après la formation (116 enseignants, 3 écoles) sur « Promoting Science Among English Language Learners ». L'effet des évolutions professionnelles dans le temps a été mis en évidence dans la recherche qualitative de Shaharabani et Tal (2017) qui ont suivi quatre enseignants de sciences en primaire (élèves de 7-9 ans) dix ans après la fin de leur formation. De leur côté, Haug et Ødegaard (2015) ont mentionné que la réussite des formations des

enseignants dépendait de plusieurs facteurs dont le support disciplinaire dans le programme de formation.

Je fais l'hypothèse que les pratiques des enseignants vont changer et évoluer suite à la participation à des PDP. Ainsi, les résultats des pistes de recherche proposés plus haut pourront nourrir ces actions de formation. Il serait même intéressant d'étudier le développement professionnel des enseignants. Pour cela, à la suite des formations, il serait nécessaire de repérer des traces, des indicateurs dans leur développement professionnel.

Travailler sur des thématiques de cet ordre-là, non seulement en physique et/ ou en chimie, dans d'autres disciplines à visée professionnalisante résonne avec les recherches développées par le Centre d'études et de recherches sur les emplois et les professionnalisations (Cérep), une unité de recherche de l'Université de Reims Champagne-Ardenne (URCA). Son projet scientifique est décrit ainsi :

« Considérant diverses manières d'aborder les questions de professionnalisation, qui peuvent toucher des individus, des groupes professionnels ou des groupes sociaux plus vastes, comme des institutions ou des secteurs entiers d'activité (le travail social, le secteur hospitalier, la viti-vini culture, etc.), le Cérep développe une variété des terrains.

Tous ses travaux s'inscrivent dans l'une des trois sphères : l'éducation, la formation ou le travail (souvent les trois à la fois) et s'intéressent aux changements à l'œuvre, lesquels s'inscrivent dans des contextes eux-mêmes mouvants et influent sur les pratiques professionnelles, les conditions de travail, les emplois, les fonctions, l'émergence de nouveaux groupes ou de nouvelles pratiques professionnelles. »

En résumé, comme précisé précédemment, l'autonomie questionne le développement professionnel à différentes échelles, au niveau de l'individu, de l'établissement ou de l'institution. Le cadre AtA2d, étant composite, plusieurs champs de recherche, autres que la didactique de la physique, peuvent s'en emparer et collaborer pour le faire fonctionner et évoluer. C'est ainsi un cadre que je considère comme potentiellement fédérateur et propice au dépôt de projets de recherche pluridisciplinaires d'ampleur.

Tout cela amène à penser que la cadre AtA2d pourrait servir de cadre fédérateur en réponse à des appels à projet nationaux et internationaux. Mon expérience du pilotage de recherches interdisciplinaires (didactique de la physique, sciences de l'éducation et psychologie) au service des apprentissages des élèves et des étudiants (continuum Bac-3/Bac+3) me permet d'envisager

cet objectif à moyen terme. Les éclairages pluriels sur la question de l'autonomie et du processus d'autonomisation y seront importants.

3.3.2.2. *L'équipe UTILE⁶⁷ du CRESTIC*

Au sein de l'Université de Reims Champagne-Ardenne (URCA), le laboratoire CRESTIC, Centre de REcherche en STIC, propose de constituer une équipe de recherche facilitant le travail commun entre chercheurs en automatique, informatique et en didactique s'intéressant aux usages des technologies numériques. Voici un extrait de la description du projet de l'équipe :

« La prise en compte de l'humain nécessite une approche pluridisciplinaire et a conduit naturellement des collègues informaticiens, automaticiens et SHS à se fédérer au sein d'une équipe pluridisciplinaire au sein du CReSTIC pour le contrat 2024-2028.

Le point de départ du questionnement de cette équipe est les artefacts technologiques produits dans différents domaines : la médecine, l'industrie, la formation, l'enseignement par des chercheurs ou des ingénieurs en informatique, automatique. Le point commun de ces artefacts est qu'ils mobilisent l'Humain à deux niveaux : dans leur conception (informaticien, automaticien...) et dans leur utilisation (apprenant, habitant, médecin, producticien...).

Ces technologies peuvent être bien conçues d'un point de vue technique, mais présenter des blocages, des verrous dans leur utilisation liés à l'humain en amont (choix d'utiliser ou non) ou pendant l'utilisation (catachrèse, abandon...). »

Dans ce contexte, mon travail autour de l'autonomie peut constituer un atout important. En effet, par exemple dans le projet DT4CPS⁶⁸, l'autonomie de l'utilisateur face à l'usage d'une machine (ici une machine et son jumeau numérique) peut être un point d'entrée dans l'analyse des interactions Homme-machine.

⁶⁷ UTILE pour Usages et Technologies Informatiques pour L'Être humain.

⁶⁸ DT4CPS: Digital Tweens for Cyber Physical Systems. Projet ANR porté par le CRESTIC et accepté.

3.4. Réflexions théoriques autour de l'autonomie

La cadre d'analyse AtA2d permet de caractériser l'autonomie des élèves. Toutefois une question persiste : l'autonomie est-elle un concept qui servirait comme organisateur de l'activité pour l'enseignant et/ou pour le chercheur ? L'autonomie est-elle une compétence ?

3.4.2. L'autonomie est-elle un concept ?

Pour répondre à cette question nous examinons plusieurs définitions du terme « concept ».

- Pour Vergnaud (1990), un concept est un « triplet de trois ensembles $C=\{S, I, S\}$ où :
- (1) S est l'ensemble des situations qui donnent du sens au concept,
- (2) I est l'ensemble des invariants sur lesquels repose l'opérationnalité des schèmes (le signifié),
- (3) S est l'ensemble des formes langagières et non langagières qui permettent de représenter symboliquement le concept, ses propriétés, les situations et les procédures de traitement (le signifiant). » (ibid., p. 145)

Cette définition appartient au domaine de la psychologie cognitive et se trouve fortement liée au concept de schème et à la théorie des champs conceptuels (ibid.).

L'autonomie, telle qu'elle est caractérisée dans le cadre AtA2d, présente plusieurs formes langagières relativement stables (différentes dimensions de l'autonomie, autonomie transversale, autonomie didactique, etc.). Mais, à ce stade de la réflexion, il reste cependant difficile de considérer l'autonomie comme un concept au sens de Vergnaud de par la complexité à identifier des classes de « problèmes » qu'elle permet de résoudre.

L'autonomie ne peut être séparée ni du contexte, ni du temps, ni de la situation. Pour avancer ainsi dans cette réflexion, il serait intéressant d'étudier la possibilité de parler d'un couple (autonomie-situation) voire (autonomie-classe de situation).

- Deux types de concepts existent pour Lemeignan et Weil-Barais (1993) qui appuient leur propos sur des exemples en physique :
- (a) les concepts catégoriels qui correspondent à des objets réels (du plus concret comme la poulie, la dynamo, au plus abstrait comme le carré et la figure géométrique) et réfèrent à des classes d'objets, définis par un ensemble d'attributs et de fonctions et désignés en général par un mot. Ils se construisent par un processus d'abstraction empirique (Lemeignan et Weil-Barais, 1993). Ils peuvent être définis à la fois par des attributs et des fonctions. Par exemple, la dynamo transforme un mouvement en courant électrique (Lemeignan et Weil-Barais, 1993).

(b) les concepts formels renvoient, selon Lemeignan et Weil-Barais (1993), à des identités abstraites que la pensée a construites pour expliquer et prédire des situations. Ce type de concepts peut être construit à partir de relations ou bien à partir d'un présupposé (ex : atome) ou à partir d'une création de la pensée (ex : la force).

Une transposition de cette définition issue de la psychologie cognitive appliquée en physique nous amènerait à nous demander : quels seraient les attributs et fonction de l'autonomie ? comment l'autonomie permettrait-elle d'expliquer ou de prédire des situations ?

A ce stade de ma recherche, je peux dire que l'autonomie ne peut pas être un concept catégoriel car non attachée à des objets concrets. En revanche, est-elle pour autant un concept formel ? Il faudrait alors questionner ce qu'elle explique ou quelles prédictions elle permet.

- Pour Bächtold (2018), un « concept » est usuellement défini en psychologie cognitive comme une « représentation mentale » (Laurence et Margolis, 1999, p. 5 ; Carey, 2009, p. 5). Cet auteur définit « un concept comme la représentation mentale d'un objet (de la propriété d'un objet, d'un événement ou d'un processus) qui fait référence, souvent seulement de façon implicite, à un ensemble d'éléments considérés par le sujet comme des instances de l'objet représenté en vertu de certaines de leurs propriétés. Mental par nature, un concept peut être utilisé par un sujet sans devenir explicite et communicable, voire sans que le sujet ait conscience de l'utiliser. Cependant, un concept peut être rendu explicite, c'est-à-dire exprimé et manipulé au moyen de symboles » (p.97).

Le cadre AtA2d permet de caractériser ce qu'est un élève autonome. Il permet également de faire expliciter les représentations mentales des enseignants de physique de ce qu'est un élève autonome. Cependant, la question de savoir si l'autonomie est un concept au sens proposé par Bächtold reste ouverte notamment pour cerner l'objet et ses instances.

Pour conclure, l'autonomie présente certaines caractéristiques d'un concept, quelle que soit la définition retenue. Mais à ce stade de ma recherche, il est difficile de dire si l'autonomie peut être qualifiée de concept ou pas. Ce questionnement ouvre des perspectives de travaux empiriques et théoriques.

3.4.3. L'autonomie est-elle une compétence ?

En analysant les prescriptions officielles pour la maternelle, Raab (2016) écrit que l'autonomie semble être une compétence transversale qui se construit et se trouve envisagée en termes de connaissances, de capacités et d'attitudes à acquérir. Quant à Alberio (2004), elle explique que

l'autonomie englobe plusieurs compétences (Tableau 14) sans pour autant préciser ce qu'est une compétence.

Domaine d'application	Exemple de compétences requises	Exemple de conduites attendues
Technique	Maîtriser les technologies utilisées, notamment numériques Actualiser les savoir-faire S'adapter face à la diversité des outils et supports Disposer d'un réseau de personnes-ressources	Utiliser sans difficulté un logiciel, un CD Rom ou une plate-forme de travail collaboratif Trouver de l'aide face à une difficulté d'ordre technique
Informationnel	Maîtriser les outils de la recherche documentaire (bibliothèques et fichiers, base de données, moteurs de recherche, portails et sites) Rechercher et trouver de l'information pertinente (modes d'interrogation, systèmes d'indexation, limites des outils) Actualiser savoirs et savoir-faire dans le domaine de la recherche documentaire Recueillir, stocker, gérer l'information obtenue Traiter et restituer l'information recueillie Référencer les sources selon les normes en vigueur	Compléter la documentation proposée dans le cadre de la formation Réaliser un exposé, un dossier, un mémoire Partager des informations dans le cadre d'un travail collaboratif

Tableau 14: présentation des domaines de l'autonomie avec des exemples de compétences requises et des conduites attendues (Albero, 2004).

Un élève autonome est caractérisé par le fait qu'il possède des compétences spécifiques. Pour autant, l'autonomie peut-elle considérée comme une compétence ?

Le terme de compétence est porteur de définitions multiples (Postiaux et al., 2010).

➤ Compétence d'attribution

Être compétent est alors être reconnu par une institution comme tel ; le CAPES donne le droit d'enseigner et d'être responsable d'une classe. Le professeur certifié est réputé compétent pour enseigner sur la base de ses résultats à un concours et de critères de titularisation. Pour l'autonomie, il semble difficile de la considérer ainsi dans la mesure où un élève ne reçoit pas de reconnaissance de son autonomie.

- Selon Tardif, la compétence consiste en « un savoir-agir complexe prenant appui sur la mobilisation et la combinaison efficaces d'une variété de ressources internes et externes à l'intérieur d'une famille de situations » (2006, p. 22).

Cette définition entre en résonance avec la caractérisation d'un élève autonome en contexte scolaire qui doit avoir une certaine autonomie de mobilisation et une autonomie d'acquisition (Ben-Zvi et Sfard, 2007). De plus, cela renvoie à l'idée qu'un élève autonome devrait être en mesure de mobiliser plusieurs dimensions de l'autonomie en fonction de la tâche prescrite.

- Quant à Scallon (2007), il définit la compétence comme « la possibilité, pour un individu, de mobiliser de manière intériorisée un ensemble intégré de ressources en vue de résoudre une famille de situations-problèmes » (2007, p. 105).

On voit apparaître, dans cette définition, les termes de ressource et de situation problème dont il faudra nécessairement questionner l'usage dans ce contexte. Néanmoins, elle renvoie à l'idée que l'autonomie est une ressource que l'élève peut mobiliser en contexte d'apprentissage.

Là encore, il n'est pas facile de trancher et de dire, dès aujourd'hui, que l'autonomie est une compétence. En fonction de la définition retenue, l'autonomie pourrait correspondre en partie à une compétence.

De plus, si l'autonomie est une seule compétence ou un ensemble de compétences, les questions autour de son acquisition, de son évaluation se posent.

De cette interrogation en découlent d'autres et notamment en lien avec les sciences d'une façon générale : quels liens pourraient exister entre les compétences définies par l'OCDE, utilisées comme entrée pour les tests PISA, et les domaines de l'autonomie présentés dans le cadre AtA2d. Nous pouvons lire en effet « dans l'enquête PISA, les compétences scientifiques expriment la capacité des élèves de 15 ans d'utiliser leurs connaissances scientifiques pour identifier des problématiques, acquérir de nouvelles connaissances, expliquer des phénomènes scientifiques et tirer des conclusions étayées à propos de questions à caractère scientifique » (OCDE, 2023). Bien que PISA ne mette pas l'étiquette autonomie explicitement sur les compétences évaluées, ces dernières renvoient vers certains indicateurs de l'autonomie et notamment le domaine cognitif. S'agit-il de la même chose, compétences et autonomie seraient-elles équivalentes ? Les domaines de l'autonomie sont-ils une condition nécessaire ou suffisante pour développer les compétences ? Une première lecture laisse penser que les indicateurs et les domaines de l'autonomie semblent être d'une granularité plus fine que les compétences présentées par PISA (Tableau 15). Cependant, PISA met des scores en se basant sur des situations avec des éléments disciplinaires et des traces réelles des activités des élèves, ce qui n'est pas encore fait pour le moment avec le cadre AtA2d.

Répartition approximative des points de score en sciences entre les compétences scientifiques

Compétences scientifiques	Pourcentage de points de score	
	PISA 2006	PISA 2012
Identifier des questions d'ordre scientifique	22	23
Expliquer des phénomènes de manière scientifique	46	41
Utiliser des faits scientifiques	32	37
Total	100	100

Les items sont répartis par contexte *personnel*, *social* et *global* selon des proportions approximatives de 25 % ; 50 % ; 25 %. Ils se répartissent de manière assez équivalente entre les champs d'application présentés à la figure 3.2.

Tableau 15 : capture d'écran des compétences scientifiques utilisées dans le cadre d'évaluation et d'analyse du cycle PISA 2012 « compétences en mathématiques, en compréhension de l'écrit, en sciences, en résolution de problèmes et en matières financières ».

Si je pars du principe que compétence et autonomie ne sont pas synonymes, des questions se posent : faut-il être autonome pour développer des compétences ? faut-il être compétent pour devenir autonome ?

Conclusion

Cette note de synthèse ne fait pas état de toutes les recherches que j'ai entreprises ou que je dirige actuellement. Mon choix étant de ne rapporter que celles permettant de montrer comment, en partant de la question des pratiques d'enseignement de physique (interactions didactiques, processus de modélisation et registres sémiotiques), j'ai pu envisager la conception du cadre d'analyse AtA2d. Comprendre les pratiques enseignantes favorisant l'autonomie m'ont amenée, à élaborer le cadre d'analyse AtA2d afin de caractériser un élève autonome en physique. Pour sa construction, j'ai mis en relation des éléments théoriques issus de différents champs disciplinaires (didactique de la physique, sciences de l'éducation et psychologie) tout en prenant en compte les spécificités épistémologiques de la physique.

L'autonomie est une préoccupation institutionnelle non récente, figurant dans les programmes de physique-chimie en France et remise au-devant de la scène avec la crise de la Covid. J'ai essayé de montrer dans ce qui précède que l'autonomie didactique, et notamment en physique, est un sujet peu traité et pourrait être une véritable préoccupation de recherches en didactique à venir. Le cadre d'analyse AtA2d aide à apporter un éclairage complémentaire aux recherches en didactique de la physique qui sont essentiellement centrées sur les processus cognitifs en laissant de côté, de manière relative, les aspects psychologiques et sociaux. Il s'agit là d'un positionnement « particulier » que j'assume vis-à-vis d'une analyse didactique qui ne fait pas encore l'unanimité dans la communauté des didacticiens des sciences et notamment des didacticiens de la physique.

Le cadre d'analyse offre la possibilité de prendre en compte autrement que d'un point de vue strictement cognitif, le sujet apprenant. Il permet à ce titre, d'interpréter des acquisitions cognitives différenciées en cherchant à comprendre pourquoi certains individus ont envie d'apprendre et d'autres non et de porter un autre regard sur les situations didactiques. L'absence de prise en compte des différences individuelles est une spécificité française que ne l'on trouve pas dans les pays anglosaxons (Venturini, 2006 ; Lebaume, 2017).

Le cadre AtA2d est, semble-t-il, en mesure d'apporter un éclairage sur les écarts entre les résultats théoriques en didactique et les pratiques effectives en classe. De plus, ce cadre pourrait contribuer également à augmenter le pouvoir d'agir des enseignants de physique en leur permettant de penser les stratégies de développement de l'autonomie des élèves. Cependant, la mobilisation de ce cadre d'analyse nécessite d'être vigilant. Il n'est pas construit pour être un outil d'évaluation ou de prescription mais d'analyse et de compréhension. Je rappelle que la maîtrise des sept dimensions de l'At et de l'Add ne suffit pas à qualifier un élève d'autonome ; je considère que l'autonomie est holistique. Il est donc important de se rappeler que ce cadre permet de prendre des informations ponctuelles à un instant précis en fonction d'une tâche donnée.

La relation entre les caractéristiques d'un élève autonome en classe de physique et les stratégies de développement de l'autonomie doit être investiguée.

Le cadre a évolué et a fait ses premières preuves sur des pratiques déclarées. Il est donc nécessaire de le tester sur des situations réelles. Il s'agit donc de mener d'autres études en physique ainsi que dans d'autres disciplines pour améliorer notre compréhension de l'autonomie transversale et de l'autonomie didactique disciplinaire.

Pour conclure, je suis binationale et donc à l'intersection de deux cultures : française et libanaise. Le point fort de ce cadre, me semble être la prise en compte de l'élève dans sa dimension individuelle, psychologique avec les questions de motivation, d'engagement, de refus mais aussi sociale dans ses interactions avec les autres. Ces dimensions non didactiques incluses dans AtA2d peuvent permettre de prendre en compte également la question de la culture. Ce cadre est donc propice aux collaborations internationales que je souhaite développer à l'avenir notamment en réunissant des pays autour de la Méditerranée.

Bibliographie

Aelterman, N., Vansteenkiste, M., Van Keer, H., De Meyer, J., Van den Berghe, L. & Haerens, L. (2013). Development and evaluation of a training on need-supportive teaching in physical education: Qualitative and quantitative findings. *Teaching and Teacher Education*, 29, 64-75.

Aelterman, N., Vansteenkiste, M., Van Keer, H. & Haerens, L. (2016). Changing teachers' beliefs regarding autonomy support and structure: The role of experienced psychological need satisfaction in teacher training. *Psychology of Sport and Exercise*, 23, 64-72.

Albero, B. (2004). L'autoformation dans les dispositifs de formation ouverte et à distance : instrumenter le développement de l'autonomie dans les apprentissages. Dans I. Saleh, D. Lepage et S. Bouyahi (dirs.), *Les TIC au cœur de l'enseignement supérieur. Actes de la journée d'étude du 12 novembre 2002* (pp. 139-159). Publication de l'université Paris VIII-Vincennes-St Denis, coll. Actes Huit. <http://edutice.archives-ouvertes.fr/docs/00/00/17/75/PDF/AlberoVincennes.pdf>

Albero, B. et Eneau, J. (2017,13 novembre). *Autonomie, apprentissages, formation : délimitations des instruments conceptuels*. Séminaire du CREAD "Complémentarité des approches didactiques et sociologiques en éducation" (CADS), Rennes.

Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : l'analyse plurielle. *Revue française de pédagogie*, 138, 85-93

Arzarello, F. & Robutti, O. (2010). Multimodality in multi-representational environments, *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, 42, 715-731.

Bachelard, S. (1979). *Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles*. Maloine Éditions.

Bächtold, M. (2018). *Épistémologie et didactique de la physique : des interrelations multiples et fécondes*. [Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université de Montpellier]. Archive ouverte Hal. <https://theses.hal.science/tel-02429529/document>

Badreddine, Z. (2009). *Étude des décisions chronogénétiques des enseignants dans l'enseignement de la physique au collège : une étude de cas au Liban*. [Thèse de doctorat, Université Lyon II, Université Libanaise : Beyrouth]. http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/42/17/70/PDF/badreddine_z-tome1.pdf

Badreddine, Z. et Buty, C. (2009). Étude de la cohérence discursive du savoir enseigné : cas du court-circuit en cinquième. Dans *Actes des 6èmes rencontres de l'ARDIST*. Nantes [En ligne]. https://ardist.org/wp-content/textes_communications/02_Badreddine%20Z.pdf

Badreddine, Z. et Buty, C. (2007). Le script de continuité, un outil méthodologique pour analyser les pratiques enseignantes. *Actes au congrès international de l'AREF*, Strasbourg. [En ligne]. http://aref2007.u-strasbg.fr/actes_pdf/AREF2007_Zeynab_BADREDDINE_275.pdf

Badreddine, Z., Buty, C. & Sousa do Nascimento, S. (2007). *Análise temática e análise de discurso em sala de aula de ciências: utilização do software Transana*. VI ENPEC. Florianópolis, Brazil, Novembre 2007.

- Bailer-Jones, D. -M. (2002). Scientists' thoughts on scientific models. *Perspectives on Science*, 10(3), 275-301.
- Bandura, A. (2003). *Auto-efficacité. Le sentiment d'efficacité personnelle*. De Boeck.
- Bansal, G. (2018). Teacher discursive moves: Conceptualising a schema of dialogic discourse in science classrooms. *International Journal of Science Education*, 40(15), 1891-1912.
- Barlet, R. (1999). L'espace épistémologique et didactique de la chimie. *Bulletin de l'Union des physiciens*, 93 (817), 1423-1448.
- Barbot, M. -J. (2000). *Les auto-apprentissages*. CLE international.
- Basten, M., Meyer-Ahrens, I., Fries, S. & Wilde, M. (2014). The Effects of Autonomy-Supportive vs. Controlling Guidance on Learners' Motivational and Cognitive Achievement in a structured Field Trip. *Sciences Education*, 98(6), 1033-1053.
- Beaufils, D. (1998). Vingt années de thèses en didactique de la physique et de la chimie. *Aster*, 27, 23-26.
- Bécu-Robinault, K. (2018). *Analyse des interactions en classe de physique : le geste, la parole et l'écrit*. L'Harmattan.
- Bécu-Robinault, K. (2015). *Un cadre épistémo-sémiotique pour concevoir des séances et analyser des pratiques d'étude et d'enseignement de la physique*. [Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université de Toulouse Jean-Jaurès]. Archive ouverte Hal. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01237838/>
- Bécu-Robinault, K. et Couture, C. (2018). Dialogue entre recherche en didactique des sciences et pratiques d'enseignement en contexte de formation. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 17, 10-20.
- Bennett, M., Ng-Knight, T. & Hayes, B. (2016). Autonomy-supportive teaching and its antecedents: Differences between teachers and teaching assistants and the predictive role of perceived competence. *European Journal of Psychology of Education*, 32, 643-667. <https://doi.org/10.1007/s10212-016-0321-x>
- Besson, U. (2010). Calculating and understanding: formal models and causal explanations in science, common reasoning and physics teaching. *Science et Education*, 19(3), 225–257
- Ben-Zvi, D. & Sfard, A. (2007). Ariadne's thread, daedalus' wings and the learners autonomy. *Education & Didactique*, 1, 117-134.
- Berger, J. -L. et Girardet, C. (2016). Les croyances des enseignants sur la gestion de la classe et la promotion des engagements des élèves : articulations aux pratiques enseignantes et évolution par la formation pédagogique. *Revue Française de Pédagogie*, 196, 129-154.
- Berger, J. -L, Girardet, C., Vaudroz, C. & Crahay, M. (2018). Teaching experience, teachers' beliefs, and self-reported classroom management practices: How are they associated? *SAGE Open*, 8(1), 1-12.
- Black, A. -E. & Deci, E. -L. (2000). The effects of instructors' autonomy support and students' autonomous motivation on learning organic chemistry: A self-determination theory perspective, *Science Education*, 84(6), 740–756.

- Blanchard, M. -R., Southerland, S. -A., Osborne, J. -W., Sampson, V. -D., Annetta, L. -A. & Granger, E. -M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577–616.
- Blumenfeld, P. -C., Soloway, E., Marx, R. -W., Krajcik, J., Guzdial, M. & Palinscar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26, 369-398.
- Boilevin, J. -M. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants : Regards didactiques*. De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.boivin.2013.01>
- Boilevin, J. -M. (2017). La démarche d'investigation : simple effet de mode ou bien nouveau mode d'enseignement des sciences. Dans M. Bächtold, V. Durand-Guerrier et V. Munier (dirs.), *Épistémologie et didactique* (pp.195-220). Presses Universitaires de Franche-Comté.
- Boilevin, J. -M., El Hage, S., Joffredo-Lebrun, S. et Gueudet, G. (2021). Développement de l'autonomie des élèves au collège. Points de vue d'enseignants de sciences physiques et de mathématiques. Dans M.-N. Hindryckx et C. Poffé (dirs.), *Actes des 11ème rencontres scientifiques de l'Association de Recherche en Didactiques, Sciences et Technologies* (pp. 195-202). Belgique : Université de liège
- Brousseau, G. -P. (1988). Les différents rôles du maître. *Bulletin de l'AMQ. Montréal*, 23, 14-24.
- Brousseau, G. (1998). *La théorie des situations didactiques*. La Pensée Sauvage.
- Bru, M. et Talbot, L. (2001). Les pratiques enseignantes : une visée, des regards. *Les Dossiers des sciences de l'éducation*, 5. Presses universitaires du Mirail. <https://doi.org/10.3406/dsedu.2001.948>
- Buty, C., Badreddine, Z. et Régnier, J.-C. (2012). Didactique des sciences et interactions dans la classe : quelques lignes directrices pour une analyse dynamique. *ENSAIO*, 14(1), 147-165.
- Buty, C., Tiberghien, A. & Le Maréchal, J.-F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching–learning sequences. *International journal of science education*, 26(5), 579-604.
- Bunge, M. (1973a). *Method and matter*. Deidel publishing company.
- Bunge, M. (1973b). *Method, model, and matter*. Reidel.
- Bunge, M. (1983). *Epistémologie*. Maloine.
- Caillot, M. (2001). Y a-t-il des élèves en didactique des sciences ? ou Quelles références pour l'élève ? Dans A. Terrisse (dir), *Didactiques des disciplines. Les références au savoir*. (pp. 141-155). De Boeck.
- Canac, S. (2017). Le langage symbolique de la chimie en tant que méta-niveau entre registre empirique et registre des modèles : une problématique de l'enseignement-apprentissage de chimie. [Thèse de doctorat, Université Sorbonne Paris Cité].

Canguilhem, G. (1968). Modèles et analogies dans la découverte en géologie. Dans G. Canguilhem (dir.), *Études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris: Vrin.

CCSSO (Council of Chief State School Officers) Common Core State Standards Initiative. (2010). *Common core standards for English language arts & literacy in history/social studies, science, and technical subjects*. Washington, DC: Council of Chief State School Officers.

Cheon, S. -H., Reeve, J., Lee, Y. & Lee, J.-W. (2018). Why autonomy supportive interventions work: Explaining the professional development of teachers' motivating styles. *Teaching and Teacher Education*, 69, 43–51.

Cheon, S. -H., Reeve, J., Lee, Y., Ntoumanis, N., Gillet, N., Kim, B. -R. & Song, Y. -G. (2019). Expanding autonomy psychological need states from two (satisfaction, frustration) to three (dissatisfaction): A classroom-based intervention study. *Journal of Educational Psychology*, 111(4), 685-702.

Chirkov, V. -I. & Ryan, R. -M. (2001). Parent and teacher autonomy-support in Russian and U.S. adolescents: Common effects on well-being and academic motivation. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 32(5), 618-635.

Chomat, A., Larcher, C. et Méheut, M. (1988). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, 7, 143-184.

Coince, D., Miguet, A., Rondepierre, T., Tiberghien, A. et Vince, J. (2008). Une introduction à la nature et au fonctionnement de la physique pour des élèves de seconde. *Bulletin de l'union des physiciens*, 102(900), 3-20.

Cosnefroy, L. (2010). L'apprentissage autorégulé : perspectives en formation d'adultes. *Savoirs*, 23, 9-50. <https://doi.org/10.3917/savo.023.0009>

Cosnefroy, L. (2013). L'apprentissage autorégulé, entre cognition et motivation. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 23(2), 9-50. <https://doi.org/10.4000/osp.4243>

Deci, E. -L., La Guardia, J. -G., Moller, A. -C., Scheiner, M. -J. & Ryan, R. -M. (2006). On the benefits of giving as well as receiving autonomy support: Mutuality in close friendships. *Personality & Social Psychology Bulletin*, 32(3), 313-327.

Deci, E. -L. & Ryan, R. -M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Plenum Publishing Co.

Deci, E. -L. & Ryan, R. -M. (2000). The “what” and “why” of goal pursuits: human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227-268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

Deci E. -L. & Ryan, R. -M. (2008). Favoriser la motivation optimale et la santé mentale dans les divers milieux de vie. *Canadian Psychology*, 49(1), 24-34

Deci, E. -L., Schwartz, A., Sheinman, L. & Ryan, R. -M. (1981). An instrument to assess adult's orientations toward control versus autonomy in children: Reflections on intrinsic motivation and perceived competence. *Journal of Educational Psychology*, 73(5), 642-650.

Denouël, J. (2017). L'école, le numérique et l'autonomie des élèves. *Hermès, La Revue*, 78(2), 80-86. <https://www.cairn.info/revue-hermes-la-revue-2017-2-page-80.htm>

Develay, M. (1997). Origines, malentendus et spécificités de la didactique. *Revue Française de Pédagogie*, 120, 59-66.

- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Peter Lang.
- El Bilani, R., Montpied, P. et Le Maréchal, J. -F. (2007). Autonomie et motivation lors de l'apprentissage avec un simulateur. *Didaskalia*, 31, 1-32.
- El Hage S., Bécu-Robinault, K. & Buty, C. (2010). Consistency of an optic lesson including ICT at grade 8. In Z. Zacharias, C. Constantino & M. Papaevripidoi (eds.) *proceeding in the 9th conference on Computer-Basic Learning in Science* (pp.165-175). Warsaw: Poland: University of Cyprus.
- El Hage, S., Buty, C. et Badreddine, Z. (2012). Cohérence discursive du savoir enseigné : cas où l'enseignant utilise un dispositif TICE. Dans *Actes des 7ème rencontres scientifiques de l'Association de Recherche en Didactiques, Sciences et Technologies Bordeaux 14-16 mars* (pp. 149-154). Bordeaux : France.
- El Hage, S. & Buty C. (2012). The effect of an ICT on the coherence of the teacher discourse: Case study of an electricity sequence at grade 12. In R. Pinto, V. Lopez & C. Simarro (eds.), *Conference Proceedings in the 10th International conference on Computer Based Learning in Science, june 26th -29th* (pp. 41-47). Barcelona: Spain. CRECIM.
- El Hage, S. (2012). *Activités TICE, interactions langagières en classe et cohérence des séquences d'enseignement scientifiques*. [Thèse de doctorat, Lyon : université Lyon2.]. http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2012/el_hage_s/pdfAmont/el_hage_s_these.pdf
- El Hage, S. et Buty C. (2013a). Transformation des savoirs au moment du tissage : étude de cas en classe de physique. Dans *Actes du congrès d'Actualité de la Recherche en Education et en Formation (AREF)*, 27-30 août, Montpellier : France. [En ligne] <https://aref2013.umontpellier.fr/?q=content/203-transformation-des-savoirs-au-moment-du-tissage-%C3%A9tude-de-cas-en-classe-de-physique>
- El Hage, S. & Buty, C. (2013b). Weaving relationships in a teaching sequence using ICT: a case study in Optics at lower secondary school. Selected Paper. In: C. Bruguière, A. Tiberghien & P. Clément (eds.), *Topics and trends in current science education* (pp. 213-228). Springer.
- El Hage, S. (2014a). Les inscriptions, un outil d'analyse des pratiques enseignantes lors de l'utilisation des TICE. *SKOLE, Cahiers de la Recherche et du Développement*, 18(1), 205-212.
- El Hage, S. (2014b). Transana : un logiciel utilisé pour l'étude des interactions didactiques en classe. *Adjectif.net* [En ligne] <http://www.adjectif.net/spip/spip.php?article278>
- El Hage, S. et Buty, C. (2014). La notion d'inscription appliquée aux pratiques enseignantes, une étude de cas en physique. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 10, 213-243.
- El Hage, S. (2015). Corrélation entre le système d'activité d'un enseignant de physique hors classe et son activité en classe. *Spiral-E*, 55, 121-137. [En ligne] <http://spirale-edu-revue.fr/spip.php?article1236>
- El Hage, S. et Buty, C. (2016). Quelle méthodologie pour étudier le rapport entre les inscriptions des enseignants au tableau et les écrits individuels des élèves en physique ? In T. Philippot (ed.), *les traces de l'activité : objets pour la recherche et outils pour la formation* (pp. 25-45). Action & savoir.
- El Hage, S. et Plé, E. (2016). Démarches d'investigation en sciences : des références épistémologiques questionnées au regard de la science qui se pratique. Symposium. *Communication présentée au 9ème rencontre scientifique de l'Association de Recherche en*

Didactiques, Sciences et Technologies, 30 mars-1^{er} avril (pp. 388-393). Lens : France. Université d'Artois

El Hage, S. et Ouvrier-Buffet, C. (2018). Les démarches de chercheurs en physique et en mathématiques. Enjeux didactiques d'une nouvelle approche épistémologique. *Recherches en éducation*, 34, 62-82

El Hage, S. (2021a). Physicists research practices: a perspective to rethink inquiry-based science education. *Al-Biruni Journal of Physics Education*. 10(02), 86-97.

El Hage, S. (2021b). Relation entre l'activité de recherche et d'enseignement des enseignants-chercheurs en physique. Une entrée par l'usage des ressources. Dans J.-M. Boilevin et A., Jameau (dirs.), *Actualité des recherches en didactique des sciences et des technologies*. Rencontres scientifiques Saint Malo 2018 (pp. 407 - 423). Édition de l'ARDiST.

El Hage, S., Boilevin, J. -M. et El Hajjar, D. (2021). Developing the students' autonomy in middle school: An exploratory study of French science teachers' points of view & the expectations of the school institution. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*. 15(2), 77-99.

El Hage, S. et Maigret, M. (2022). Autonomie en physique-chimie : point de vue d'un représentant de l'institution. Un pas vers l'étude des éventuels décalages entre les attentes de l'institution et les pratiques enseignantes. *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, 116 (1041), 149-161.

El Hage, S., Boilevin, J. -M. et El Hajjar, D. (2022). Autonomie des élèves français en physique au lycée : Points de vue d'enseignants. Dans P. Venturini et L. Pélissier (dirs.), *Actes du 12^{ème} rencontres scientifiques de l'Association de Recherche en Didactiques, Sciences et Technologies* (pp. 507-512). Toulouse, France.

El Hage, S., Boilevin, J. -M., Gueudet, G. et Lebaud, M. -P. (accepté). Soutenir le choix de ressources pour des usages du numérique favorisant l'autonomie des élèves : mise en regard d'une grille d'analyse dans deux disciplines. *Recherches en éducation*.

Emprin, F. (2018). Simuler les pratiques des enseignants : outil de recherche. *Colloque National ARDM*, ARDM, Feb 2018, Paris, France. [hal-02969681](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02969681)

Eneau, J. (2018). Autoformation, autonomisation et émancipation : De quelques problématiques de recherche en formation d'adultes. *Recherches & Educations*, 16, 21-38. <https://doi.org/10.4000/rechercheseducations.2489>

European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture (2017). *ECTS users' guide 2015*, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2766/87192>

Fillon, P. et Vérin, A. (2001). Écrire pour comprendre les sciences, *Aster*, 33, 3-16.

Fischer, H., Duit, R. & Labudde, P. (2005). Video-studies on the Practice of Lower Secondary Physics Instruction in Germany and Switzerland - Design, Theoretical Frameworks, and a Summary of major findings. In R. Pintô & D. Couso (eds.), *Proceedings of the fifth international ESERA conference on contributions of research to enhancing students' interest in learning science* (pp. 830-834). Barcelona : Spain.

Foray, P. (2017). Autonomie. *Le Télémaque*, 51, 19-28.

Froiland, J. -M. & Worrell, F. -C. (2016). Intrinsic motivation, learning goals, engagement, and achievement in a diverse high school. *Psychology in the Schools*, 53(3), 321-336

Furtak, E. -M. & Kunter, M. (2012). Effects of Autonomy-Supportive Teaching on Student Learning and Motivation. *The Journal of Experimental Education*, 80(3), 284-316.

- Gaidioz, P. et Tiberghien, A. (2003). Un outil d'enseignement privilégiant la modélisation. *Bulletin de l'union des physiciens*, 97(850), 71-83.
- Gaidioz, P., Vince, J. et Tiberghien, A. (2004). Aider l'élève à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne. *Bulletin de l'union des physiciens*, 98(866), 1029-1042.
- Gasparini, R., Rissoan, O. -D. et Dalud-Vincent, M. (2009). Variations sociales des représentations de l'autonomie dans le travail scolaire chez les collégiens et lycéens. *Revue Française de Pédagogie*, 168, 93-109.
- Giere, R. -N. (1988). *Explaining science: a cognitive approach*. University of Chicago Press.
- Giere, R. -N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.
- Gilbert, J. (2004). Models and modeling: routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
- Gilbert, J.-K., Boulter, C.-J. & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In: J.K. Gilbert and C.J. Boulter (eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Givry, D. et Delsérieys, A. (2013). Quel est l'impact des registres sémiotiques sur l'efficacité d'une séquence d'enseignement sur les gaz pour des élèves de Seconde ? [en ligne] <hal-00815028>
- Großmann, N. & Wilde, M. (2020). Promoting Interest by Supporting Learner Autonomy: The Effects of Teaching Behaviour in Biology Lessons. *Research in Science Education*, 50, 1763–1788.
- Gueudet, G. et Trouche, L. (2008). Du travail documentaire des enseignants : genèses, collectifs, communautés. : le cas des mathématiques. *Éducation e didactique*, 3(2), 7-34.
- Gueudet, G. et Trouche, L. (2021). Étudier les interactions professeurs-ressources : questions de méthode. *Éducation & didactique*, 15(15-2), 141-158.
- Gueudet, G. et Lebaud, M. -P. (2019a), Développer l'autonomie des élèves en mathématiques grâce au numérique. 1. Différentes dimensions de l'autonomie. *Petit x*, 109, 3-16. https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/medias/fichier/109x1_1585216784246-pdf
- Gueudet, G. et Lebaud, M. -P. (2019a). Développer l'autonomie des élèves en mathématiques grâce au numérique partie 2. Analyser le potentiel de ressources pour les professeurs. *Petit x*, 110-111, 85-102.
- Grimault-Leprince, A. (2017, 13 novembre). *Étudier les liens entre usages numériques et autonomisation chez les adolescents. Éléments d'une recherche par questionnaire*. Séminaire du CREAD "Complémentarité des approches didactiques et sociologiques en éducation" (CADS), Rennes.
- Hacking, I. (1983). *Representing an intervening*. University Press Cambridge.
- Hardy, I., Jonen, A., Moller, K. & Stern, E. (2006). Effects of instructional support within constructivist learning environments for elementary school students' understanding of "floating and sinking." *Journal of Educational Psychology*, 98, 307-326.
- Hofferber, N., Basten, M., Großmann, N. & Wilde, M. (2016) The effects of autonomy-supportive and controlling teaching behaviour in biology lessons with primary and secondary

- experiences on students' intrinsic motivation and flow-experience. *International Journal of Science Education*, 38(13), 2114-2132.
- Howard, J. -L., Gagné, M. & Bureau, J. -S. (2017). Testing a continuum structure of self-determined motivation: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 143(12), 1346-1377.
- IDEE (2018). *Autonomie : définition. Glossaire des notions et concepts*. Livrable septembre 2018. <https://www.interactik.fr/portail/web/se-documenter/projet-idee-glossaire-des>
- Jacobi, D. et Peterfalvi, B. (2004). Interactions langagières : regards didactiques, regards linguistiques. *Aster*, 38, 3-13.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. Harvard University Press.
- Jang, H., Deci, E. -L. & Reeve, J. (2010). Engaging students in learning activities: it is not autonomy support or structure but autonomy support and structure. *Journal of Educational Psychology*, 102 (3), 588 – 600.
- Johnstone A. -H. (1982). Macro and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Méheut, M. (2006). Recherche en didactique et formation des enseignants de sciences, In *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. États des lieux des politiques et de la recherche*, Direction Générale de l'Éducation et de la Culture. Commission Européenne, 55-76.
- Johsua, S. et Dupin, J. -J. (1989). *Représentations et modélisations : le débat scientifique dans la classe*. Peter Lang.
- Johsua, S. et Dupin, J. -J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Presses Universitaires de France.
- Jungert, T. & Koestner, R. (2015). Science adjustment, parental and teacher autonomy support and the cognitive orientation of science students. *Educational Psychology*, 35(3), 361–376.
- Kant, E. (1785). *Critique de la raison pratique*. Flammarion.
- Khanfour-Armalé (2008). Structuration par le professeur des connaissances construites par des élèves ayant travaillé en autonomie lors d'une activité expérimentale de chimie. [thèse de doctorat, Université Lumière - Lyon 2].
- Klein, H. (2010). Où va la science ? conversation entre. Jean-Michel Besnier, Etienne Klein, Hervé Le Guyader et Heinz Wismann. In J.M, Besnier, E. Klein, H., Le Guyader & H. Wismann (2010). *La science en jeu*. Actes Sud/IHESST.
- Lahire, B. (2001). La construction de l' « autonomie » à l'école primaire : entre savoirs et pouvoirs. *Revue française de pédagogie*, 135 (1), 151-161.

Lagarrigue, A. (1971). Réponse à Monsieur le Ministre de l'Éducation nationale. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 537, 1117-1120.

Lagarrigue, A. (1973). La commission ministérielle pour la rénovation de l'enseignement des sciences physiques : un premier bilan. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 551, 496-512.

Larcher, C. (1996). La physique et la chimie, sciences de modèles. In J. Toussaint (Ed.), *Didactique appliquée de la physique-chimie* (pp. 160-178). Nathan.

Latour, B. (1985). Les « vues » de l'esprit : une introduction à l'anthropologie des sciences et des techniques. *Culture technique*, 14, 4-29.

Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Harvard University Press.

Le Bouil, A. (2022). Effets d'un dispositif de formation d'enseignants : Outils numériques pour développer l'autonomie des élèves en physique-chimie. [Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale].

Le Bouil, A., El Hage, S., Jameau, A. et Boilevin, J.-M. (2019). L'autonomie des élèves dans l'apprentissage de la physique-chimie selon les enseignants. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 6(1), 274-280.

Le Bouil, A., Eneau, J. et Boilevin, J.-M. (2021). Effets d'un dispositif de formation de professeurs stagiaires en physique-chimie pour développer l'autonomie des élèves. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 23, 29-54.

Legendre, M. (2009). Piaget et Vygotski en contexte éducatif : y a-t-il opposition ou complémentarité entre les deux penseurs ? *Actes du 3e colloque Constructivisme et Éducation : Construction intra/intersubjective des connaissances et du sujet connaissant* (p.181-193).

Legendre, R. (1993). Dictionnaire actuel de l'éducation. Guérin.

Lemeignan, G. et Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Hachette.

Lemke, J. (1990). *Talking science: language, learning and values*. Ablex Publishing Corporation.

Lijnse, P. (2006). Models of/for teaching modelling. In Van den Berg, Slooten (eds.), *Conference on modelling in physics and physics education. Proceedings Groupe Internationale de Recherche sur l'enseignement de la physique* (pp. 20-33). Amsterdam: University of Amsterdam.

Linder, C. (2013). Disciplinary discourse, representation, and appresentation in the teaching and learning of science. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 1(2), 43-49.

Liquète, V. et Maury, Y. (2007). *Le travail autonome*. Armand Colin.

Leontiev, A. (1975). *Activité, conscience, personnalité*. Progrès.

Malafosse, D., Lerouge, A. et Dusseau, J. -M. (2000). Notions de registre et de cadre de rationalité en inter-didactique des mathématiques et de la physique. *Tréma*, 18, 49-60.

- Malonga Mougabio, F. et Beaufils, D. (2010). Modélisation et registres sémiotiques : exemple d'étude de manuels de physique de terminale. *RDST*, 1, 293-316.
- Marcel, J. -F., Orly, P., Rothier-Bautzer, E. et Sonntag, M. (2002). Les pratiques comme objets d'analyse. *Revue française de pédagogie*, 138, 135-170.
- Martinand, J. -L. (1994). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *Aster*, 19, 61-75.
- Martinand, J. -L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. INRP.
- Mayer, R. -E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14-19.
- Méheut, M. (1996). Enseignement d'un modèle particulière cinétique de gaz au collège. Questionnement et simulation. *Didaskalia*, 8, 7-32.
- Mercier, A. et Buty, C. (2004). Évaluer et comprendre les effets de l'enseignement sur les apprentissages des élèves : problématiques et méthodes en didactique des mathématiques et des sciences. *Revue française de pédagogie*, 148(1), 47-59.
- Millar, R. (1996). Investigation des élèves en sciences : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, 9-30.
- Modrek, A. -S. & Sandoval, W. -A. (2020). Can autonomy play a role in causal reasoning? *Cognitive Development*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2020.100849>
- Modrek, A. -S, Hass, R. -b, Kwako, A. & Sandoval, W. -A. (2021). Do adolescents want more autonomy? Testing gender differences in autonomy across STEM. *Journal of Adolescence*, 237-246.
- Mondada, L. (2005). *Chercheurs en interaction*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Monod-Ansaldi, R., Digard, I., Florimond, A., Fontanieu, V., Péres, C., Rossetto, A. -M. et Morel-Deville, F. (2010). *L'investigation en MI-SVT : un chemin vers l'autonomie des élèves ?* Actes des journées scientifiques DIES www.inrp.fr/editions/dies
- Morge, L. (1997). *Essai de formation professionnelle des professeurs de Sciences Physiques portant sur les interactions en classe. Étude de cas en formation initiale*. [Thèse de doctorat, Université Paris 7, Paris].
- Morge, L., Chazeaux, G., Espalieu, C. et Martial, P. (2005). Une situation adidactique pour enseigner les principales caractéristiques des circuits électriques, simple, en série et en dérivation, *BUP*, 99 (876), 747-754.
- Moro, L., Mortimer, E. -F. & Tiberghien. A. (2020). The use of social semiotic multimodality and joint action theory to describe teaching practices: two cases studies with experienced teachers. *Classroom Discourse*, 11 (3), 229-251.
- Mortimer, E. -F. & Buty, C. (2008). What does « in the infinite » mean? The Difficulties with Dealing with the Representation of the « Infinite » in a Teaching Sequence on Optics. In C. Andersen, N. Scheuer, M.d.P. Pérez Echeverría & E.V. Teubal (dirs.). *Representational Systems and Practices as Learning Tools* (pp.225-243). Sense Publishers.
- Mortimer, E., Massicame, T., Tiberghien, A. & Buty, C. (2007). Uma metodologia para caracterizar os generos de discurso como tipos de estrategias enunciativas nas aulas de Ciencias.

- In R. Nardi (dirs.). *A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns recortes*, Escrituras Editora (pp.53-97). [\(halshs-00361441\)](#)
- Mortimer, E. -F. & Scott, P. (2003). *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*. McGraw-Hill Education.
- Mzoughi-Khadhraoui, I. et Dumon, A. (2012). L'appropriation par des élèves tunisiens débutants du langage permettant de représenter la réaction chimique. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 6, 89-118.
- Niemiec, C. -P. & Ryan, R.-M. (2009). Autonomy, competence, and relatedness in the classroom: Applying self-determination theory to educational practice. *Theory and Research in Education*, 7, 133–144.
- Nissen (2007). Quelles aides les formations hybrides en langues proposent-elles à l'apprenant pour favoriser son autonomie ? *Apprentissage des langues et systèmes d'information et de communication*, 10(1), 129-144.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. In, (Vol. 1, *The standards*). Washington, DC: The National Academies Press.
- Nonnon, É. (2004). Travail visible et invisible : la trace écrite au tableau. *Traces, recherches*, 41, 17-31.
- OCDE (2023), Compétences en sciences (PISA) (indicateur). doi: 10.1787/8cdf94a5-fr (Consulté le 24 août 2023).
- Omnès, R. (1975). Les nouvelles tâches de la commission Lagarrigue. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 579, 265-274.
- Omnès, R. (1977). La commission Lagarrigue. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 597, 3-6.
- Omnès, R., Blanc, J., Kahane, A. et Delacôte, G. (1977). 4ème partie : bilan de la commission Lagarrigue. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 597, 111-169.
- Ottavi, D. (2001). *De Darwin à Piaget. Pour une histoire de la psychologie de l'enfant*. CNRS Editions.
- Olsen, T. -P., Hewson, P. -W. & Lyons, L. (1996). Preordained science and student autonomy: the nature of laboratory tasks in physics classrooms. *International Journal of Science Education*, 18(6), 755-790.
- Osborne, J., Simon, S. & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079.
- Patall, E. -A., Steingut, R. -R., Vasquez, A. -C., Trimble, S. -S., Pituch, K. -A. & Freeman, J. -L. (2018). Daily autonomy supporting or thwarting and students' motivation and engagement in the high school science classroom. *Journal of Educational Psychology*, 110(2), 269–288.
- Patall, E. -A. & Zambrano, J. (2019). Facilitating Student Outcomes by Supporting Autonomy: Implications for Practice and Policy. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 6(2) 115–122.

- Patrick, H., Anderman, L. -H., Ryan, A. -M., Edelin, K. -C. & Midgely, C. (2001). Teachers' communication of goal orientation in four fifth-grade classrooms. *The Elementary School Journal*, 102(1), 35-58.
- Patry, D. (2018). L'autonomie : l'incontournable de toutes les pédagogies actuelles ? *Tréma*, 50, 1-18. <http://journals.openedition.org/trema/4237>
- Postiaux, N., Bouillard, P. et Romainville, M. (2010). Référentiels de compétences à l'université : usages, rôles et limites. *Recherche & formation*, 64, 15-30.
- Quéré, N., El Hage, S., Boilevin, J. -M., Gueudet, G., Srey, S. et Joffredo-Lebrun, S. (2022). Articuler numérique et autonomie des élèves : les apports d'une mise en regard de trois disciplines. Dans M. Abboud et C. de Hosson (dirs.), *Rendez-vous en didactique : recherches, dialogues et plus si affinité* (pp.104-113). Paris : France. Université Paris-Cité.
- Raab, R. (2014). Apprentissage en autonomie et stratégies d'évitement de l'obstacle. *Questions Vives*, 22, 1-19. <http://doi.org/10.4000/questionsvives.1653>
- Raab, R. (2016). Le paradoxe de l'autonomie en contexte scolaire. *Éducation et socialisation*, 41, 1-15.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Ramnarain, U. & Hobden, P. (2015). Shifting South African learners towards greater autonomy in scientific investigations. *Curriculum Studies*, 47(1), 94-121.
- Ravestein, J. (1999). *Autonomie de l'élève et régulation du système didactique*. De Boeck.
- Ravez, C. (2020). Développer le(s) sens de l'autonomie à l'école ... et à la maison ? IFE-ENS. <https://eduveille.hypotheses.org/15160>
- Raymond, G., Barry, B. et Plourde, Y. (2019). Le plan de travail : un organisateur réfléchi et efficace pour l'enseignement au primaire. *Revue hybride de l'éducation*, 2(1), 42-55.
- Reeve, J. -M. (2002). Self-determination theory applied to educational settings. In E.-L. Deci & R. M. Ryan (dir.), *Handbook of self-determination research* (pp. 183-203). The University of Rochester Press.
- Reeve, J. -M. (2009). Why teachers adopt a controlling motivating style toward students and how they can become more autonomy supportive. *Educational Psychologist*, 44(3), 159-178.
- Reeve, J. -M. & Cheon, S. -H. (2016). Teachers become more autonomy supportive after they believe it is easy to do. *Psychology of Sport and Exercise*, 22, 178-189.
- Reeve, J. -M. & Cheon, S. -H. (2021). Sociocultural influences on teachers' reactions to an intervention to help them become more autonomy supportive. In G. A. D. Liem & D. M. McInerney (Eds.), *Promoting motivation and learning in contexts: Sociocultural perspectives on educational interventions* (pp. 13-36). Information Age Publishing.
- Reeve, J. -M., Bolt, E. & Cai, Y. (1999). Autonomy-supportive teachers: How they teach and motivate students. *Journal of Educational Psychology*, 91, 537-548.
- Reeve, J. -M. & Halusic, M. (2009). How K-12 teachers can put self-determination theory principles into practice. *Theory and Research in Education*, 7(2), 145-154.

- Reeve, J. -M., Ryan, R. -M. & Deci, E. -L. (2018). Sociocultural influences on student motivation as viewed through the lens of self-determination theory. In G. A. D. Liem, & D. M. McInerney (Eds.). *Big theories revisited* (pp. 31-60). Charlotte, NC: IAP.
- Reeve, J. -M., Vansteenkiste, M., Assor, A., Ahmad, I., Cheon, S. -H., Jang, H., Kaplan, H., Moss, J. -D., Olausson, B. -S. & Wang, C. -K. -J. (2014). The beliefs that underlie autonomy-supportive and controlling teaching: A multinational investigation. *Motivation and Emotion*, 38(1), 93-110.
- Rivens Mompean, A. et Eisenbeis, M. (2008). Autoformation en langues : quel guidage pour l'autonomisation ? *Les Cahiers de l'Acedle*, 6(1), 221-244.
- Robardet, G. et Guillaud, J. -C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Presses Universitaires de France.
- Robert, A. (1998). Outils d'analyse des contenus mathématiques à enseigner au lycée et à l'université. *Recherches en didactique des mathématiques*, 18(2), 139-189.
- Robert, A. et Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *Canadian Journal of Math, Science & Technology Education*, 2(4), 505-528.
- Robertson, L. & Gail Jones, M. (2013). Chinese and US middle-school science teachers' autonomy, motivation, and instructional practices. *International Journal of Science Education*, 35(9), 1454-1489.
- Roy, P. et Hasni, A. (2014). Les modèles et la modélisation vus par des enseignants de sciences et technologies du secondaire au Québec. *Revue des sciences de l'éducation de McGill*, 49(2), 349-371.
- Roy, P. (2018). *Modèles et modélisation en physique dans les pratiques d'enseignement d'enseignants québécois du secondaire : le cas de la cinématique*. [Thèse de doctorat, Québec : université de Sherbrooke]. <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/14089>
- Ryan, R. -M. & Deci, E. -L. (2020). Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: Definitions, theory, practices, and future directions. *Contemporary Educational Psychology*, 61, Article 101860. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0361476X20300254?via%3Dihub>
- Ryan, R. -M. & Deci, E. -L. (2017). *Self-determination theory. Basic psychological needs in motivation, development, and wellness*. Guilford Press.
- Ryan, R. -M. & Deci, E. -L. (2006). Self-regulation and the problem of Human autonomy: does psychology need choice, self-determination, and will? *Journal of Personality*, 74, 1557-1585. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.2006.00420.x>
- Sabra, H. & El Hage, S. (2019). Forms of relation between teaching and research in mathematics and physics at university: from the lens of interaction with resources. in designing instruction. In L. Trouche, G., Guedet & B. Pepin (eds.). *Resources in Teachers' Professional Activity* (pp. 362-379). Springer.
- Saint-Georges, M. (2001). L'analyse des dialogues en classe : un outil pour une formation didactique des professeurs de sciences physiques. *Aster*, 32, 91-122.

- Salloum, S. & BouJaoude, S. (2019). The use of triadic dialogue in the science classroom: a teacher negotiating conceptual learning with teaching to the test. *Research in Science Education*, 49(3), 829-857.
- Sanchez (2023). *Enseigner et former avec le jeu. Développer l'autonomie, la confiance et la créativité avec des pratiques pédagogiques innovantes*. ESF Sciences Humaines.
- Sanchez, E., Young, S. et Jouneau-Sion, C. (2015). Classcraft : de la gamification à la ludicisation. Dans Actes 7ème conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Agadir : Maroc. [En ligne] <https://hal.science/hal-01405965>
- Sandoval, W. -A. & Reiser, B. -J. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88(3), 345–372.
- Savoyant, A. (1974). Éléments pour un cadre d'analyse des situations de résolution de problèmes par des équipes de travail. *L'année psychologique*, 74(1), 219-237. <https://doi.org/10.3406/psy.1974.28036>
- Scallon, G. (2007). *L'évaluation des apprentissages dans une approche par compétences*. De Boeck.
- Schwarz, C. -V. & White B. -Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23, 165-205.
- Schwarz, C. -V., Reiser, B. -J., Davis, E. -A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D. & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of research in science teaching*, 46(6), 632-654.
- Scott, P. (2008). Talking a Way to Understanding in Science Classrooms. In N. Mercer, & S. Hodgkinson (dirs.), *Exploring Talk in School, inspired by the work of Douglas Barnes* (pp. 17-36). Sage.
- Scott, P., Mortimer, E. -F. & Aguiar, O. -G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90, 605–631. <https://doi.org/10.1002/sce.20131>
- Seidel, T. & Prenzel, M. (2006). Stability of Teaching Patterns in Physics Instruction: Findings from a Video Study. *Learning and instruction*, 16(3), 228-240. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.002>
- Sensevy, G. (2005). Sur la notion de geste professionnel. *La lettre de l'AirDF*, 36(1), 4-6.
- Skinner, E., Saxton, E., Currie, C. & Shusterman, G. (2017). A motivational account of the undergraduate experience in science: Brief measures of students' self-system appraisals, engagement in coursework, and identity as a scientist. *International Journal of Science Education*, 39(17), 2433-2459.
- Small, R. -V. & Venkatesh, M. (2000). A cognitive-motivational model of decision satisfaction. *Instructional Science*, 28, 1–22 <https://doi.org/10.1023/A:1003574312599>
- Stefanou, C. -R., Perencevich, K. -C., Dicintio, M. & Turner, J. -C. (2004). Supporting autonomy in the classroom: Ways teachers encourage student decision making and ownership. *Educational Psychologist*, 39, 97–110.

- Stigler, J. -W., Gonzales, P., Kawanaka, T., Knoll, S. & Serrano, A. (1999). *The TIMSS Videotape Classroom Study: Methods and Findings from an Exploratory Research Project on Eighth-Grade Mathematics Instruction in Germany, Japan, and the United States*. Washington DC: National Center for Education Statistics Office of Educational Research and Improvement U.S. Department of Education.
- Suarez, M. (1999). Theories, models, and representations. In L. Magnani, N. J. Nersessian, et P. Thagard (dirs.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 75-99). Kluwer Academic/Plenum Press.
- Tan, L., Wei, B. & Cui, T. (2023). Relationships among perception of teacher autonomy support, achievement motivations, intellectual risk-taking, and science academic performance: a serial mediation model. *International Journal of Science Education*, 45(1), 43-64.
- Tardif, J. (2006). *L'évaluation des compétences : documenter le parcours de développement*. Chenelière-éducation.
- Taylor, G., Jungert, T., Mageau, G. -A., Schattke, K., Dedic, H., Rosenfield, S. & Koestner, R. (2014). A self-determination theory approach to predicting school achievement over time: The unique role of intrinsic motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 39, 342-358.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching - learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. Dans R. Millar, J. Leach, et J. Osborne (dirs.), *Improving science education: The contribution of research* (pp. 27-47). Open University Press.
- Tiberghien, A. & Buty., C (2007). Studying science teaching practices in relation to learning. Times scales of teaching phenomena. In R. Pintó & D. Couso (dirs.). *Contributions from Science Education Research* (pp.59-75). Springer. [{halshs-00361445}](#)
- Tiberghien, A. et Malkoun, L. (2007). Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisitions des élèves du point de vue du savoir. *Éducation & Didactique*, 1, 29-54. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.69>
- Tiberghien, A. & Malkoun, L. (2010). Analysis of classroom practices from the knowledge point of view: how to characterize them and relate them to students' performances. *Revista brasileira de pesquisa em educação em Ciências*, 10(1), 1-32.
- Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., El Sawayssi, N. et Mortimer, E.-f. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. Dans G. Sensevy et A. Mercier (dirs.), *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 73-98). Presses Universitaires de Rennes.
- Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J. -F., Buty, C., & Millar, R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85(5), 483-508.
- Tiberghien, A., et Vince, J. (2005). Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du Français Contemporain*, 10, 153-176.
- Tiberghien, A., Vince, J. & Gaidoz, P. (2009). Design based research. Case of teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275-2314

- Tiberghien, A. & Venturini, P., (2023). Teaching practices? In M. F. Taşar and P. R. L. Heron. *The International Handbook of Physics Education Research: Learning Physics* (pp. 24-1–24-36). AIP Publishing, Melville, New York.
- Van Der Valk, T., Van Driel, J. -H., & De Vos, W. (2007). Common characteristics of models in present day scientific practice. *Research in science education*, 37(4), 469-488.
- Van Riesen, S. -A. -N., Gijlers, H., Anjewierden, A. & De Jong, T. (2018). The influence of prior knowledge on experiment design guidance in a science inquiry context. *International Journal of Science Education*, 40(11), 1327-1344. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1477263>
- Veillard, L., Tiberghien, A. et Vince, J. (2011). Analyse d'une activité de conception collaborative de ressources pour l'enseignement de la physique et la formation des professeurs : le rôle de théories ou outils spécifiques. *Activités*, 8(2), 202-227.
- Vedder-Weiss, D. & Fortus, D. (2018). Teachers' Mastery Goals: Using a Self-Report Survey to Study the Relations between Teaching Practices and Students' Motivation for Science Learning. *Research in Science Education*, 48, 181-206.
- Venturini, P. (2006). L'implication de l'élève dans l'apprentissage de la physique : l'apport du rapport au savoir. Education. [Note de synthèse, Université Paris 5 Sorbonne Descartes].
- Venturini, P. (2009). L'envie d'apprendre les sciences à l'école : apports de la recherche et perspectives pour la formation dans le secondaire. Dans J. Clanet (dir.), *Recherche / Formation des enseignants. Quelles articulations ?* (pp.143-151). Presses universitaires de Rennes.
- Venturini, P., Tiberghien, A., Aufschnaiter, C. -V., Kelly, G. & Mortimer, E.-F. (2014). Analysis of teaching and learning practices in physics and chemistry education: Theoretic, al and methodological issues. In C. Bruguière, A. Tiberghien, & P. Clément (dirs.). *Topics and trends in current science education. 9th ESERA conference selected contribution* (pp.469-485). Springer.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2-3), 133-170.
- Vincent-Durroux, L. et Panckhurst, R. (2002). *Autoformation et autoévaluation : une pédagogie renouvelée ?* PULM.
- Vorholzer, A. & Aufschnaiter, C.-V. (2019). Guidance in inquiry-based instruction - an attempt to disentangle a manifold construct. *International Journal of Science Education*, 41(11), 1562-1577.
- Walliser, B. (1977). *Système et modèles*. Seuil.
- Wang, Y. -L. & Tsai, C. (2020). An investigation of taiwanese high school students' basic psychological need satisfaction and frustration in science learning contexts in relation to their science learning self-efficacy. *International Journal of Science & Mathematics Education*, 18(1), 43-59.
- Weil-Barais, A. et Dumas-Carré, A. (1998). Les interactions didactiques : tutelle et / ou médiation ? Dans A. Dumas-Carré, & A. Weil-Barais (dirs.). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique* (pp. 1-15). Peter Lang.

Weil-Barais, A., et Dumas-Carré, A. (1995). *Essais d'objectivation et de transformation des pratiques médiatrices des enseignants dans l'éducation scientifique*. Rapport final. Paris : Université Paris 7, LIREST – GDSE P7.

Xu, J., Du, J., Cunha, J. & Rosario, P. (2021). Student perceptions of homework quality, autonomy support, effort, and math achievement: Testing models of reciprocal effects. *Teaching and Teacher Education*, 108,1-15.

Zhang, D., Bobis, J., Wu, X. & Cui, Y. (2020). The Effects of an Autonomy-Supportive Teaching Intervention on Chinese Physics Students and their Teacher. *Research in Science Education*, 50, 645–671.

Ziman, J. (2001). *Real Science: what it is, and what it means*. Cambridge University Press.

Zougkou, K., Weinstein, N. & Paulmann, S. (2017). ERP correlates of motivating voices: Quality of motivation and time-course matters. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(10), 1687-1700.

Références secondaires

Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. Oxford University Press.

Carré, P. (1992). *L'Autoformation dans la formation professionnelle*. La documentation française.

Clot, Y. (2001). Psychopathologie du travail et clinique de l'activité. *Éducation permanente*, 146, 35-49.

Engeström, Y. (2000). Activity theory as a framework for analyzing and redesigning work. *Ergonomics*, 43(7), 960-974.

Hill, H.-C., Ball, D. -L. & Schilling, S. -G. (2008). Unpacking pedagogical content knowledge: Conceptualizing and measuring teachers' topic-specific knowledge of students. *Journal for research in mathematics education*, 372- 400.

Laurence, S. & Margolis, E. (1999). Concepts and cognitive science. In S. Laurence & E. Margolis (eds.), *Concepts: core reading* (pp. 3-81), MIT Press.

Legendre M. -F. (2009). Piaget et l'épistémologie, http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/ModuleFJP001/index_gen_page.php?idpage=320&idmodule=72

Margolinas, C. (2002). Situations, milieux, connaissances : analyse de l'activité du professeur, In J.-L. Dorier, M. Artaud, M. Artigue, R. Berthelot et R. Floris (dirs.), *Actes de la 11^{ème} École d'Été de Didactique des Mathématiques* (pp. 141-156). La Pensée Sauvage.

Pastré, P. (2011). La didactique professionnelle. *Education, Sciences & Society*, 2(1), 83-95.

Robert, A. (1999). Recherches didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques du second degré et leurs pratiques en classe. *Didaskalia*, 15, 123-157.

Saxe, G. (1991). *Culture and Cognitive Development: Studies in Mathematical Understanding*. Associates, Hillsdale, NJ.

Schön, D. (1983). *The reflective practitioner*. Routledge.

Schubauer, M. -L., Leutenegger, F., Ligozat, F. et Fluckiger, A. (2007). Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves : les phénomènes didactiques qu'il peut/doit traiter. In G. Sensevy & A. Mercier (dirs.). *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp.51-91). Presses Universitaires de Rennes.

Sensevy, G. (2008). Le travail du professeur pour la théorie de l'action conjointe en didactique. *Recherche & formation*, 1, 39-50.

Textes institutionnels

MEN (1997). Organisation des enseignements du cycle central du collège BO n° 5du 30 janvier 1997.

MEN (2005). Programmes des collèges physique-chimie classe de cinquième, 5, 25 août 2005 programmes. <https://www.education.gouv.fr/bo/BoAnnexes/2005/hs5/hs5.pdf>

MEN (2006). Le socle commun de connaissances et de compétences. <http://cache.media.education.gouv.fr/file/51/3/3513.pdf>

MEN (2008). Programmes du collège, programme de l'enseignement de physique-chimie. Bulletin Officiel spécial de L'Éducation Nationale, 6, 28 Août 2008. https://cache.media.education.gouv.fr/file/special_6/52/7/Programme_physique-chimie_33527.pdf

MEN-DGESCO (2010). https://media.eduscol.education.fr/file/PC/66/5/Ressources_PC_former_evaluer_compétences_exp_grilles_144665.pdf

MEN (2010). Programme de physique-chimie en classe de seconde générale et technologique, 4, 29 avril 2010. https://cache.media.education.gouv.fr/file/special_4/72/9/physique_chimie_143729.pdf

MEN (2019a). Programme de physique-chimie de seconde générale et technologique https://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/98/9/spe634_annexe_1062989.pdf

MEN (2019b). Programme de physique-chimie de première générale. https://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/43/2/spe635_annexe_1063432.pdf

MEN (2019c). Programme de physique-chimie de terminale générale. https://cache.media.education.gouv.fr/file/SPE8_MENJ_25_7_2019/92/9/spe249_annexe_1158929.pdf

MEN (2019d). Programme d'enseignement Scientifique de La Classe de Première de La Voie Générale. <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Special1/MENE1901573A.htm>

MEN (2019e). Programme d'enseignement Scientifique de La Classe Terminale de La Voie Générale. : <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Special8/MENE1921241A.htm>.

MEN (2020). *Programme d'enseignement du cycle des approfondissements (cycle4)*, 31, 30 juillet 2020. <https://eduscol.education.fr/document/621/download>

MEN (2020). BO partie enseignement de la physique-chimie. https://cache.media.education.gouv.fr/file/31/89/1/ensel714_annexe3_1312891.pdf