

L'enseignement et l'apprentissage de la physique fondés sur l'investigation scientifique : entre guidage de l'enseignant et autonomie des élèves

Jean-Marie Boilevin

jean-marie.boilevin@univ-brest.fr

Université de Brest, université de Rennes 2, CREAD, F-35000 Rennes, France

Résumé

Face au phénomène de désaffection pour les études scientifiques, de nombreux rapports publiés en France et au niveau international proposent le plus souvent de renouveler les méthodes d'enseignement. Mais comment enseigner la physique à l'école obligatoire ? Les dispositifs d'enseignement prenant appui sur le problème de physique (démarche d'investigation, situation-problème, résolution de problème, etc.) très présents dans les curriculums actuels seraient-ils la solution ? Cet article se propose d'étudier le cas de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Une revue de littérature montre qu'il n'existe aucun consensus dans les curriculums comme dans les recherches en didactique des sciences sur une définition précise de ce que serait précisément ce type d'enseignement. De plus, les controverses scientifiques sont importantes sur le sujet de l'efficacité d'un tel type d'enseignement. A partir d'une approche théorique francophone développée par Chevallard, nous présenterons notre propre vision pour le cas de l'enseignement de la physique au secondaire. Puis, nous discuterons de la répartition des rôles possibles entre l'enseignant et ses élèves dans ce type d'activité en classe pour permettre des apprentissages. En effet, apprendre la physique suppose une négociation entre la rationalité de la physique et celle du sens commun. Du coup, enseigner la physique suppose, non seulement la maîtrise des savoirs disciplinaires mais également des modes de transmission en jeu et des connaissances en épistémologie pour comprendre les questions (et les réponses) auxquelles s'attache la physique. En s'appuyant sur des recherches menées notamment en France, nous aborderons finalement la question des types de guidage que devrait proposer l'enseignant pour permettre

Mots clés: autonomie, guidage, investigation scientifique, physique, enseignement

La enseñanza y el aprendizaje de la física basados en la investigación científica: entre la orientación del docente y la autonomía de los alumnos

Resumen

Ante el fenómeno del desinterés por los estudios científicos, numerosos informes publicados en Francia y a nivel internacional proponen, en la mayoría de los casos, renovar los métodos de enseñanza. Pero ¿cómo enseñar física en la escuela obligatoria? ¿Serían la solución los dispositivos de enseñanza basados en problemas de física (enfoque de investigación, situación-problema, resolución de problemas, etc.) muy presentes en los planes de estudio actuales? Este artículo se propone estudiar el caso de la enseñanza de las ciencias basada en la investigación. Una revisión de la literatura muestra que no existe consenso en los planes de estudio ni en las investigaciones sobre didáctica de las ciencias sobre una definición precisa de lo que sería exactamente este tipo de enseñanza. Además, existen importantes controversias científicas sobre la eficacia de este tipo de enseñanza. A partir de un enfoque teórico francófono desarrollado por Chevallard, presentaremos nuestra propia visión para el caso de la enseñanza de la física en la secundaria. A continuación, discutiremos la distribución de los posibles roles entre el maestro y sus alumnos en este tipo de actividad en el aula para permitir el aprendizaje. De hecho, aprender física supone una negociación entre la racionalidad de la física y la del sentido común. Por lo tanto, enseñar física supone no solo el dominio de los conocimientos disciplinarios, sino también de los modos de transmisión en juego y de los conocimientos en epistemología para comprender las preguntas (y las respuestas) a las que se refiere la física. Basándonos en investigaciones realizadas principalmente en Francia, abordaremos finalmente la cuestión de los tipos de orientación que debe ofrecer el profesor para permitir el desarrollo de la autonomía de sus alumnos en el aprendizaje de las ciencias basado en la investigación.

Palabras clave: autonomía, orientación, investigación científica, física, enseñanza

Teaching and learning physics based on scientific investigation: between teacher guidance and student autonomy

Abstract

Faced with the phenomenon of disaffection for scientific studies, many reports published in France and internationally propose to renew teaching methods. But how to teach physics in compulsory school? Would the teaching methods based on the physics problem (investigation approach, problem-situation, problem-solving, etc.), which are very present in current curricula, be the solution? This conference proposes to study the case of inquiry-based science teaching. A review of the literature shows that there is no consensus in curricula or in science didactics research on a precise definition of what this type of teaching would be. Moreover, there is considerable scientific controversy about the effectiveness of this type of teaching. Based on a French-speaking theoretical approach developed by Chevallard, we will present our own vision for the case of physics teaching in secondary schools. Then, we will discuss the distribution of possible roles between the teacher and his students in this type of classroom activity to enable learning. Indeed, learning physics implies a negotiation between the rationality of physics and that of common sense. As a result, teaching physics implies not only the mastery of disciplinary knowledge but also of the modes of transmission at stake and knowledge of epistemology in order to understand the questions (and answers) to which physics is attached. Based on research conducted in France, we will finally address the question of the types of guidance that teachers should offer to enable the development of students' autonomy in inquiry-based science learning.

