



L'apprentissage immersif peut-il améliorer la compréhension de la théorie de l'évolution?

Can Immersive Learning Improve the Understanding of the Theory of Evolution?

¿Puede el aprendizaje inmersivo mejorar la comprensión de la teoría evolutiva?

<https://doi.org/10.52358/mm.vi15.355>

Edith Potvin-Rosselet, doctorante
Université du Québec à Montréal, Canada
potvin_rosselet.edith@uqam.ca

Alain Stockless, professeur
Université du Québec à Montréal, Canada
stockless.alain@uqam.ca

Diane Leduc, professeure titulaire
Université du Québec à Montréal, Canada
leduc.diane@uqam.ca

RÉSUMÉ

Cet article présente les principaux types d'obstacles mettant un frein à la compréhension de la théorie de l'évolution et discute de pistes pédagogiques pour améliorer l'apprentissage de cette théorie au niveau postsecondaire, comme d'autres théories difficiles en science, notamment par la mise en œuvre des principes de l'apprentissage actif et du changement conceptuel. L'article propose l'hypothèse que l'apprentissage immersif, possible par l'entremise des technologies de réalité virtuelle, est une stratégie prometteuse pour mettre en action les personnes apprenantes et pour provoquer un changement conceptuel menant à



une meilleure compréhension de la théorie de l'évolution. Cette hypothèse guide la recherche en cours portant sur l'amélioration de l'apprentissage de cette théorie. L'article présente aussi des éléments positifs et négatifs de l'apprentissage immersif, issus d'une recension des écrits. Ces éléments constituent des pistes d'action dans la perspective du développement d'une expérience éducative immersive que vise la recherche en cours.

Mots-clés : apprentissage immersif, réalité virtuelle, recherche-développement, théorie de l'évolution, changement conceptuel

ABSTRACT

This article outlines the main types of barriers to understanding evolutionary theory. It discusses pedagogical avenues for improving the learning of evolutionary theory at the post-secondary level, as well as other complex theories in science, including implementing the principles of active learning and conceptual change. The paper hypothesizes that immersive learning, made possible through virtual reality technologies, is a promising strategy for engaging learners and bringing about conceptual change leading to a better understanding of evolutionary theory. This hypothesis guides ongoing research on improving learning about evolutionary theory. The article also presents positive and negative elements of immersive learning from a literature review. These elements constitute avenues for action in the future development of an immersive educational experience, which is the goal of the current research.

Keywords: immersive learning, virtual reality, research and development, evolutionary theory, conceptual change

RESUMEN

En este artículo se esbozan los principales tipos de obstáculos para la comprensión de la teoría evolutiva y se analizan vías pedagógicas para mejorar su aprendizaje a nivel postsecundario, así como para la comprensión de otras teorías científicas difíciles, incluida la aplicación de los principios del aprendizaje activo y el cambio conceptual. El artículo propone la hipótesis de que el aprendizaje inmersivo, posible gracias a las tecnologías de realidad virtual, es una estrategia prometedora para implicar a los alumnos y promover un cambio conceptual que conduzca a una mejor comprensión de la teoría evolutiva. Esta hipótesis orienta la investigación en curso para mejorar el aprendizaje de dicha teoría. El artículo también presenta elementos positivos y negativos del aprendizaje inmersivo a partir de una revisión de la literatura. Estos elementos constituyen vías de actuación para el futuro desarrollo de una experiencia educativa inmersiva, que es el objetivo de la presente investigación.

Palabras clave: aprendizaje inmersivo, realidad virtual, investigación y desarrollo, teoría evolutiva, cambio conceptual



Introduction et contexte

Plusieurs théories scientifiques à l'étude dans le parcours scolaire des personnes apprenantes sont perçues comme difficiles. Pour bien comprendre ces théories, comme celles de la gravitation terrestre ou de la relativité, un niveau élevé d'intégration de connaissances est nécessaire. La théorie de l'évolution (TE) ne fait pas exception et les difficultés entourant sa compréhension sont documentées depuis plusieurs décennies. L'importance de cette théorie pour comprendre le monde vivant est sans contredit, mais les fausses conceptions concernant l'évolution sont nombreuses et bien ancrées dans les représentations populaires. Elles perpétuent une compréhension fragmentée, parfois alternative, de l'évolution des espèces vivantes (Gregory, 2009; Legare *et al.*, 2018). Afin de comprendre la TE, déconstruire ces fausses conceptions pour en construire de plus justes est nécessaire.

Au Québec, très peu d'apprenantes et d'apprenants au niveau postsecondaire étudient le phénomène, outre celles inscrites et ceux inscrits dans un programme en sciences de la nature et à certains cours en sciences humaines, comme les cours d'anthropologie. Pourtant, connaître adéquatement les concepts de base du mécanisme de sélection naturelle apporterait à toutes les jeunes personnes citoyennes un bagage scientifique adéquat. En effet, l'évolution des espèces est une notion agissant comme un liant entre plusieurs autres notions des domaines génétique, géologique, anthropologique et économique, et la compréhension de celle-ci affecte directement le niveau de littératie en sciences (Passmore et Stewart, 2002; Roseman *et al.*, 2010). En possédant un bagage scientifique de qualité, les personnes apprenantes se dotent d'outils ayant des retombées positives sur leur capacité à exercer une pensée critique et à reconnaître des arguments pseudoscientifiques parfois utilisés à des fins de désinformation. En ce sens, l'importance de maîtriser les concepts à la base de la TE dépasse le contexte scolaire, puisque les mécanismes à l'œuvre dans la transformation des espèces permettent de comprendre des phénomènes qui touchent directement plusieurs aspects de la vie humaine, comme la propagation et la résistance d'un virus mortel dans une population. Pour les professionnelles et les professionnels, ainsi que les personnes décideuses de plusieurs domaines publics, dont en politique et en santé, maîtriser des concepts relatifs à l'évolution des espèces est un atout nécessaire (Emmons *et al.*, 2016). Plusieurs enjeux sociaux et écologiques actuels sont intimement liés à la compréhension de la survie, de l'exploitation et de la compétition pour les ressources. Bien qu'essentielle au développement d'une littératie scientifique suffisante au regard de plusieurs enjeux actuels auxquels fait face l'humanité, la TE est mal comprise par la population en générale, autant que par les personnes apprenantes inscrites en biologie à l'université (Gregory, 2009). Il s'agirait en effet de l'une des notions scientifiques les plus difficiles à comprendre (Alters et Nelson, 2002; Rosengren *et al.*, 2012).

L'apprentissage de la TE peut être amélioré en considérant les principes de l'apprentissage actif. Dans son ouvrage *Teaching in a digital age* (Bates, 2022) pose un regard nouveau sur différentes approches d'enseignement inspirées des théories en éducation et propose que l'apprentissage actif peut être soutenu par une utilisation judicieuse des technologies numériques en éducation. Les outils numériques maintenant disponibles, comme ceux qui permettent la réalité virtuelle, ont le potentiel de rendre actives les personnes apprenantes et d'améliorer la compréhension de phénomènes complexes et abstraits (Lewis *et al.*, 2021).

Un prototype d'apprentissage immersif visant l'amélioration de la compréhension de la TE chez des personnes apprenantes du cégep est une avenue intéressante pour mieux comprendre les concepts de base de l'évolution des espèces. Des autrices et des auteurs mettent cependant en garde contre un usage exotique des technologies immersives en éducation et conseillent de s'attarder à la qualité du scénario



pédagogique afin de soutenir l'apprentissage (Mikropoulos et Natsis, 2011). Le développement d'un tel prototype doit donc se faire en respectant certaines balises. Les objectifs poursuivis dans cet article sont :

- 1) Mieux comprendre les enjeux de l'apprentissage de la TE;
- 2) Explorer l'apprentissage immersif pour améliorer l'apprentissage de théories difficiles à comprendre, comme la TE.

L'article présente une problématique concernant les principaux types d'obstacles faisant frein à la compréhension de la TE. Des pistes pour l'amélioration de l'apprentissage de la TE qui sont mises en évidence dans les écrits sont ensuite présentées. Puis, l'apport de l'apprentissage immersif est articulé afin de démontrer la pertinence de cette approche dans le développement d'une solution à l'amélioration de l'apprentissage de la théorie en question. Finalement, l'article propose une réflexion sur la méthodologie de recherche à considérer pour le développement d'un prototype d'apprentissage immersif et articule des idées sur les retombées potentielles d'un tel projet pour la pratique pédagogique.

Problématique

Depuis les années 1970, des chercheuses et des chercheurs de multiples disciplines mettent en évidence les difficultés qu'éprouvent les personnes apprenantes à comprendre les principes à la base de la TE (Bishop et Anderson, 1986; voir Legare *et al.*, 2018 pour une revue exhaustive). Gregory (2009) recense plus d'une quarantaine d'articles, publiés de 1975 à 2009, qui font état d'une grande incompréhension de la TE chez plusieurs groupes de sujets. Depuis 2009, des chercheuses et des chercheurs, comme Legare aux États-Unis et Alters au Canada, poursuivent des recherches qui continuent de mettre en évidence ces difficultés.

Les écrits suggèrent que les personnes apprenantes adultes, comme celles du niveau collégial, ont été exposées plus longtemps que des personnes plus jeunes aux différentes fausses conceptions véhiculées par des représentations populaires et sont donc davantage confrontées à des obstacles faisant frein à leur compréhension de la TE (Kelemen *et al.*, 2014; Shtulman et Walker, 2020). Ces obstacles peuvent être scolaires, conceptuels ou affectifs.

Des obstacles scolaires, conceptuels et affectifs à l'apprentissage de la théorie de l'évolution

Parmi les contraintes à la compréhension de l'évolution, certaines proviennent en effet du milieu scolaire. Certains manuels de référence, à tous les niveaux d'enseignement, sont parfois scientifiquement inadéquats et soutiennent une conception téléologique¹ de l'évolution (Engel Clough et Wood-Robinson, 1985; Moore *et al.*, 2002; Prinou *et al.*, 2011; Stern et Roseman, 2004). Plusieurs autrices et auteurs mentionnent les lacunes des enseignantes et des enseignants quant à la maîtrise des notions relatives à

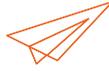
¹ Une conception téléologique de l'évolution attribue une fonction à l'apparition de caractéristiques chez une espèce (Kelemen, 1999). En d'autres mots, une croyance de ce type serait d'affirmer que les choses sont créées dans un but qui leur est intrinsèque (Sinatra *et al.*, 2008, p. 190). Selon ce raisonnement, l'évolution devrait éliminer les caractéristiques qui ne possèdent plus de fonction comme l'appendice chez Homo sapiens moderne.



l'évolution des espèces (Emmons *et al.*, 2016; Nehm et Schonfeld, 2007; Prinou *et al.*, 2011). Il est possible de croire que ces lacunes affectent la qualité de leur enseignement et que celles-ci peuvent causer un stress professionnel lié aux tâches d'enseignement de la TE (Griffith et Brem, 2004). D'autres autrices et auteurs mettent en évidence que les méthodes d'enseignement magistrocentrées, c'est-à-dire qui n'engagent pas les personnes apprenantes dans une tâche active qui nécessite un traitement cognitif de haut niveau, sont encore préférées à d'autres méthodes d'enseignement malgré la perpétuité des difficultés vécues par les personnes apprenantes à bien comprendre la théorie (Alters et Nelson, 2002).

Comprendre certains concepts connexes à l'évolution, comme les concepts de temps géologique (Catley et Novick, 2009), d'hérédité, de compétition et de survie (Gregory, 2009), demande un niveau élevé d'intégration de connaissances. Cependant, leur apprentissage est souvent décontextualisé ou confondu avec des hypothèses relatives à l'apparition de la vie sur Terre (Blackwell *et al.*, 2003; Legare *et al.*, 2018). Sinatra *et al.* (2008) notent que les personnes apprenantes perçoivent l'évolution comme un événement plutôt qu'un processus, ce qui les amène à commettre des erreurs conceptuelles difficiles à renverser. Cette perception peut être liée au mode de pensée essentialiste (l'essence de toute chose est immuable), téléologique (les choses ont une fonction) ou d'intentionnalité (*intentionality* dans les écrits en anglais; les choses surviennent, car un tiers parti possède un but pour ces choses). Browning et Hohenstein (2015) soutiennent d'ailleurs que l'essentialisme fait partie des schèmes de pensées des enfants lorsqu'ils font référence aux différentes espèces animales et qu'il est donc ardu pour eux de comprendre qu'il existe un lien d'ancestralité entre toutes les espèces vivantes, encore moins entre l'espèce humaine et les autres primates. Bien ancré dans les représentations populaires de l'évolution, le raisonnement téléologique est mentionné par plusieurs autrices et auteurs comme étant l'un des obstacles principaux à la compréhension fonctionnelle de la TE, c'est-à-dire une compréhension juste, valide et durable (Catley *et al.*, 2010; Kelemen, 1999; Sánchez Tapia *et al.*, 2018; Shtulman et Calabi, 2012; Sinatra *et al.*, 2008).

Les obstacles d'ordre affectif sont relatifs aux émotions et aux croyances des personnes apprenantes. Les croyances religieuses, comme le dessein intelligent ou le créationnisme, peuvent contribuer à l'acceptation de faits pseudoscientifiques et conséquemment renforcent les schèmes de pensées à l'œuvre dans les obstacles d'ordre conceptuel. De manière générale, les croyances chez les adultes se cristallisent et, par l'entremise de processus mentaux comme la dissonance cognitive et le biais de confirmation, participent à la résistance au changement. Ces processus mentaux peuvent aussi être invoqués pour expliquer l'adhésion aux croyances pseudoscientifiques. Sinatra *et al.* (2008) laissent entendre que se faire présenter des idées de prime abord irréconciliables avec celles détenues préalablement peut susciter des réactions émotionnelles qui peuvent potentiellement freiner l'apprentissage. Particulièrement dans le cas de la TE, la perception que les faits scientifiques sont une menace aux systèmes de croyances peut provoquer une réaction émotionnelle néfaste pour un apprentissage fidèle à la science. En ce sens, étant donné que de fortes réactions émotionnelles chez un individu peuvent survenir en lien avec des faits scientifiques, Strike et Posner (1992) ont considéré le rôle des émotions dans leur modèle du changement conceptuel. En plus d'être complexe à comprendre, la TE n'est pas toujours acceptée par les personnes apprenantes (Gregory, 2009). Accepter ou rejeter cette théorie relève de l'ordre l'affectif, puisque les émotions sont un des facteurs déterminants dans l'acceptation de celle-ci. L'utilisation de l'indice émotif-spirituel (*emotional and spiritual quotient*) dans la mesure du degré d'acceptation de la TE chez des personnes apprenantes universitaires le démontre bien (Darussyamsu *et al.*, 2018). Même au Canada, où cette théorie fait partie du curriculum des écoles publiques, son rejet est observé, comme le démontre une étude menée à l'Université Guelph où près de 30 % des personnes apprenantes aux cycles supérieurs sondées par l'étude se disent peu ou pas du tout convaincues par cette théorie (Gregory et Ellis, 2009). Il est possible



de croire que les émotions sont fortement liées aux croyances chez les personnes apprenantes et que les obstacles d'ordre affectif ont une grande part à jouer dans l'acceptation et la compréhension de la TE.

Le changement conceptuel et l'immersion pour favoriser un meilleur apprentissage

Pour améliorer l'apprentissage de la TE, il est nécessaire de mettre en œuvre des stratégies pédagogiques pour surmonter ces obstacles. Pour ce faire, l'approche du changement conceptuel semble tout indiquée, puisqu'elle amène les personnes apprenantes à modifier leurs conceptions d'un phénomène (Hewson et Hewson, 1983; Thouin, 2020). D'ailleurs, plusieurs autrices et auteurs qui s'intéressent à l'amélioration de l'apprentissage de la TE sont de cet avis. Smith (2010) mentionne que « One of the most promising theoretical foundation for evolution instruction is conceptual change theory » (p. 551). Une prochaine étape évidente vers le développement d'une expérience éducative améliorant la compréhension de la TE est donc d'identifier les conceptions erronées les plus dommageables, de décrire précisément les conceptions justes qui devraient les remplacer, et d'élaborer une tâche d'apprentissage cohérente pour déclencher le changement conceptuel nécessaire. Pour ce faire, connaître la mécanique du changement conceptuel s'avère important. En ce sens, Sinatra et Pintrich (2003) mettent de l'avant que les émotions vécues par les personnes apprenantes jouent un rôle important dans l'apprentissage et peuvent être déterminantes dans la probabilité d'un changement conceptuel.

Le rôle des émotions dans l'apprentissage est bien documenté, même quand l'apprentissage est soutenu par l'utilisation d'outils numériques (Lajoie *et al.*, 2020). Il est vrai que les technologies numériques ont le potentiel de mettre en action les personnes apprenantes par l'entremise de fonctionnalités pédagogiques; elles répondent donc aux prérequis des pédagogies actives, que ce soit de manière cognitive, affective ou psychomotrice. Dans le contexte d'une stratégie d'amélioration de l'apprentissage d'une théorie complexe, comme l'est la TE, les principes des pédagogies actives doivent être favorisés (Smith, 2010; Puaud, 2018). Geraedts et Boersma (2006) affirment même qu'une bonne stratégie pour engendrer le changement conceptuel dans le contexte de l'apprentissage de la TE serait une stratégie où la personne apprenante interagit avec le contenu.

La réalité virtuelle semble une technologie numérique prometteuse pour créer cette interaction entre la personne apprenante et le contenu. Grâce à la réalité virtuelle, celle-ci peut vivre une expérience immersive qui sollicite ses sens et qui lui permet de manipuler des objets ou des concepts, comme le temps ou une mutation génétique, auxquels elle n'aurait pas accès autrement. En plus de l'aspect multisensoriel, le sentiment de présence est une variable importante de l'expérience immersive et est défini par Bowman (1999) comme le moment où la personne utilisatrice imagine que le monde virtuel autour d'elle remplace le monde physique. Geslin (2013) précise que la présence est un « élément déterminant de la réussite d'une expérience de réalité virtuelle » (p.74). Selon Dede *et al.* (2000), l'apprentissage immersif par la réalité virtuelle peut amener les personnes apprenantes à construire une nouvelle compréhension d'un phénomène scientifique, qu'on souhaite être améliorée, en *étant ici* grâce à l'immersion et en vivant une expérience interactive avec le contenu. Ainsi, les principes des pédagogies actives sont compatibles avec l'apprentissage immersif, puisque la réalité virtuelle est une technologie qui permet la mise en action. Dans la perspective de susciter une compréhension fonctionnelle de la TE chez des personnes apprenantes du cégep, il semble qu'un dispositif immersif par réalité virtuelle qui tient compte de leurs émotions, du sentiment de présence et des principes des pédagogies actives pourrait améliorer l'apprentissage de la théorie. L'utilisation d'un tel dispositif serait une solution innovante dans le milieu de l'enseignement au collégial au problème de compréhension fragmentée de la TE.



L'apport de l'apprentissage immersif

Pour assurer la qualité de l'expérience éducative et son apport pour un meilleur apprentissage, exempt de conceptions erronées, le développement d'un dispositif d'apprentissage immersif doit se faire selon un ensemble de principes en accord avec la conception d'expériences éducatives immersives. Ces principes sont en quelque sorte le cadre pour l'élaboration du référentiel de développement du dispositif, dans la perspective d'une démarche de recherche-développement (Harvey et Loiselle, 2009; Bergeron *et al.*, 2021). Les travaux de synthèse des écrits scientifiques portant sur la conception d'artefacts immersifs par Jensen et Konradsen (2018), Lewis *et al.* (2021) et Wörner *et al.* (2022) constituent un corpus de références.

Le référentiel de développement doit aussi contenir des pistes provenant d'études antérieures qui testent des approches pédagogiques visant à améliorer l'apprentissage de la TE. Dans une démarche de recherche-développement, les forces et les faiblesses de ces stratégies doivent être mises en lumière (Bergeron *et al.*, 2021). À cet effet, les travaux de Smith (2010), de Gregory (2008, 2009) et de Gregory et Ellis (2009) constituent un corpus théorique de référence pour l'élaboration d'une stratégie d'amélioration de l'apprentissage de la TE qui tient compte des conceptions erronées et des obstacles scolaires, conceptuels et affectifs, et qui vise l'atteinte d'une compréhension fonctionnelle de cette théorie.

PRATIQUES PÉDAGOGIQUES POUR L'APPRENTISSAGE DE LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION

Afin de connaître le type d'intervention pédagogique mise en place en contexte réel pour favoriser un meilleur apprentissage de la TE, 33 études ayant eu lieu de 1975 à 2022 ont été répertoriées (voir le tableau en annexe). Pour l'instant, aucune étude en français et aucune étude québécoise n'ont été décelées dans cette exploration. Il est à noter, cependant, qu'il ne s'agit pas d'une revue systématique des écrits dans ce domaine et que de plus amples recherches dans les banques de données sont nécessaires pour continuer de brosser un portrait des pratiques et interventions pédagogiques. L'exploration des écrits révèle tout de même deux grandes catégories d'interventions : celles mettant en œuvre une simulation de la théorie et celles mettant en œuvre un scénario pédagogique. Seulement deux études mettent à contribution des technologies immersives, soit les études de Cardoso *et al.* (2019) et de Henry (2019). Pour chacune d'elle, une simulation de l'évolution avec laquelle les personnes participantes peuvent interagir, selon le degré d'immersion, a été développée.

En ce qui concerne l'étude de Cardoso *et al.* (2019), elle présente un jeu de simulation d'évolution développé pour et testé par des élèves du secondaire. Les chercheurs se sont attardés à trois concepts essentiels de l'évolution, soit l'hérédité, la variation et la sélection. Appelé Sim-Evolution, ce jeu vise à améliorer la compréhension de la TE chez des élèves du secondaire, ainsi qu'à augmenter leur engagement dans l'apprentissage de cette théorie. Le jeu permet l'observation du mécanisme de sélection naturelle d'une population d'oiseaux dans des environnements différents. Il est intéressant de constater que très peu d'actions sont demandées aux élèves, et donc que ces personnes sont moins des joueuses et des joueurs que des observatrices et des observateurs. Le jeu a été testé auprès de 45 élèves de première secondaire. Un questionnaire prétest a permis de recueillir des informations sur leurs connaissances antérieures à propos de l'évolution. Un questionnaire posttest a permis de mesurer leurs observations de l'environnement simulé, de qualifier leurs hypothèses sur le changement survenant dans



une population, de connaître leur degré d'accord sur certaines caractéristiques du jeu et de connaître leur opinion sur l'utilité du jeu et le besoin de connaissances antérieures sur la TE pour jouer. L'analyse des résultats présentée dans l'article permet difficilement de comprendre si la mise à l'essai du jeu atteint ou non les objectifs de recherche, bien que les auteurs concluent que « The results of our experimental evaluation suggest that Sim-Evolution can be an important auxiliary tool for helping teachers [...] » (Cardoso *et al.*, 2019, p. 7). Ce qui retient l'attention est l'absence de description du contexte de développement du jeu et la raison qui motive son développement. Cette recherche est un exemple de développement intuitif pour laquelle une posture épistémologique positiviste est opérationnalisée. Ce type de méthodologie a pour conséquence de limiter la production de connaissances à la légitimation de l'utilisation du produit développé et non à « comprendre en profondeur l'expérience d'utilisation et les améliorations possibles » (Bergeron et Rousseau, 2021, p. XXVII). Bien que cette étude soit un exemple concret de la mise en application d'une technologie de réalité virtuelle pour l'apprentissage de la TE, le devis de recherche ne s'attarde pas au vécu de la personne utilisatrice durant le jeu; il est donc difficile d'attester de la qualité de l'expérience immersive.

La deuxième étude est celle de Henry (2019), où une simulation par réalité augmentée a été développée puis testée auprès de 189 personnes étudiantes à l'université. Selon Harley *et al.* (2018), la réalité augmentée est l'ajout d'informations numériques à la réalité afin que ces informations soient pertinentes à l'activité où sont engagées les personnes apprenantes. C'est à l'aide d'une tablette numérique que celles-ci étaient amenées à interagir avec une simulation d'un environnement naturel. Les personnes participantes devaient capturer des proies et observer le changement induit par cette action dans la population. L'hypothèse de recherche est qu'une simulation en réalité augmentée est plus efficace pour réduire les conceptions erronées (quatre sont ciblées dans l'étude) de la sélection naturelle comparativement à une simulation numérique sans réalité augmentée ou virtuelle. Le devis quasi expérimental de cette étude est opérationnalisé par l'entremise de trois groupes expérimentaux, d'un prétest et d'un posttest. Le contenu du prétest et du posttest était le même, et questionnait les personnes participantes sur les quatre différentes conceptions erronées de la sélection naturelle. Les résultats de cette étude montrent que le nombre de conceptions erronées exprimées par les personnes participantes est plus élevé après la simulation qu'avant la simulation, ce qui infirme l'hypothèse formulée. Pour expliquer ce résultat, l'auteur de l'étude prétend que le contexte pédagogique dans lequel s'est déroulé la simulation est probablement similaire au contexte dans lequel les personnes apprenantes développent les fausses conceptions de l'évolution. De plus, la simulation ne faisait pas partie d'un scénario pédagogique incluant une leçon complémentaire sur les concepts de l'évolution, et donc l'utilisation d'une simulation virtuelle isolée, détachée d'autres activités d'apprentissage, ne semble pas suffisante pour modifier les conceptions erronées.

Ce qui retient l'attention dans cette étude est l'utilisation de la réalité augmentée pour simuler des événements naturels dans une population soumise au mécanisme de la sélection naturelle. C'est une technologie qui permet un niveau d'immersion moins élevé que ce qui est permis par la réalité virtuelle, mais qui néanmoins sollicite une perception et une manipulation d'objets. Henry (2019) utilise la théorie du changement conceptuel de Hewson et Hewson (1983) pour appuyer le potentiel d'amélioration de l'apprentissage du dispositif de réalité augmentée. Aussi, tout comme dans l'étude de Cardoso *et al.* (2019), la démarche de développement de la simulation n'est pas explicitée. Dans les deux cas, la mise en œuvre d'un devis quasi expérimental vise la démonstration de l'effet du dispositif sur l'apprentissage, mais ne considère pas l'expérience éducative vécue durant l'immersion. Pourtant, s'attarder à comprendre l'expérience de la personne utilisatrice durant l'immersion est primordial dans le développement d'activités d'apprentissage de réalité virtuelle, puisque la qualité de l'expérience éducative immersive est garantie.



d'une interaction entre le contenu pédagogique et la personne apprenante. Cette interaction est la pierre angulaire de l'apprentissage, et donc d'une possible amélioration de la compréhension des concepts à l'étude. Les devis méthodologiques et les résultats des études données en exemple indiquent que l'expérience de la personne utilisatrice a été écartée. Il est possible de croire que l'absence de données sur le sentiment de présence durant l'immersion, par exemple, ait mené au développement d'expériences immersives peu aptes à provoquer un changement conceptuel chez les personnes apprenantes.

PRINCIPES DE CONCEPTION D'UNE EXPÉRIENCE ÉDUCATIVE IMMERSIVE

En accord avec les résultats rapportés dans les deux études présentées plus haut, une mise en garde est formulée par Jensen et Konradsen (2018) à la suite d'une revue des écrits sur l'utilisation de casques de réalité virtuelle en contexte éducatif : l'utilisation des technologies immersives comme la réalité virtuelle ne mène pas nécessairement à un meilleur apprentissage. Dans ce contexte, il est nécessaire d'identifier les conditions gagnantes pour y arriver, étant donné que l'immersion est un outil au potentiel bien établi en éducation. Quelques autrices et auteurs proposent des conditions gagnantes, formulées à partir des résultats de revues systématiques d'écrits portant sur l'apprentissage immersif en contexte éducatif. Le tableau 1 présente une synthèse d'éléments positifs et négatifs à considérer lors de la conception pour maximiser la qualité de l'expérience éducative immersive et tendre vers un meilleur apprentissage grâce à l'immersion. Les éléments peuvent être un avantage ou une limite de l'immersion, ainsi qu'une considération particulière augmentant ou atténuant la qualité de l'expérience.

Tableau 1

Synthèse des éléments à considérer pour la conception d'une expérience éducative immersive

Éléments positifs	Éléments négatifs
<ul style="list-style-type: none">• Augmentation désirée du sentiment de présence (Jensen et Konradsen, 2018)• Augmentation désirée du réalisme (Jensen et Konradsen, 2018)• Augmentation désirée du degré d'immersion (Jensen et Konradsen, 2018)• Importance du design pédagogique de l'expérience immersive (Jensen et Konradsen, 2018)• Manipulation d'objets dans des contextes dangereux ou rares possible (Lewis <i>et al.</i>, 2021)• Visite d'endroits inaccessibles dans le temps et l'espace possible (Lewis <i>et al.</i>, 2021)• Amélioration de la compréhension de phénomènes abstraits et complexes (Lewis <i>et al.</i>, 2021)	<ul style="list-style-type: none">• Personnes anxieuses ressentant un moins grand sentiment de présence durant l'immersion (Jensen et Konradsen, 2018)• Confusion possible quand présentations très réalistes d'environnements complexes (Jensen et Konradsen, 2018)• Distraction durant l'immersion possible (Jensen et Konradsen, 2018 ; Lewis <i>et al.</i>, 2021)• Surcharge cognitive possible durant l'immersion (Lewis <i>et al.</i>, 2021)• Traumatismes physiologiques possibles durant l'immersion (Lewis <i>et al.</i>, 2021)• Mise en application de l'immersion peu adéquate est possible (Lewis <i>et al.</i>, 2021)



Éléments positifs	Éléments négatifs
<ul style="list-style-type: none">• Amélioration de l'acuité spatiale, de la création et du processus métacognitif (Lewis <i>et al.</i>, 2021)• Stimulation sensorielle proche de la réalité (Lewis <i>et al.</i>, 2021)• Communication à distance en temps réel avec un·e expert·e possible (Lewis <i>et al.</i>, 2021)• Facilitation de la collaboration entre les apprenant·es et avec l'enseignant·e (Lewis <i>et al.</i>, 2021)• Combinaison désirée d'une expérience d'apprentissage immersive avec un apprentissage hors immersion (Wörner <i>et al.</i>, 2022)• Activation désirée des connaissances antérieures des apprenant·es avant l'expérience immersive (Wörner <i>et al.</i>, 2022)• Rôle clef de l'enseignant·e comme guide dans la séquence de tâches d'apprentissage dans et hors immersion (Wörner <i>et al.</i>, 2022)	<ul style="list-style-type: none">• Symptômes de cybermalaise possibles (Lewis <i>et al.</i>, 2021)

Note. © Auteurs

Deux éléments positifs à considérer dans la conception d'une expérience éducative immersive de qualité qui semblent incontournables dans le contexte de l'apprentissage de la TE sont le potentiel de l'immersion pour l'amélioration de la compréhension de phénomènes abstraits et complexes (Lewis *et al.*, 2021) ainsi que l'importance de la qualité du design pédagogique (Jensen et Konradsen, 2018). En ce sens, Mikropoulos et Natsis (2011) rappellent que le design d'activités d'apprentissage de qualité est important pour garantir le succès de l'apprentissage. Il est donc primordial, lors de la planification d'une expérience éducative immersive, de considérer les objectifs d'apprentissage visés, ainsi que d'évaluer la plus-value potentielle de l'immersion.

Hypothèse et recherche-développement

À la lumière des constats concernant les obstacles à la compréhension de la TE, du potentiel de l'apprentissage actif, du changement conceptuel comme moteurs de remplacement des conceptions erronées et des recommandations quant à la conception d'une expérience éducative immersive de qualité, il est possible de croire que l'apprentissage immersif est une piste de solution prometteuse pour améliorer l'apprentissage de la TE, ou toute théorie se heurtant à des conceptions erronées de nature similaire.



L'idée que le développement d'une expérience éducative immersive et son implantation en contexte d'enseignement au collégial améliore la compréhension de la TE constitue donc l'hypothèse de travail qui soutient le projet de recherche en cours. Celui-ci s'articule autour d'une visée de développement d'une expérience immersive pour améliorer la compréhension de la TE au cégep et profite des objectifs du présent article. De manière assez éloquente au regard de la notion théorique pour lequel l'effort de développement du projet de recherche veut contribuer, Hoffman et Holzhuter (2012) disent que « innovation resembles mutation, the biological process that keeps species evolving so they can better compete for survival » (p. 3). Souvent qualifiée de pédagogique, une innovation peut être vue comme un instrument de changement positif (Serdyukov, 2017) ainsi qu'une nouveauté utile dans un milieu d'enseignement. Pour que cette nouveauté soit utile, elle doit être pensée dans une démarche cohérente qui fait intervenir les personnes utilisatrices et être au service de l'apprentissage. La méthodologie de recherche-développement est tout indiquée pour fournir cette démarche, puisqu'elle prévoit une collaboration étroite entre les chercheuses, les chercheurs, les actrices et les acteurs du milieu, en plus de planifier des allers-retours entre les différentes phases de la démarche, permettant ainsi une grande flexibilité du devis de recherche. La recherche-développement est toujours menée par le besoin de solutionner un problème dans le milieu de pratique et vise à améliorer les actions des actrices et des acteurs de ce milieu, ce qui lui confère son caractère pragmatique (Lenoir, 2018).

Étant donné la double finalité propre à la recherche-développement, soit de « développer un produit utilisable dans la pratique [et de] générer, par un processus de recherche, de nouvelles connaissances grâce à cette expérience » (Bergeron et Rousseau, 2021, avant-propos), la contribution à la science est double : sur le plan pratique, soit celui de l'expérience de développement de l'outil, et sur le plan scientifique, soit celui de la recherche (Bruyère et Lapierre, 2021). Dans le cadre du projet en cours visant à développer une expérience éducative immersive pour améliorer l'apprentissage de la TE, les résultats attendus sur le plan pratique prendront la forme de principes de conception d'un dispositif d'apprentissage immersif utilisant une technologie de réalité virtuelle. Ces principes pourraient inclure des recommandations pour de futurs projets de développement dans des contextes différents de celui de l'enseignement collégial. