



QUESTIONS CRITIQUES DANS L'APPRENTISSAGE ET L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLESⁱ

James Rodriguezⁱⁱ

MSc, Teacher-Researcher,
Primary Education,
Canada

Résumé :

Cet article présente et discute certaines questions clés sur l'apprentissage et l'enseignement des sciences dans une perspective de didactique des sciences moderne. Cette approche tente de distinguer l'enseignement scientifique contemporain des efforts traditionnels et souligne l'accent mis sur le niveau de la recherche éducative qui est principalement orientée vers l'approfondissement de nos connaissances sur les questions liées à la nature de l'apprentissage et de l'enseignement, l'apprentissage lié au développement de l'enfant. La discussion a également porté sur l'importance d'étudier le passage d'une connaissance empirique et intuitive à une connaissance compatible avec la connaissance scientifique basée sur la contribution de diverses connaissances tirées de l'épistémologie et de la psychologie qui sont opérationnelles dans la didactique contemporaine.

Mots-clés : enseignement des sciences physiques et naturelles, didactique, psychologie et épistémologie de l'apprentissage

Abstract:

The present learners' dissatisfaction with their assessment scores in terms of their use, inferences, and educational improvements has urged many facilitators and examiners to train and prepare examinees to complete their assessments. The demand to raise assessment scores has resulted in conditions and practices that pollute and contaminate the reliability and validity of assessment scores. This study, therefore, seeks to examine the factors perceived as contributors to assessment score pollution. The study employed a descriptive survey to gather data and analyzed using means and standard deviations. A sample size of 248 teachers who had access to an Android device and internet connectivity were purposefully selected for this study. The results confirmed that factors related to assessment preparation, assessment administration, and external factors (parents and community) were the primary causes of assessment score pollution in the

ⁱ CRITICAL ISSUES IN LEARNING AND TEACHING THE NATURAL SCIENCES

ⁱⁱ Correspondence: email jamerodr@gmail.com

district. The researchers recommended that the District Education Service directorates should organize in-service training for teachers on testing procedures. Parents and the community should also be educated on the consequences of test pollution through parents' association meetings and seminars by the district education office.

Keywords: teaching the physical and natural sciences, didactics, psychology and epistemology of learning

1. Introduction

Depuis les années 1950, un large éventail d'initiatives au niveau de l'élaboration des politiques éducatives et de la recherche en éducation a conduit à un renouvellement des programmes, des stratégies d'enseignement et de la formation des enseignants pour l'enseignement des sciences et l'éducation scientifique plus généralement dans le monde entier, avec des points de départ et des rythmes différents. Mais comment cette évolution s'est-elle produite ? Les processus sociaux, économiques et politiques qui ont conduit à la recherche d'un personnel technique et scientifique mieux formé ont coïncidé avec l'évolution des différentes sciences. En effet, d'importantes questions socio-scientifiques telles que le développement des TIC et de l'informatique, les questions écologiques et le changement climatique, la pauvreté et diverses crises ont conduit les sociétés du monde entier à des bouleversements et à la nécessité d'une redéfinition et réélaboration des systèmes éducatifs et surtout en sciences et en technologie. En parallèle, d'importants courants théoriques sur l'apprentissage et l'enseignement qui ont été cultivés en psychologie traitant des questions d'apprentissage, tels que le constructivisme et/ou le socioconstructivisme, ont permis l'émergence et le développement de domaines scientifiques tels que la didactique des sciences physiques et de la vie et de la terre. C'est dans cette perspective que se sont développées les recherches qui, en général, ont influencé l'école moderne et plus particulièrement le débat sur l'élaboration des programmes, des manuels, des stratégies d'enseignement, de l'aménagement des laboratoires scolaires (Grigorovitch, 2016; Kotuláková, 2013; Ravanis, 2021; Sotirova, 2017, 2020).

Toutefois, les initiatives des institutions qui prennent des décisions en matière d'éducation à grande échelle et des institutions éducatives à plus petite échelle pour charger des experts de préparer l'élaboration préliminaire des lignes fondamentales et générales de ce type de matériel doivent tenir compte de la nécessité de formuler de nouveaux systèmes éducatifs pour l'éducation préscolaire, l'enseignement primaire et l'enseignement secondaire. Tout cela ne peut évidemment pas précéder un large débat social, économique et culturel et éventuellement une confrontation et une expérimentation suffisante pour créer une conception pédagogique adaptée aux nouvelles exigences de la réalité quotidienne à laquelle l'enfant est confronté.

Cependant, une telle discussion et/ou un tel débat ne peuvent se limiter exclusivement à des points de vue idéologiques, psychopédagogiques et

épistémologiques sur ce qui « pourrait être ». Les résultats de la recherche en sciences de l'éducation, en psychologie de l'apprentissage et en didactique des sciences physiques et de la vie et de la terre sont visibles et peuvent jouer un rôle clé dans ce débat, au moins pour l'enseignement des sciences et de la technologie. En effet, il n'est pas possible aujourd'hui de préparer du matériel pédagogique spécifique, par exemple sur les phénomènes thermiques, sans prendre en compte les données de la recherche moderne sur les difficultés des élèves (Gebru, 2021; Kaliampou & Ravanis, 2019; Nertivich, 2018; Rodriguez & Castro, 2014; Zulkipli & Surat, 2022). Ces résultats, combinés aux données provenant d'autres disciplines telles que l'histoire et l'épistémologie des sciences, les sciences pures modernes, la sociologie, la psychologie, etc., de nouvelles synthèses peuvent être créées et renouveler les perspectives de l'éducation et de la production d'un potentiel scientifique moderne pour les sociétés, un potentiel qui sera appelé à faire face aux problèmes modernes tels que le changement climatique ou les pandémies.

Le choix de nouvelles propositions éducatives à grande échelle nécessite donc une conception de la recherche en éducation, visant principalement à approfondir notre connaissance des questions relatives à la nature de l'apprentissage, en particulier l'apprentissage scientifique à tous les stades du développement de l'enfant, les structures et les fonctions de l'apprentissage à différents niveaux de l'éducation, compte tenu de l'apport de connaissances et de compétences sélectives provenant d'un éventail de disciplines telles que la sociologie de l'éducation et la psychologie, qui étudient les questions d'appropriation de savoirs, ainsi que les questions relatives à l'éducation et à la formation.

Ainsi, dans le contexte de diverses planifications éducatives nationales et internationales et de communautés scientifiques pour l'enseignement des sciences et la formation des enseignants, un certain nombre d'hypothèses fondamentales ont été adoptées qui ont permis d'obtenir des données et des conclusions de recherche importantes. Les résultats de la recherche, qui sont le fruit d'un travail au niveau universitaire, peuvent constituer la nouvelle base sur laquelle seront construits les nouveaux plans des programmes et plus généralement de l'enseignement des sciences expérimentales (Castro, 2020; Ravanis, 2020; Voutsinos, 2023).

2. L'enseignement des sciences : un défi éducatif traditionnel mais aussi moderne

Ces dernières années, le débat sur l'éducation a souvent été influencé par des paramètres qui, bien que très importants, créent des environnements de discussion qui éclipsent d'autres conditions fondamentales et nécessaires. Par exemple, dans l'enseignement des sciences, les besoins créés par la pandémie ont déplacé l'attention vers les questions d'enseignement à distance, ou les outils d'intelligence artificielle ont mis en évidence la dimension de la vitesse énorme de collecte et d'organisation de l'information. Cependant, indépendamment du fait que de nouvelles questions et situations créent des défis supplémentaires et éventuellement diversifiés, les questions fondamentales de

l'apprentissage sont toujours présentes et devraient toujours être au centre des processus d'enseignement.

Avant la constitution de la didactique moderne des sciences physiques et de la vie et de la terre, l'enseignement des sciences reposait sur l'idée, non exprimée mais toujours présente, que la capacité d'apprendre se développait spontanément dans l'esprit des élèves et que les processus éducatifs dans les écoles se limitaient à la transmission des connaissances incluses dans les programmes, qui étaient évaluées comme utiles pour l'intégration des enfants dans la vie sociale. À l'époque moderne, après de nombreuses années de développement de programmes de recherche dans différentes disciplines telles que l'épistémologie du développement de la cognition humaine (Piaget, 1973; Bachelard, 1980), la psychologie de l'appropriation des connaissances scientifiques (Vygotsky, 1962; Wallon, 1968) et la didactique moderne (Goffard & Weil-Barais, 2005; Martinand, 1986; Ravanis et al., 2021; Robson, 2012) ont créé des voies distinctes et des propositions à de nombreux niveaux. La conclusion la plus importante est peut-être la nécessité de développer simultanément des efforts dans trois directions : l'état et la dynamique de la pensée des enfants, le développement de matériel pédagogique approprié sous toutes ses formes et l'élaboration de plans de médiation pédagogique pour un large éventail de sujets et d'élèves ayant des besoins d'apprentissage différents. Ces orientations créent la nécessité de faire évoluer les programmes et le travail d'éducation et d'enseignement dans les écoles vers une fonction totalement différente, conçue à la fois pour contribuer au développement des compétences cognitives et d'apprentissage et pour former les enfants à une attitude et une mentalité scientifique à l'égard de l'ensemble des phénomènes naturels et sociaux.

Ainsi, malgré le développement de toutes sortes de technologies ou de formes informelles d'éducation, l'école elle-même est une phase cruciale dans l'éducation des jeunes en développement. Si, par conséquent, nous éclairons les données de la recherche dans les trois directions mentionnées ci-dessus, dans lesquelles la connaissance est traitée comme un processus complexe et multiforme de construction d'entités de pensée dans le contexte de conditions d'apprentissage spécialisées, alors nous devons reconnaître qu'à chaque niveau scolaire, des spécialisations au niveau théorique et empirique sont nécessaires. Prenons par exemple la question de l'apprentissage des sciences dans l'enseignement primaire, c'est-à-dire de 6-7 à 11-12 ans. C'est une période au cours de laquelle les certitudes offertes par les expériences naturelles quotidiennes doivent être remplacées par une transition progressive vers les connaissances scolaires organisées issues de la science. Cette transition marque le passage d'une pensée concrète, où le raisonnement est essentiellement basé sur les perceptions et les données sensorielles, à une forme de pensée abstraite dans laquelle prévaut la capacité à transformer les données perceptives en propriétés plus générales de la matière ainsi qu'en relations et interactions entre les objets, les variables et les entités schématisées. Par exemple, lorsque les élèves participent à des procédures expérimentales de changement d'état, ils observent le thermomètre maintenir une température constante pendant le changement de phase de la matière. Dans une perspective de transition d'une simple description de la même

donnée à des phénomènes différents, nous avons besoin de la constitution d'un schéma de pensée abstrait qui reconnaisse le caractère énergétique de cette observation fixe en tant qu'élément commun du changement de phase (Kaliampou et al., 2024; Laval, 1985; Leite, 1999; Ravanis, 2013; Rodriguez & Castro, 2014; Tin, 2018, 2019, 2022; Zimmermann-Asta, 1990).

Le passage d'une vision subjective à une vision objective des changements physiques est le moment où l'élève découvre, traite et utilise des relations logiques entre les grandeurs, qui sont davantage liées à son action sur les objets et moins à leurs propriétés physiques. Par exemple, lorsque les élèves travaillent sur différentes dimensions du phénomène de formation des ombres, le problème le plus important auquel ils sont confrontés est la corrélation entre le faisceau lumineux et les objets opaques en termes d'obstruction du faisceau lumineux. Ensuite, l'apparition de l'ombre dans la zone où la lumière ne peut pas atteindre souligne la relation entre les trois facteurs lumière-obstacle-ombre (Castro, 2013; Grigorovitch, 2014; Grigorovitch & Nertivich, 2017; Impedovo et al., 2017; Ravanis, 1998; Ravanis et al., 2005; Rodriguez & Castro, 2016, 2020).

Cependant, bien que les sciences physiques et de la vie et de la terre constituent un terrain parfaitement fertile pour le développement de ces compétences et processus cognitifs, les concepts et modèles scientifiques issus des sciences pures sont inévitablement des centres et des points de référence pour les activités d'enseignement. En supposant que ces entités soient destinées à des acquisitions cognitives dans l'enseignement secondaire, les processus cognitifs précédents sont des conditions préalables nécessaires.

Pour fermer le cercle de la discussion que nous avons ouverte dans l'introduction, nous comprenons bien maintenant que l'objectif premier de l'enseignement des sciences physiques et de la vie et de la terre n'est pas dicté par une approche pédagogique ou philosophique et ses critères d'évaluation, mais semble au contraire être une conséquence nécessaire des conclusions auxquelles sont parvenues les recherches contemporaines sur la psychologie et l'épistémologie de l'apprentissage et de l'enseignement. Placer l'enseignement des sciences au centre de la planification de l'éducation spécialisée dans les écoles primaires à certaines conditions et implications dont les aspects éducatifs, pédagogiques et didactiques doivent être examinés de manière plus approfondie.

3. Des sciences physiques et naturelles aux sciences scolaires

Si nous abordons la question de l'objet de l'apprentissage dans l'éducation, il est nécessaire d'examiner la relation entre les sciences physiques et naturelles scolaire et la connaissance scientifique. Ce débat est important et toujours intéressant, car l'éviter ne permet pas aux convergences et aux distances nécessaires de devenir claires et sans ambiguïté. Pour mener cette discussion de manière rationnelle, nous devons d'abord nous libérer d'une ambivalence quant à la nature, au caractère et à la fonction des connaissances scolaires. Ce traitement des savoirs scolaires est lié à l'apaisement d'une

sorte d'angoisse face à l'abandon de certains aspects de la connaissance scientifique telle qu'elle se développe dans les champs de sa production. Pour que ce choix soit compris et toléré par la communauté scientifique des physiciens, biologistes, chimistes, etc., il faut se tourner vers la "lecture" de la science comme pratique sociale, c'est-à-dire comme une activité qui a une perspective épistémologique spécialisée, qui est complètement différente de la connaissance commune et quotidienne, qui est constituée sur la base du développement de la recherche scientifique et qui conduit à servir des besoins sociaux spécifiques. D'autre part, les connaissances scolaires qui sont constituées dans d'autres conditions, développées pour le monde de l'éducation, les programmes et la salle de classe ou le laboratoire scolaire, sont une autre pratique sociale qui sert des objectifs et des besoins sociaux différents. Comme il est logique, les connaissances scolaires ne sont pas équivalentes aux connaissances scientifiques sans que cela implique qu'elles soient inférieures ou supérieures. Ces deux constructions intellectuelles ne sont pas des produits qui peuvent être comparés l'un à l'autre, car elles sont nées dans des conditions différentes et ont des fonctions et des objectifs différents. La seule question sérieuse qui se pose pour une certaine corrélation entre eux est celle de leur compatibilité, c'est-à-dire si les choix des éléments de base et les relations normatives entre les éléments des savoirs scolaires entretiennent des analogies et des relations avec les savoirs scientifiques de référence. Dans une conception épistémologique naïve, tout écart entre les connaissances scientifiques et les connaissances scolaires est dramatisé et présenté comme une "connaissance erronée", une "violation de l'exactitude scientifique", etc. Ces conceptions simplistes, malgré leur dégradation au fil du temps, doivent être fermement combattues.

Dans la réalité moderne, nous reconnaissons que l'initiation des enfants à la science se fait progressivement, à l'aide d'un matériel pédagogique spécifique adapté aux capacités cognitives des différents âges (Metz, 2009). « En plus nous croyons que la frontière de la connaissance dans la communauté des didacticiens des sciences physiques et naturelles doit toujours se placer dans la zone la plus avancée des processus cognitifs qui vivent les sujets qui la composent. Nous pouvons donc estimer que la reprise du savoir scientifique doit se réaliser en suivant encore avec une tension égale et le même effort conceptuel, la route que la communauté scientifique a parcourue dans une époque éloignée de nous exclusivement en termes de temps. Ainsi, nous devons reconnaître que la divergence absolue entre le monde des sciences pures et dans le monde de la didactique des sciences physiques et naturelles n'a aucune base pragmatique et que l'objectif de l'enseignement et de l'apprentissage scientifique est en réalité la conquête d'un concept né dans le cadre de la science et d'une construction abstrait et une pratique qui, en étant compatible, ne s'écarte pas de la conception adoptée à l'intérieur de la problématique purement scientifique » (Sotirova, 2017, pp. 191-192).

La question du passage des connaissances scientifiques aux connaissances scolaires a été largement débattue tant dans la didactique des sciences physiques et naturelles que dans la didactique des mathématiques. Ce débat se développe depuis 40 ans dans la littérature internationale, avec l'hypothèse dominante que pour que la science pure devienne un objet d'apprentissage, elle doit subir des transformations successives

afin de devenir accessible aux étudiants. Bien entendu, ce thème ayant été abordé dans des contextes distincts et développé sans interaction, les voies qu'il a nécessairement empruntées ont été différenciées. Dans la littérature francophone, le principal courant au sein duquel cette question a été étudiée est connu sous le nom de « transposition didactique » (Chevallard, 1985; Conne, 1992; Johsua & Dupin, 1993). Parallèlement, dans la production de recherche et la théorie en langue anglaise, ce courant est connu sous le nom de « pedagogical content knowledge » ou « technological pedagogical content knowledge » (Appleton, 2005; Magnusson et al., 1999; Park & Oliver, 2008; Rozenszajjn & Yarden, 2014; Shulman, 1987). Malgré leurs différences, ces approches tentent de répondre, sur un large éventail de sujets, à des questions communes, telles que la relation entre les connaissances scolaires et les connaissances scientifiques de référence, les processus de transformation à différents niveaux scolaires et d'âge, les différences dans la formulation du matériel pédagogique pour les institutions formelles et non formelles d'éducation, la contribution importante et les spécificités des technologies numériques, qui ont acquis ces dernières années une actualité très importante avec le développement des technologies de l'intelligence artificielle. Les nombreuses années de débats et de controverses qui ont été générées dans le contexte de ces orientations théoriques et de recherche ont permis d'identifier les difficultés particulières et les questions importantes qui nécessitent de nouvelles réponses en ce qui concerne la transformation des connaissances scientifiques en connaissances scolaires, c'est-à-dire la question fondamentale de savoir "comment les connaissances en sciences telles que la physique, la chimie, la biologie, la géologie, l'astronomie/astrophysique, etc. en tant que domaines spécialisés de la connaissance, peuvent être efficacement enseignées.

La discussion d'une question aussi importante met en évidence un très large éventail de difficultés liées aux facteurs de la transmission éducative et culturelle dans les sociétés contemporaines. Ces difficultés sont dues à des facteurs 'externes' tels que la diffusion croissante de connaissances scientifiques provenant de sources non éducatives comme l'internet et les médias, ou à des décideurs institutionnels qui ne parviennent pas à rassembler et à équilibrer les données de la recherche scientifique en sciences de l'éducation et les dimensions éducatives telles que les programmes d'études ou le développement de laboratoires pour l'enseignement des sciences physiques et naturelles. Cependant, les difficultés les plus importantes qui se posent au niveau de l'apprentissage sont celles qui découlent des questions relatives aux barrières cognitives des enfants qui, bien qu'elles fassent l'objet d'études et de recherches depuis près de 50 ans, sont souvent complètement sorties du contexte du matériel éducatif conçu au niveau central ou local.

Cette difficulté semble incompréhensible aujourd'hui, mais on constate toujours qu'elle existe. En effet, il est paradoxal aujourd'hui de constater partout dans le monde que les résultats des recherches qui mettent en évidence les principaux obstacles auxquels se heurtent les élèves de différents âges sont ignorés, par exemple dans les programmes d'études. Sous la forme d'un exemple simple, citons quelques résultats caractéristiques de la recherche qui, bien qu'établis depuis des décennies dans de nombreux pays, restent dans l'ombre des principaux choix d'objectifs éducatifs de nombreux programmes.

Une grande partie de la recherche est liée à la compréhension des phénomènes astronomiques élémentaires. Trop souvent, les élèves des écoles maternelles et primaires abordent des phénomènes astronomiques simples de manière intuitive et prélogique. Ils soulignent les difficultés à former des idées et des modèles satisfaisants dans leur réflexion sur des questions telles que la compréhension de la nature héliocentrique du système solaire, les mouvements et les orbites des planètes autour du Soleil, la forme de la Terre et des planètes, le phénomène du "jour et de la nuit" (Bryce & Blown, 2013; Kampeza & Ravanis, 2012; Küçüközer, 2007). Ces résultats soulignent la nécessité d'examiner à nouveau, dès le départ, les programmes scolaires et leurs objectifs aux endroits où ils abordent les sujets de l'astronomie élémentaire et de concevoir des activités pour la salle de classe et le laboratoire scientifique de l'école qui, indépendamment de leur ampleur et de leur profondeur, partent des difficultés identifiées chez les enfants. Si l'on parvient à résoudre ces difficultés, on peut émettre l'hypothèse de construire dans l'esprit des enfants des idées compatibles avec les idées scientifiques grâce à des interventions pédagogiques spécialisées qui ne sont pas simplement basées sur la domination des manuels, des médias, de l'internet et du monde des adultes en général. Ce n'est qu'ainsi que le chemin vers la construction de concepts peut acquérir un sens réel et être enrichi de manière créative par des pratiques telles que l'observation, l'expérimentation organisée de manière systématique, la justification et l'explication, le raisonnement et l'argumentation, la modélisation.

5. Discussion

Nous avons essayé dans cet article de mettre en évidence la question de la relation étroite entre la didactique contemporaine des sciences physiques et naturelles et la recherche en éducation. En effet, la prise de conscience que la didactique n'est pas une série de "devrait" dont la rationalisation est basée uniquement sur des idées et des opinions, comme c'était le cas dans le passé, conduit directement à la nécessité de documenter les propositions et les pratiques pédagogiques pour les élèves mais aussi pour les enseignants (Arun, 2017, 2018, 2019; Fragkiadaki & Ravanis, 2016; Grigorovitch, 2018; Sotirova, 2024). C'est pourquoi la recherche menée au cours des dernières décennies est le seul outil qui puisse offrir des points de référence et d'orientation constants pour le renouvellement et l'amélioration des pratiques scolaires dominantes dans l'enseignement des sciences physiques et naturelles. Cette recherche permet également une mise à l'échelle systématique et fondée sur des données probantes du travail à tous les niveaux d'âge et d'école, car elle permet d'atteindre les objectifs suivants: (a) au niveau micro, non seulement la recherche des difficultés des enfants, mais aussi les mécanismes dynamiques de la médiation pédagogique et (b) au niveau macro, le soutien à des initiatives plus larges telles que l'élaboration de programmes d'études, le développement de formes d'éducation informelles ou non formelles, le soutien à la création d'environnements de laboratoire scolaire appropriés, la formation de base et la formation continue des enseignants.

Bien sûr, il est vrai que la partie la plus importante de la recherche dans le contexte de l'enseignement moderne est l'étude des idées spontanées des enfants de tous âges sur les concepts et les phénomènes scientifiques (Nertivich, 2016; Rodriguez & Castro, 2016). Il est clair que la cartographie et la classification de ces idées nous permettent de comprendre leur distance par rapport aux connaissances scientifiques que nous traitons à l'école et donc de commencer à organiser notre travail à partir de là, en fixant des objectifs efficaces pour l'enseignement. Le passage d'un mode de raisonnement expérimental à un autre compatible avec le raisonnement scientifique, l'abandon de l'intuition personnelle sur le monde qui nous entoure qui caractérise le niveau initial de développement cognitif d'un élève, nous conduit à la nécessité d'un changement, d'une rupture, d'une déstabilisation de la pensée et d'un conflit cognitif dans les pratiques d'enseignement qui visent à aider le passage de la connaissance commune à la connaissance scientifique.

Cependant, si l'on prend en compte toutes ces caractéristiques de l'apprentissage scientifique, il semble qu'une réflexion approfondie sur les outils et les approches pédagogiques adoptés aujourd'hui s'impose. Mais il semble crucial de s'engager davantage dans le développement cognitif des élèves. En effet, de même qu'il serait manifestement erroné de donner une explication scientifique d'un phénomène physique à un enfant de six ans, il faut accepter au niveau des institutions qu'il serait tout aussi absurde de concevoir un enseignement, comme c'est malheureusement encore le cas aujourd'hui, qui réponde davantage aux certitudes des adultes qu'au développement intellectuel progressif de l'enfant.

Conflict of Interest Statement

The author declares no conflicts of interests.

About the Author

James Rodriguez is a researcher and primary school teacher in Canada. He received his master's degree in Education from the American Pacific University. His research areas are Science Education in Early Childhood and Primary Education, Pedagogy and Science Education and Teacher Education.

Références

- Appleton, K. (2005). Science pedagogical content knowledge and elementary school teachers. In K. Appleton (Ed.), *Elementary science teacher education* (pp. 31-54). Abingdon: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315045443>
- Arun, Z. (2017). Formation des enseignants et recherche en didactique des sciences. *European Journal of Education Studies*, 8(9), 206-216. <http://dx.doi.org/10.46827/ejes.v8i9.3883>

- Arun, Z. (2018). Questions sur la formation initiale des enseignants en didactique des sciences : une vision alternative. *European Journal of Alternative Education Studies*, 3(1), 44-53. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1185434>
- Arun, Z. (2019). Le passage des sciences physiques et naturelles à leur didactique : réflexions sur un cadre pour la formation des enseignants. *European Journal of Education Studies*, 6(2), 50-60. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2669525>
- Bachelard, G. (1980). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- Bryce, T. G. K., & Blown, E. J. (2013). Children's concepts of the shape and size of the Earth, Sun and Moon. *International Journal of Science Education*, 35(3), 388-446. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2012.750432>
- Castro, D. (2013). Light mental representations of 11–12-year-old students. *Journal of Social Science Research*, 2(1), 35-39. <http://dx.doi.org/10.24297/jssr.v1i1.3055>
- Castro, D. (2020). The scientific experience as teaching reality. *European Journal of Alternative Education Studies*, 5(2), 49-59.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble: La Pensée Sauvage. Retrieved from https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1986_num_76_1_2401_t1_0089_0000_1
- Conne, F. (1992). Savoir et connaissance dans la perspective de la transposition didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12(2-3), 221-270. Retrieved from <https://hal.science/halshs-01523900/>
- Fragkiadaki, G., & Ravanis, K. (2016). Genetic research methodology meets Early Childhood Science Education Research: a Cultural-Historical study of child's scientific thinking development. *Cultural-Historical Psychology*, 12(3), 310-330. <https://doi.org/10.17759/chp.2016120319>.
- Gebru, M. H. (2021). Visualization and simulation for effective teaching of basic thermal concepts for grade nine. *Mediterranean Journal of Education*, 1(1), 138-153. <https://doi.org/10.26220/mje.3610>
- Goffard, M., & Weil-Barais, A. (2005) *Enseigner et apprendre les sciences*. Paris: Armand Colin. Retrieved from <https://journals.openedition.org/rfp/298>
- Grigorovitch, A. (2014). Children's misconceptions and conceptual change in Physics Education: the concept of light. *Journal of Advances in Natural Sciences*, 1(1), 34-39. <http://dx.doi.org/10.24297/jns.v1i1.5037>
- Grigorovitch, A. (2016). L'approche des manuels scolaires: comprendre, créer, utiliser, discuter, évaluer. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 3(1), 67-73.
- Grigorovitch, A. (2018). Interactions didactiques et apprentissage en physique à l'école maternelle et primaire. *European Journal of Education Studies*, 5(4), 1-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1453457>
- Grigorovitch, A., & Nertivich, D. (2017). Introduction to magnets for lower primary school students. *European Journal of Education Studies*, 3(3), 144-154. <https://doi.org/10.5281/zenodo.290135>

- Impedovo, M. A., Delsérieys-Pedregosa, A., Jégou, C. & Ravanis, K. (2017). Shadow formation at preschool from a socio-materiality perspective. *Research in Science Education*, 47(3), 579-601. <http://dx.doi.org/10.1007/s11165-016-9518-x>
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: PUF. Retrieved from https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1994_num_109_1_2533_t1_0155_0000_2
- Kaliampos, G., & Ravanis, K. (2019). Thermal conduction in metals: mental representations in 5-6 years old children's thinking. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika 'Al-BiRuNi'*, 8(1), 1-9. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v8i1.3737>
- Kaliampos, G., Ioannou, M., Pantidos, P., & Ravanis, K. (2024). The transformation of children's mental representations of 5-6 year olds for coagulation: precursor models through a storytelling approach. *Journal of Physics: Conference Series*, 2871, 012010. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2871/1/012010>
- Kampeza, M., & Ravanis, K. (2012). Children's understanding of the earth's shape: an instructional approach in early education. *Skholê*, 17, 115-120. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/236256493_Kampeza_M_Ravanis_K_2012_Children's_understanding_of_the_earth's_shape_an_instructional_approach_in_early_education_Skhole_17_115-120
- Kotuláková, K. (2013). Teachers' focus on pupil's prior conceptions in Inquiry-Based Teaching. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 7(2), 53-71. <https://doi.org/10.26220/rev.2045>
- Küçüközer, H. (2007). Prospective science teachers' conceptions about astronomical subjects. *Science Education International*, 18(1), 113-130. Retrieved from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1065856.pdf>
- Laval, A. (1985). Chaleur, température, changements d'état. *Aster*, 1, 115-132. Retrieved from https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1985_num_1_1_893
- Leite, L. (1999). Heat and temperature: An analysis of how these concepts are dealt with in textbooks. *European Journal of Teacher Education*, 22(1), 75-88. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/0261976990220106>
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds), *Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang. Retrieved from https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1987_num_81_1_2434_t1_0113_0000_1
- Metz, K. (2009). Rethinking what is "developmentally appropriate" from a learning progression perspective: The power and the challenge. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 3(1), 5-22. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1117928>

- Nertivich, D. (2016). Représentations des élèves de 11-12 ans pour la formation des ombres et changement conceptuel. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 3(2), 103-107. <https://ijpsat.org/index.php/ijpsat/article/view/54>
- Nertivich, D. (2018). Concepts thermiques de base chez les élèves de 17 ans. *European Journal of Education Studies*, 4(2), 145-154. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1173163>
- Park, S., & Oliver, S. J. (2008). Revisiting the conceptualization of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, 38, 261–284. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-007-9049-6>
- Piaget, J. (1973). *The child's conception of the world*. St. Albans Herts: Paladin. Retrieved from https://books.google.ro/books/about/The_Child_s_Conception_of_the_World.html?id=RWZIOLONDLwC&redir_esc=y
- Ravanis, K. (1998). Procédures didactiques de déstabilisation des représentations spontanées des élèves de 5 et 10 ans. Le cas de la formation des ombres. In A. Dumas Carré & A. Weil-Barais (Éds), *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique* (pp. 105-121). Berne: P. Lang.
- Ravanis, K. (2013). Mental representations and obstacles in 10–11-year-old children's thought concerning the melting and coagulation of solid substances in everyday life. *Preschool and Primary Education*, 1(1), 130-137. <http://dx.doi.org/10.12681/ppej.38>
- Ravanis, K. (2020). Precursor models of the Physical Sciences in Early Childhood Education students' thinking. *Science Education Research and Praxis*, 76, 24-31. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Konstantinos-Ravanis/publication/345693326_Ravanis_K_2020_Precursor_models_of_the_Physical_Sciences_in_Early_Childhood_Education_students'_thinking_Science_Education_Research_and_Praxis_76_24-31/links/5faaeb01a6fdcc331b938edd/Ravanis-K-2020-Precursor-models-of-the-Physical-Sciences-in-Early-Childhood-Education-students-thinking-Science-Education-Research-and-Praxis-76-24-31.pdf
- Ravanis, K. (2021). The Physical Sciences in Early Childhood Education: theoretical frameworks, strategies and activities. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796, 012092. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012092>
- Ravanis, K., Kaliaspos, G., & Pantidos, P. (2021). Preschool children science mental representations: the sound in space. *Education Sciences*, 11(5), 242. <https://psycnet.apa.org/doi/10.3390/educsci11050242>
- Ravanis, K., Charalampopoulou, C., Boilevin, J.-M., & Bagakis, G. (2005). La construction de la formation des ombres chez la pensée des enfants de 5-6 ans : procédures didactiques sociocognitives. *Revue de Recherches en Éducation : Spirale*, 36, 87-98. https://www.persee.fr/doc/spira_0994-3722_2005_num_36_1_1327.
- Robson, S. (2012). *Developing thinking and understanding in young children: An introduction for students*. London: Routledge. Retrieved from

- <https://www.routledge.com/Developing-Thinking-and-Understanding-in-Young-Children-An-Introduction-for-Students/Robson/p/book/9781138599796>
- Rodriguez, J., & Castro, D. (2014). Children's ideas of changes in the state of matter: solid and liquid salt. *Journal of Advances in Humanities*, 1(1), 1-6. <http://dx.doi.org/10.24297/jah.v1i1.5151>
- Rodriguez, J., & Castro, D. (2016). Changing 8-9 year-old pupil's mental representations of light: a metaphor based teaching approach. *Asian Education Studies*, 1(1), 40-46. <http://dx.doi.org/10.20849/aes.v1i1.30>
- Rodriguez, J., & Castro, D. (2020). Quality improvement in teaching and learning science in primary school settings: using a metaphor to approach the concept of light. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi*, 9(2), 185-194. Retrieved from <https://ejournal.radenintan.ac.id/index.php/al-biruni/article/view/6141/pdf>
- Rozenszajjn, R., & Yarden, A. (2014). Expansion of biology teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) during a long-term professional development program. *Research in Science Education*, 44, 189-213. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-013-9378-6>
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57, 1-22. Retrieved from <https://people.ucsc.edu/~ktellez/shulman.pdf>
- Sotirova, E.-M. (2017). L'apprentissage en sciences expérimentales : la recherche et l'enseignement. *European Journal of Education Studies*, 3(12), 188-198. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1117928>
- Sotirova, E.-M. (2020). Réflexions sur les objectifs de l'éducation scientifique. *European Journal of Education Studies*, 7(2), 172-180. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3726312>
- Sotirova, E.-M. (2024). Représentations mentales, obstacles et enseignement des sciences physiques. *European Journal of Education Studies*, 11(3), 154-165. <http://dx.doi.org/10.46827/ejes.v11i3.5244>
- Tin, P. S. (2018). Élaboration expérimentale des représentations mentales des élèves de 16 ans sur les concepts thermiques. *European Journal of Education Studies*, 4(7), 141-150. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1252546>
- Tin, P. S. (2019). Un cadre méthodologique pour la démarche d'investigation : l'exemple du changement d'état de l'eau à l'âge de 8 ans. *European Journal of Education Studies*, 6(4), 1-12. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3255125>
- Tin, P. S. (2022). Représentations mentales et obstacles dans la pensée des enfants de 6 et 11 ans sur la fusion de la glace. *European Journal of Education Studies*, 9(3), 130-139. <http://dx.doi.org/10.46827/ejes.v9i3.4209>
- Voutsinos, C. (2023). Apprentissage et enseignement en Sciences Physiques. *European Journal of Alternative Education Studies*, 8(1), 196-205. <http://dx.doi.org/10.46827/ejae.v8i1.4721>
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and Language*. Cambridge Ma: MIT Press. Retrieved from <https://psycnet.apa.org/record/2006-10268-000>
- Wallon, H. (1968). *L'évolution psychologique de l'enfant*. Paris: A. Colin.

- Zimmermann-Asta, M. L. (1990). *Concept de chaleur : Contribution à l'étude des conceptions d'élèves et de leurs utilisations dans un processus d'apprentissage*. Thèse de doctorat, Genève : FPSE-Université de Genève. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1173163>
- Zulkipli, F., & Surat, A. (2022). Les idées des élèves du secondaire sur les concepts thermiques. *Mediterranean Journal of Education*, 2(2), 75-82. <https://pasithee.library.upatras.gr/mje/article/view/4463/4368>

Creative Commons licensing terms

Author(s) will retain the copyright of their published articles agreeing that a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) terms will be applied to their work. Under the terms of this license, no permission is required from the author(s) or publisher for members of the community to copy, distribute, transmit or adapt the article content, providing a proper, prominent and unambiguous attribution to the authors in a manner that makes clear that the materials are being reused under permission of a Creative Commons License. Views, opinions and conclusions expressed in this research article are views, opinions and conclusions of the author(s). Open Access Publishing Group and European Journal of Education Studies shall not be responsible or answerable for any loss, damage or liability caused in relation to/arising out of conflicts of interest, copyright violations and inappropriate or inaccurate use of any kind content related or integrated into the research work. All the published works are meeting the Open Access Publishing requirements and can be freely accessed, shared, modified, distributed and used in educational, commercial and non-commercial purposes under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).