Keywords: autonomy, guidance, inquiry, physics, teaching

O ensino e a aprendizagem da física baseados na investigação científica: entre a orientação do professor e a autonomia dos alunos

Resumo

Diante do fenômeno do desinteresse pelos estudos científicos, numerosos relatórios publicados na França e em âmbito internacional propõem, na maioria dos casos, a renovação dos métodos de ensino. Mas como ensinar física na escolaridade obrigatória? Os dispositivos de ensino baseados em problemas de física (abordagem investigativa, situação-problema, resolução de problemas etc.), muito presentes nos currículos atuais, seriam a solução? Este artigo propõe-se a estudar o caso do ensino de ciências baseado na investigação. Uma revisão da literatura mostra que não existe consenso nos currículos nem nas pesquisas em didática das ciências quanto a uma definição precisa do que seria exatamente esse tipo de ensino. Além disso, existem importantes controvérsias científicas sobre a eficácia desse tipo de abordagem. A partir de um referencial teórico francófono desenvolvido por Chevallard, apresentaremos nossa própria visão para o caso do ensino de física no ensino secundário. Em seguida, discutiremos a distribuição dos possíveis papéis entre o professor e seus alunos nesse tipo de atividade em sala de aula, de modo a possibilitar a aprendizagem. Com efeito, aprender física pressupõe uma negociação entre a racionalidade da física e a do senso comum. Portanto, ensinar física supõe não apenas o domínio dos conhecimentos disciplinares, mas também dos modos de transmissão envolvidos e de conhecimentos em epistemologia para compreender as perguntas (e as respostas) às quais a física se refere. Com base em pesquisas realizadas principalmente na França, abordaremos, por fim, a questão dos tipos de orientação que o professor deve oferecer para possibilitar o desenvolvimento da autonomia de seus alunos na aprendizagem das ciências baseada na investigação.

Palavras-chave: autonomia, orientação, investigação científica, física, ensino.

1. INTRODUCTION

Face au phénomène de désaffection pour les études scientifiques, de nombreux rapports ont été publiés en France et au niveau international. Mais la recherche en éducation a elle aussi étudié la question. Boilevin (2013, 2014, 2023¹) propose une synthèse des constats, des raisons avancées et des recommandations formulées pour lutter contre le phénomène de désaffection pour les études scientifiques. Cette analyse est aussi l'occasion

d'interroger les liens entre recherche en éducation scientifique et décideurs politiques et institutionnels, mais aussi de discuter des objectifs et des finalités de l'éducation scientifique, thèmes peu approfondis dans l'ensemble des rapports consultés.

Parmi les constats à peu près consensuels partagés par les chercheurs et les rapports d'origine institutionnelle, il ressort que les élèves du secondaire considèrent la physique comme très difficile et ennuyeuse. Un certain nombre de raisons sont avancées pour expliquer cette situation. Les unes, externes à la discipline, mettent en avant un malentendu entre élèves et enseignants qui

¹ Le présent article s'inspire grandement de cette précédente publication.

considèrent la physique enseignée comme élémentaire donc très simple, ou bien encore l'existence d'un décalage sociologique entre élèves et enseignants qui conduirait à une perte de repères, une perte du sens, une culture du zapping, une image dégradée de la science, une image des scientifiques éloignée de la réalité, etc. Les autres explications, internes à la discipline, concernent essentiellement les fondements épistémologiques de la physique : la nature des savoirs disciplinaires serait en cause. En effet, apprendre la physique exige un processus de négociation entre la rationalité de la physique et celle du sens commun. Cela conduit les didacticiens de la physique à orienter leurs travaux dans trois directions :

- Un repérage des obstacles à l'apprentissage par inférence : conceptions, raisonnements ;
- Des questionnements sur l'enseignement de la physique ;
- Des questionnements sur la physique et les contenus à enseigner.

De plus, quand on parle de physique et de son enseignement, il convient de préciser les savoirs qui servent de référence. En effet, de multiples références peuvent être prises en compte : les savoirs en physique, le fonctionnement de la physique, les pratiques des chercheurs, les pratiques des ingénieurs, des techniciens, les pratiques quotidiennes, etc.

Concernant l'enseignement de la physique, plusieurs modalités sont envisagées : des activités de résolution de problème ; des activités expérimentales ; des activités de modélisation ; un enseignement fondé sur l'investigation scientifique.

2. ENSEIGNEMENT ET APPRENTISSAGE DES SCIENCES FONDES SUR L'INVESTIGATION

Différents textes institutionnels évoquent la place de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation (ESFI) dans l'éducation scientifique et technologique (National Research Council, 2000; Eurydice, 2006; Rocard et al., 2007; OCDE, 2007) et plusieurs curricula dans le monde déclinent cette démarche d'enseignement sous des formes plus ou moins voisines (Gouvernement du Québec, 2005; Government of the United Kingdom, 2015; Ministère français de l'Éducation nationale, 2015). Mais il n'existe pas de réel consensus pour définir l'ESFI. L'enjeu essentiel est de renouveler les pratiques d'enseignement des sciences et des technologies (parfois des mathématiques) en cherchant à rendre l'apprentissage plus actif et plus motivant et en proposant aux élèves des tâches plus ouvertes leur laissant plus d'autonomie (Boilevin, 2013; Calmettes, 2012). Il s'agit ainsi de passer d'activités centrées sur des apprentissages manipulatoires ou conceptuels, organisées en démarches stéréotypées, à un enseignement fondé sur des investigations ouvertes avec

élaboration de questions, formulation d'hypothèses, etc. Ces changements de curricula s'accompagnent de réflexions et de recommandations sur la formation des enseignants (Eurydice, 2006; Rocard et al., 2007).

L'ESFI a fait l'objet de très nombreux travaux de recherche tant au niveau international que français comme le montrent notamment Bachtold (2012), Blanchard et al. (2010), Boilevin (2013, 2017) ou bien encore Venturini et Tiberghien (2012). Et l'intérêt de cette démarche d'enseignement des sciences reste toujours d'actualité car les revues de littérature et autres méta-analyses sur ce sujet font toujours l'objet de publications (Antonio et Prudente, 2024; Muhamad Dah et al., 2024; Urdanivia Alarcon et al., 2023). Cependant, la plupart de ces écrits évoquent l'absence de consensus à propos d'une définition de l'ESFI.

Pour clarifier la réflexion didactique sur l'ESFI, un cadre théorique semble nécessaire. Lorsqu'on s'intéresse à l'enseignement d'une discipline scolaire, la question de sa relation avec les disciplines scientifiques de référence se pose inévitablement. Le concept de transposition didactique semble alors très pertinent.

Avant et au cours de son introduction dans le système didactique, le savoir subit des modifications se déployant dans une temporalité particulière (le temps didactique). Cet « apprêt » du savoir à enseigner ne peut se résumer à une « simplification ». La description de ce phénomène constitue la transposition didactique, concept devenu d'usage courant dans les diverses didactiques des disciplines et en sciences de l'éducation. Développé par Chevallard (1991) dans le champ de la didactique des mathématiques, il tient son origine dans le travail sociologique de Verret (1975) consacré à l'enseignement de la philosophie. Pour cet auteur, le phénomène de transposition porte sur les savoirs qui subissent des transformations nécessaires afin d'être transmis. Le savoir mobilisé au cours de cette transmission diffère, d'une part, du savoir mobilisé dans la transmission scientifique, et d'autre part, du savoir tel qu'il est inventé ou tel qu'il est mis en œuvre. Cette transposition est soumise à un ensemble de contraintes et obéit à des règles décrites par Chevallard (1991). Il s'agit d'un phénomène normal auquel nul ne peut échapper lorsqu'il veut transmettre un savoir. Ni « bonne », ni « mauvaise », la transposition didactique est inévitable. Elle crée un cadre nouveau, enserré dans des contraintes bien précises qu'il s'agit d'identifier pour les maîtriser.

La transposition didactique distingue ainsi :

- Les savoirs de référence
- Les contenus à enseigner (curricula) : choix de certains savoirs de référence
- Les contenus effectivement enseignés
- Les contenus « appris » par les élèves

- Les contenus d'apprentissage évalués dans le système didactique ou bien en externe au système enseignement

Le cadre théorique de la transposition didactique permet de clarifier le positionnement didactique et d'orienter ainsi les recherches sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences fondé sur l'investigation. En prenant en compte de multiples références comme les savoirs en sciences, le fonctionnement des sciences et les pratiques des chercheurs scientifiques, l'ESFI apparaît ainsi comme une démarche d'enseignement des sciences entretenant des rapports avec les démarches scientifiques. Cinq niveaux en rapport avec l'investigation peuvent alors être distingués (Boilevin, 2013) :

- Ce que font les scientifiques : les démarches scientifiques ;
- Ce qu'en disent les curricula (programmes scolaires) ;
- Ce que font les enseignants, notamment ce qu'ils font faire à leurs élèves ;
- Ce que font les élèves, ce qu'ils apprennent, comment ils l'apprennent ;
- Ce qui est évalué par les enseignants ou par l'institution.

Ces cinq niveaux permettent de définir l'enseignement et l'apprentissage scientifique fondé sur l'investigation et d'analyser en particulier la transposition entre chaque niveau.

Si l'on considère que les enjeux d'apprentissage de la physique sont centrés sur une meilleure compréhension de la physique par le citoyen et la formation de scientifiques, trois dimensions sont à développer en suivant le point de vue de Hodson (2014) : apprendre de la physique, apprendre sur la physique et apprendre à faire de la physique. L'ESFI semble un bon candidat pour mettre en œuvre ces principes. Mais ce type d'enseignement doit remplir certaines conditions pour permettre ces apprentissages (Boilevin, 2017). Il doit amener les élèves à s'engager dans des contenus scientifiques en leur proposant 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 (quelle autonomie des élèves ?) et le niveau d'intervention de l'enseignant (quel guidage ?), on peut alors distinguer des investigations plus ou moins complètes. Cela conduit à interroger l'autonomie des élèves selon le type de guidage proposé par l'enseignant (Boilevin, 2023; Ramnarain, 2020).

En tenant compte de tous les éléments avancés précédemment, il semble possible de définir des conditions

pour que se réalise un apprentissage fondé sur l'investigation en classe de physique :

- Présence de contenus scientifiques ;
- Des tâches ou des problèmes à résoudre requérant des activités cognitives et expérimentales ;
- Des discussions argumentatives et des communications entre pairs ;
- Une structuration des connaissances.

L'ambition de ce nouveau mode d'enseignement serait de faire évoluer l'image de la physique à l'école. Mais des clarifications sont nécessaires d'un point de vue épistémologique et didactique pour préciser les objectifs d'apprentissage visés par cette forme d'enseignement des sciences et plus généralement pour expliciter les finalités d'un enseignement des sciences

3. INTERACTIONS ENSEIGNANT-ELEVES

Depuis quelques années, les travaux des didacticiens des sciences, sous l'influence de différents domaines dont les sciences du langage, s'intéressent aux interactions langagières dans l'étude des situations d'apprentissage (Peterfalvi et Jacobi, 2003). Ainsi, Mortimer et Scott (2003) interrogent les types de communication scolaire mis en place et ils proposent une typologie autour de deux dimensions (autoritaire / dialogique et interactif / non interactif) qui permet d'analyser les interactions en classe de sciences. De leur côté, Weil-Barais et Dumas-Carré (1998), abandonnant la vision classique de la communication scolaire (émetteur-récepteur), cherchent à comprendre comment les interactions didactiques contribuent aux processus de construction des connaissances à l'aide des concepts de tutelle et de médiation en éducation scientifique (TMES).

3.1. Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique

De nombreuses recherches centrées sur l'étude des interactions éducatives adoptent un point de vue selon lequel les interactions interindividuelles prennent une place centrale dans les processus d'acquisition de connaissances (Dumas-Carré et Weil-Barais, 1998). « La connaissance n'est plus considérée comme une relation entre des individus et des objets mais comme une relation entre des personnes et des propositions tenues pour vraies eu égard à des conventions partagées » (Weil-Barais et Dumas-Carré, 1998, p. 4). Le cadre théorique du groupe de recherche TMES prend appui sur des emprunts au constructivisme, à l'interactionnisme social et à un certain relativisme épistémologique pour développer :

-une conception des interactions sociales qui amène les élèves à construire leurs connaissances au cours d'échanges avec quelqu'un de plus expert et avec

leurs pairs, le sujet discuté étant une situation physique, une conceptualisation, une modélisation ou une explication ;

-une conception de la communication selon laquelle les significations sont construites au cours de l'interaction ;

-une conception selon laquelle les connaissances scientifiques sont validées par la communauté scientifique à un moment donné de son histoire.

La prise en compte de ces trois points de vue amène à repenser la place de l'élève et de l'enseignant dans les interactions didactiques. L'interactivité qui vise l'apprentissage de savoirs par les élèves se traduit par des échanges verbaux qui peuvent être de natures différentes mais complémentaires. Selon les auteurs, les interactions peuvent être qualifiées d'interactions de tutelle ou d'interactions de médiation. « L'appropriation des connaissances par les élèves nécessite en effet ces deux modes d'interactivité et il semble utile que les professeurs parviennent à les maîtriser et à les instaurer, selon les intentions didactiques et les besoins des élèves » (Weil-Barais, 1998).

La tutelle est un guidage vers une connaissance nouvelle. Pour Bruner (1983), l'interaction de tutelle ou guidage est « une entreprise de collaboration à travers laquelle on aide l'enfant à se développer ». Elle correspond à un « processus d'étayage qui rend l'enfant ou le novice capable de résoudre un problème, de mener à bien une tâche ou d'atteindre un but qui auraient été, sans cette assistance, au-delà de ses possibilités ». L'étayage est défini autour des points suivants : l'enrôlement de l'élève, la réduction des degrés de liberté dans la réalisation de la tâche, le maintien de l'orientation définie, la signalisation des caractéristiques déterminantes pour l'exécution de la tâche, le contrôle de la frustration de l'enfant et la démonstration. 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 (Weil-Barais, 1998). L'action de tutelle est considérée comme efficace s'il y a adéquation entre les conduites des élèves et les intentions de l'action du tuteur.

Pour sa part, le concept de médiation recouvre des sens très différents suivant le champ d'utilisation. Dans la théorie de Vygotski, les activités humaines sont ainsi considérées comme socialement médiatisées. Pour Gilly (1995), le rôle de la médiation sociale est essentiel « dans les rapports entre l'individu et son environnement (médiation par les outils) et dans l'activité psychique intra-individuelle (médiation par les signes) ». La fonction de l'adulte consiste essentiellement à fournir les intermédiaires sémiotiques, principalement le langage, pour amener l'enfant, après intériorisation, à l'autonomie.

S'inspirant de la conception de la médiation dans le champ de l'intervention sociale, Weil-Barais et Dumas-Carré (1998, p. 8) définissent la médiation scolaire comme « un processus visant à prévenir et/ou à résoudre un conflit ou une difficulté cognitive ... une stratégie de prévention et de résolution des incompatibilités cognitives [...] la notion de médiation considère l'intervention verbale comme un acte » et non comme « une simple expression d'un savoir à transmettre et/ou d'une représentation mentale indépendante de l'énoncé et du contexte de l'énonciation ». Dans les interactions de médiation, l'enseignant négocie avec les élèves les changements cognitifs. Ces changements ont trait aux significations, aux règles, aux normes et aux conventions. « Le concept de signification partagée émergeant dans les échanges prend le pas sur le concept d'information faisant l'objet de traitements » (Weil-Barais et Dumas-Carré, 1995, p. 3). S'inspirant du concept d'*intercompréhension*² défini par Habermas (1987), la médiation est ainsi considérée par ces auteures comme un processus où se construit une coréférence, condition d'un langage partagé, commun à l'ensemble des participants (Weil-Barais et Dumas-Carré, 1995). La médiation se caractérise alors par une reconnaissance des différences entre les savoirs des élèves et les savoirs constitués dont l'enseignant est le garant, ainsi que par une reconnaissance de l'aspect potentiellement conflictuel de la construction de ces savoirs.

Il semble en particulier que la TMES permette d'affiner l'analyse du rôle et de la posture du professeur dans le jeu didactique. Weil-Barais et Dumas-Carré avancent en effet l'hypothèse selon laquelle « le rapport au savoir que ces différentes formes d'interactions instaurent n'est pas le même. [...] dans le cadre de la tutelle, c'est l'exécution des tâches qui détermine les interventions du professeur, alors que dans un cadre de médiation, c'est le rapport au savoir qui est travaillé. On peut ainsi attendre d'une spécification des modalités interactives qu'elle permette de préciser l'espace de construction du savoir offert à l'élève » (Weil-Barais et Dumas-Carré, 1998, p. 8). Ces deux types d'interaction tutelle et médiation présentent des points communs :

- encouragements,
- invitation à l'explication,
- rappel de l'attention.

De plus, trois critères peuvent être utilisés pour les différencier dans les transcriptions :

- Répartition de la durée du discours, mode de prise de parole
- Guidage des tâches complexes

² Pour Habermas (1987) la raison est par essence communicationnelle et elle appelle le débat. Cet auteur définit alors le concept d'*intercompréhension*, vue comme une négociation coopérative en vue d'obtenir des définitions communes de situations.

- Prise en compte des erreurs

Mais le cadre TMES amène à s'interroger sur la place réservée à l'élève dans les interactions en classe. La TMES considère en effet ce dernier comme un individu à part entière avec des connaissances déjà acquises, des systèmes de valeurs, etc. et qui peut les exprimer, les utiliser, les évaluer si on lui laisse de la place et du temps pour cela. La TMES invite alors à proposer des situations d'enseignement amenant l'élève à positionner ses propres connaissances par rapport aux savoirs constitués pour en faciliter l'acquisition. Ces dernières perspectives amènent à s'interroger à l'autonomie des élèves et à son développement dans les situations de classe.

3.2. Développement de l'autonomie des élèves en science

Les recherches en didactique sur le développement de l'autonomie des élèves en sciences se développent peu à peu, que ce soit dans un contexte francophone ou international. Elles répondent à un enjeu social essentiel qui voit les enseignements à distance se multiplier (la crise sanitaire mondiale du Covid a accentué cette pratique), livrant le plus souvent les élèves à eux-mêmes.

Le concept d'autonomie est un concept général mentionné dans différents travaux qui recouvre plusieurs dimensions et qui est présent dans de nombreux champs de recherche des sciences humaines (cf. glossaire IDEE, 2018). Il est le plus souvent non défini et associé à d'autres notions pouvant également être croisées : autonomie et autoformation ; autonomie et numérique ; autonomie et compétence ; autonomie et motivation ; autonomie et engagement ; autonomie et socialisation, etc. Par exemple, pour Foray (2017), l'autonomie est « la capacité à agir par soi-même, à choisir et à penser par soi-même ». Mais comme le souligne Ravez (2020), cette vision fonctionnelle de l'autonomie est insuffisante dans le contexte scolaire : « cette capacité à agir a par ailleurs à voir avec la construction d'une indispensable autonomie intellectuelle », visant ainsi un idéal émancipateur (Freire, 1996).

De son côté, la théorie de l'autodétermination issue de la psychologie et de la théorie de la motivation (Deci et Ryan, 2000; Ryan et Deci, 2017) aborde les liens entre autonomie et apprentissages en distinguant plusieurs types de motivation dépendant des interactions entre chaque individu et son environnement social. Au sein de ce courant de recherche, “autonomy is understood as the inherited fundamental propensity of any living organism to be self-organized and self-ruled” (Chirkov, 2009, p. 254). Patall et Zambrano (2019), dans une récente synthèse des résultats de ce type de travaux, repèrent plusieurs éléments apparaissant comme essentiels à un style d'enseignement favorable à l'autonomie : a) laisser faire des choix aux élèves et prendre en compte leurs contributions, b) fournir des explications ou des justifications de la pertinence

personnelle de l'apprentissage, c) être ouvert et à l'écoute des perspectives des élèves, d) accepter plutôt que de supprimer l'affect négatif et la résistance des élèves, e) utiliser le langage pour inviter et informer, au lieu de contrôler, f) susciter et intégrer la curiosité et l'intérêt des élèves pour le contenu de l'apprentissage. Pour elles, une des raisons des difficultés rencontrées par les enseignants pour développer l'autonomie des élèves peut simplement refléter la confusion concernant la nature du soutien à l'autonomie par rapport au chaos éventuel dans la classe et la nature de la structuration des activités par rapport au contrôle. Les enseignants peuvent également adopter des pratiques de contrôle dans la classe en raison de diverses pressions exercées en interne ou en externe.

En prenant appui sur la théorie de l'autodétermination, certains travaux en didactique des sciences étudient les liens entre autonomie, considérée comme une composante de la motivation, et les apprentissages en sciences (Basten *et al.*, 2014; Black et Deci, 2000; Großmann et Wilde, 2020; Hofferber *et al.*, 2016; Jungert et Koestner, 2015; Vedder-Weis et Fortus, 2018; Wang et Tsai, 2020; Zhang *et al.*, 2020).

S'éloignant de cette théorie, le projet Interactions Digitales pour l'Enseignement et l'Éducation (projet IDEE³, réponse retenue à l'appel eFRAN), et plus précisément le volet Collectifs d'Enseignants et Ressources pour l'Autonomie Didactique (CERAD), utilise un cadre théorique original à propos de la définition de l'autonomie et des différentes catégories pouvant éclairer ce qui se joue en classe. En effet, selon Albero (2013, p. 100), l'autonomie peut être envisagée comme « une disposition potentielle qui s'actualise différemment au cours de la vie et à partir de la mobilisation intentionnelle et réfléchie d'un ensemble concourant de capacités de la part de sujet mais aussi selon les conditions extérieures plus ou moins favorables à leur développement ». Cette auteure (Albero, 2004) distingue plusieurs domaines de l'autonomie requis dans une situation d'enseignement et d'apprentissage : technique, informationnel, méthodologique, social, cognitif, métacognitif et psychoaffectif. Grimault-Leprince (2017) a montré que ces domaines sont adaptés au contexte scolaire ordinaire. En complément, Albero et Eneau (2017) proposent plusieurs principes structurants pour caractériser la notion d'autonomie. Pour ces auteurs, l'autonomie constitue un phénomène dynamique et transitoire, un processus fragile, jamais totalement acquis ou totalement stable. Il suffit que l'environnement ne soit pas propice pour que ces traits d'autonomie se délitent et que ce processus émergent n'ait plus lieu. Il est également réversible. On peut d'ailleurs observer des processus de perte d'autonomisation et de dés-autonomisation. Ces éléments amènent Albero et Eneau (2017) à parler, comme

³Opération soutenue par l'État dans le cadre du volet e-FRAN du Programme d'investissement d'avenir, opéré par la Caisse des Dépôts en France

le propose Candy (1989), de *processus d'autonomisation* ou de degré d'autonomie plutôt que *d'autonomie*.

Les études menées par l'équipe CERAD (Gueudet et Lebaud, 2019; Boilevin et al., 2021) concernent plusieurs disciplines scolaires (anglais, mathématiques, physique et chimie) et s'appuient sur ce point de vue pour dépasser l'aspect statique et décontextualisé des définitions existantes, et évoquées précédemment. Ainsi, l'autonomie est 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 » (Glossaire IDEE, 2018). Cependant, cette définition renvoie essentiellement aux formes transversales du processus d'autonomisation. En suivant Gueudet et Lebaud (2019), deux types d'autonomie peuvent être distinguées : l'*autonomie pédagogique* concerne des éléments d'organisation du travail personnel de l'élève, d'implication dans le travail en classe ; l'*autonomie didactique* concerne, quant à elle, la réalisation de tâches particulières et la mobilisation de ressources internes et externes spécifiques de savoirs disciplinaires (Athias et al., 2019; Gueudet & Lebaud, 2019). Par exemple, en physique, il peut s'agir de réaliser des mesures en mobilisant un ou des appareils dédiés et des savoirs conceptuels particuliers (par ex. déterminer la valeur de l'intensité électrique dans un circuit) ou bien concevoir et mettre en œuvre une démarche d'investigation scientifique pour résoudre un problème.

Dans la continuité de ces travaux, El Hage (2024, 2025) propose un cadre d'analyse de l'autonomie en classe de physique dénommé (autonomie transversale et autonomie didactique disciplinaire, At et A2d). Cette auteure (El Hage, 2025) décline At et A2d chacun « en sept domaines construits autour d'une série d'indicateurs ... créés sur la base des indicateurs génériques proposés par Albero (2004). Pour les indicateurs de l'A2d, El Hage (2025) utilise comme arrière-plans théoriques, les relations de modélisation, fondatrices de l'élaboration des savoirs en physique, au cœur de l'enseignement de cette discipline (Tiberghien, 1994) d'une part, et la sémiotique permettant de communiquer les éléments du savoir en classe de physique (Béchu-Robinault, 2015), d'autre part ». De plus, El Hage (2025) choisit « de prendre en compte des éléments psychologiques et motivationnels de l'élève (Deci & Ryan, 2000) qui permettent de ne pas réduire ce dernier à un sujet épistémique. Tout cela amène donc à la singularisation des indicateurs de l'At au regard de la nature des savoirs et savoir-faire susceptibles d'être activés dans la classe de physique ».

Ce cadre conceptuel insiste sur le fait que l'autonomie est un processus dynamique et multidimensionnel qui influence l'apprentissage des élèves. De plus, il met en avant un certain nombre de conditions permettant de développer ce processus d'autonomisation. Enfin, les

différentes distinctions du terme autonomie permettent de documenter comment les enseignants définissent d'une part l'autonomie transversale (pédagogique) et l'autonomie didactique des élèves en classe de physique. En particulier, il permet d'identifier quelles dimensions du processus d'autonomisation sont privilégiées par les enseignants (El Hage et al., 2021, 2022; Le Bouil et al., 2021).

De plus, ce cadre conceptuel devrait permettre d'étudier les moyens mobilisables pour développer l'autonomie pédagogique et didactique des élèves en identifiant les contraintes et les leviers évoqués par les enseignants de physique. Les résultats des études en cours viendront ainsi enrichir la littérature abordant plus spécifiquement les rôles de l'enseignant dans le soutien à l'autonomie et au processus d'autonomisation (Basri, 2023; Berger et Girardet, 2016; Furtak et Kunter, 2012 ; Ramnarain, 2020 ; Stefanou et al., 2004 ; Tan et al., 2023) en proposant une granularité d'analyse plus fine.

4. DISCUSSION -CONCLUSION

Comme le soulignent Bressoux (2013) ou bien Calmettes et Boilevin (2014), le bien fondé des démarches d'investigation est fortement discuté par certaines publications et donnent lieu à de véritables controverses. Pour Kirschner et al. (2006), il n'existerait pas de travaux montrant la supériorité de ce type de démarches en termes d'apprentissages des élèves par rapport à un enseignement qualifié d'explicite. Certaines études mettent en évidence une tendance plutôt négative ou non significative des effets de ces démarches sur l'apprentissage des élèves (Klahr & Nigam, 2004; Lee et al., 2006; Lederman et al., 2007) alors que d'autres montrent un effet globalement positif de ces démarches sur l'apprentissage de certains savoirs scientifiques (Gibson & Chase, 2002; Wilson et al., 2010). Pour leur part, De Jong et al. (2023), ainsi que Sweller et al. (2024), discutent de la supériorité de l'ESFI en termes d'apprentissages par rapport à un enseignement plus direct et explicite ou bien de leur combinaison. Néanmoins, comme le montrent Perron et al., ces différents travaux de recherche tendent à montrer que ce n'est pas tant l'enseignement basé sur l'investigation qui engendre des effets à tendance négative sur l'apprentissage des élèves, mais leur manque de connaissances suffisantes pour tirer les bénéfices d'un tel type d'enseignement.

De leur côté, Coburn et al. (2010) et Hmelo-Silver & al. (2007) ajoutent qu'il ne faut pas oublier les interventions de l'enseignant et donc ne pas confondre activités de « pure découverte » et activité d'investigation. En suivant ces auteurs, les travaux que nous avons évoqués ci-dessus, s'appuyant sur le cadre de TMES ou bien encore sur le développement de l'autonomie d'apprentissage des élèves en physique (cadre AtA2d), ouvrent, nous semble-t-il, des perspectives intéressantes mettant l'accent sur les interactions en classe de physique. En effet, les méthodes d'enseignement de la physique basé sur l'investigation modifient profondément la relation didactique et il n'est

pas étonnant que les enseignants rencontrent des difficultés dans la construction et dans la mise en place de nouveaux contrats didactiques. Ce type de démarche d'enseignement constitue une nouvelle classe de situations à gérer par les enseignants, qu'ils soient débutants ou expérimentés, et nécessite donc une formation adaptée.

5. REFERENCES

- Albero, B. (2004). L'autoformation dans les dispositifs de formation ouverte et à distance : instrumenter le développement de l'autonomie dans les apprentissages. In I. Saleh, D. Lepage & S. Bouyahi (Eds.), *Les TIC au cœur de l'enseignement supérieur, Actes de la journée d'étude du 12 novembre 2002*, Laboratoire Paragraphe, Université Paris VIII (pp. 139-159). Vincennes - St Denis, France: Actes Huit.
- Albero, B. (2013). L'analyse de l'activité en sciences de l'éducation : entre aspirations scientifiques et exigences pragmatiques. *Travail & Apprentissage*, 12, 94-117.
- Albero, B. et Eneau, J. (2017). *Autonomie, apprentissages, formation : délimitations et instruments conceptuels*. Séminaire IDEE oct. 2017. Rennes : France.
- Antonio, R.P. et Prudente M.S. (2024). Effects of inquiry-based approaches on students' higher-order thinking skills in science: A meta-analysis. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology*, 12(1), 251-281.
- Athias, F., Barrué, C., Besnier, S. et Joffredo-Le Brun, S. (2019). Autonomie des élèves et ressources numériques. *Educational J. of the University of Patras UNESCO Chair*. 6(1), 142-150.
- Bächtold, M. (2012). *Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation*. Tréma, 38, 6-39.
- Basri, F. (2023) Factors influencing learner autonomy and autonomy support in a faculty of education, *Teaching in Higher Education*, 28(2), 270-285.
- Basten M., Meyer-Ahrens I., Fries S. et Wilde M. (2014). The Effects of Autonomy-Supportive vs. Controlling Guidance on Learners' Motivational and Cognitive Achievement in a Structured Field Trip. *Science Education*, 98(6), 1033-1053.
- Béchu-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/>
- 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.
- Black A. et 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. et 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.
- Boilevin, J.-M. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques*. Bruxelles : De Boeck.
- Boilevin, J.M. (2014). Désaffection pour les études scientifiques et recherche en éducation scientifique. *Review of science, mathematics and ICT Education*, 8(2), 5-23.
- 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 & V. Munier (Dir.), *Epistémologie et didactique* (pp. 195-220). Presses Universitaires de Franche-Comté.
- Boilevin, J.-M. (2023). Inquiry-based science education: between teacher guidance and student autonomy in learning physics. *Young Scholar Symposium on Science and Mathematics Education, and Environment (YSSSEE 2021*, Bandar Lampung, Indonesia). *American Institute of Physics Conference Proceedings*, 2595(1).
- 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. In M.-H. Hyndricks & C. Poffé, *Actes des 11èmes Rencontres scientifiques de l'ARDIST* (pp. 195-202), Bruxelles, Belgique.
- Bressoux, P. (2013). Deuxième contrepoint. Les démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences : mises au point et mises en garde. Dans M. Grangeat (dir.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation* (p. 237-243). Presses universitaires de Grenoble.
- Bruner, J.S. (1983). *Le développement de l'enfant : savoir faire, savoir dire*. Paris : PUF).
- Calmettes, B. (2012). *Démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*. Paris : L'Harmattan.
- Calmettes, B. et Boilevin, J.-M. (2014). Le modèle « investigation-structuration » et l'actualité des tensions autour des constructivismes. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 9, 103-128.
- Candy, P. (1989). Constructivism and the study of self-direction in adult learning. *Studies in the Education of Adults*, 21, 95-116.

- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage Editions.
- Chirkov, V.-I. (2009). A cross-cultural analysis of autonomy in education. A self-determination theory perspective. *Theory and Research in Education*, 7(2), 253-262.
- Coburn, W.W., Schuster, D., Adams, B., Applegate, B., Skjold, B., Undreiu, A., Loving, C.C. et Gobert, J.D. (2010). Experimental comparison of inquiry and direct instruction in science. *Research in Science & Technology Education*, 28(1).
- de Jong , A., Lazonder, A.W., Chinn, C.A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C.E., Koedinger, K.R., Krajcik, J.S., Kyza, E.A., Linn, M.C., Pedaste, M., Scheiter, K. et Zacharia, Z.C. (2023). Let's talk evidence – The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, 39.
- Dumas-Carré, A. et Weil-Barais, A. (1998). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Berne : Peter Lang.
- Deci, E.L. et Ryan, R.M. (2000). The “what” and “why” of goal pursuits: human needs and the selfdetermination of behavior, *Psychological Inquiry*, 11(4), 227-268.
- Dumas-Carré, A. et Weil-Barais, A. (1998) *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Berne : Peter Lang.
- El Hage, S. (2025). Un cadre d'analyse didactique de l'autonomie des élèves et de son développement par les enseignants en classe de physique. *Recherches en éducation*, 57, 153-171.
- El Hage, S. (2024). Vers un cadre d'analyse de l'autonomie des élèves en classe de physique. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 18(1), 77-96.
- 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. <https://doi.org/10.26220/rev.3826>.
- El Hage, S., Boilevin, J. -M. et El Hajjar, D. (2022). Autonomie des élèves français en physique au lycée : Points de vue d'enseignants. In P. Venturini & L. Pélissier (Dir.), *Actes du 12ème rencontres scientifiques de l'Association de Recherche en Didactiques, Sciences et Technologies* (pp. 507-512). Toulouse, France.
- Eurydice. (2006). *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. États des lieux des politiques et de la recherche*. Bruxelles : Commission européenne, Direction générale de l'éducation et de la culture.
- Foray, P. (2017). Autonomie. *Le Télémaque*, 51, 19-28.
- Freire, P. (1996). *Pedagogy of Autonomy: Necessary Knowledge of Educational Practice*. São Paulo: Paz e Terra.
- Furtak, E.-M. et Kunter, M. (2012). Effects of autonomy-supportive teaching on student learning and motivation. *The Journal of Experimental Education*, 80(3), 284-316.
- Gibson, H.L. et Chase, C. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science Education*, 86(5), 693-705.
- Gilly, M. (1995). Approche socio-constructives du développement cognitif. In D. Gaonac'h & C. Golder. *Manuel de psychologie pour l'enseignement* (pp. 130-167). Paris : Hachette.
- Gouvernement du Québec. (2005). *Guide d'accompagnement des programmes de sciences*. Québec : Ministère de l'Éducation, des Loisirs et du Sport.
- Government of the United Kingdom. (2015). *National curriculum in England: science programmes of study*, England, Department for Education.
- Grimault-Leprince, A. (2017). *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.
- Großmann, N. et 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 Lebaud, M.-P. (2019). Développer l'autonomie des élèves en mathématiques grâce au numérique. 1. Différentes dimensions de l'autonomie, *Petit x*, 109, 3-16.
- Habermas, J. (1987). *Théorie de l'agir communicationnel*. Paris : Fayard.
- Hmelo-Silver, C.E., Duncan, R.G. et Chinn, C.A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning. Response to Kirschner, Sweller (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science: Different goals demand different learning methods », *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553.
- Hofferber, N., Basten, M., Großmann, N. et Wilde, M. (2016). The effects of autonomy-supportive and controlling teaching behaviour in biology lessons with primary and secondary expériences on students' intrinsic motivation and flow-experience. *International Journal of Science Education*, 38(13), 2114-2132.

IDEE Glossary. (2018) Autonomie : définition. Glossaire des notions et concepts <https://www.interactik.fr/portail/web/se-documenter/projet-idee-glossaire-des-notions-et-concepts>.

Jungert, T. et Koestner, R. (2015). Science adjustment, parental and teacher autonomy support and the cognitive orientation of science students. *Educational Psychology*, 35(3), 361-376.

Kirschner, P.A., Sweller, J. et Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.

Klahr, D. et Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological science*, 10(15), 661-667.

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.

Lee, O., Buxton, C., Lewis, S. et LeRoy, K. (2006). Science inquiry and student diversity: enhanced abilities and continuing difficulties after an instructional intervention. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(7), 607-636.

Lederman, J.S., Lederman, N.G., Wickman, P.O. et Lager-Nyqvist, L. (2007). *An international, systematic investigation of the relative effects of inquiry and direct instruction*. Sweden: European Science Education Research Association.

Ministère de l'Éducation Nationale. (2015). *Programme de sciences et technologie du collège*. Paris.

Mortimer, E. et Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Buckingham: Open University Press.

Muhamad Dah, N., Mat Noor, M. S. A., Kamarudin, M. Z. et Syed Abdul Azziz, S. S. (2024). The impacts of open inquiry on students' learning in science: A systematic literature review. *Educational Research Review*, 43, 100601.

National Research Council. (2000). *Inquiry and national science education standards*. Washington: The National Academic Press.

OCDE. (2007). *Les compétences en sciences, un atout pour réussir, Analyse des résultats*. Paris : OCDE.

Patall, E. A. et 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.

Peterfalvi, B. et Jacobi, D. (2003). Les interactions langagières entre processus et matériaux pour la recherche. *Aster*, 37, 3-15.

Ramnarain, U.D. (2020). Exploring the Autonomy of South African School Science Students when Doing Investigative Inquiries for a Science Fair. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(12).

Ravez, C. (2020). Développer le(s) sens de l'autonomie à l'école ... et à la maison ? IFE-ENS.

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson H. et Hemmo, V. (2007). *Science Education now: a renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels: EC Directorate for Research.

Ryan, R.-M. et Deci, E.-L. (2017). *Self-determination theory. In basic psychological needs in motivation, development, and wellness*. Guilford Press.

Stefanou C. R., Perencevich K. C., Dicintio M. et Turner J. C. (2004). Supporting autonomy in the classroom: Ways teachers encourage student decision making and ownership. *Educational Psychologist*, 39, 97-110.

Sweller, J., Zhang, L., Ashman, G., Coburn, W. et Kirschner, P.A. (2024). Response to De Jong et al.'s (2023) paper "Let's talk evidence – The case for combining inquiry-based and direct instruction". *Educational Research Review*, 42, 100584.

Tan, L., Wei, B. et 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.

Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching – learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.

Urdanivia Alarcon, D.A., Talavera-Mendoza, F., Rucano Paucar, F.H., Cayani Caceres, K.S., et Machaca Viza R. (2023) Science and inquiry-based teaching and learning: a systematic review. *Frontiers in Education*, 8.

Venturini, P., & Tiberghien, A. (2012). Mise en œuvre de la démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : Étude de cas au collège. *Revue Française de Pédagogie*, 180, 95-1220.

Vedder-Weiss, D. et 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.

Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Paris : Honoré Champion.

Vygotski, L.S. (1934/1962). *Thought and Langage*. Cambridge Ma: MIT Press.

Wang Y. et 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 and Mathematics Education*, 18, 43-59.

Weil-Barais, A. (1998). Introduction. In A Dumas-Carré and A Weil-Barais. *Tutelle et médiation dans l'enseignement et la formation* (pp. 4-6). Paris : Rapport final Université Paris 7 LIREST – GDSE P7.

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

Weil-Barais, A. et Dumas-Carré, A. (1998). Les interactions didactiques : tutelle et / ou médiation ? In A. Dumas-Carré et A. Weil-Barais, *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique* (pp. 1-15). Berne: Peter Lang.

Wilson, C. D., Taylor, J. A., Kowalski, S. M. et Carlson, J. (2010). The relative effects and equity of inquiry-based and commonplace science teaching on students' knowledge, reasoning, and argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(3), 276-301.

Zhang, D., Bobis J., Wu, X. et 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.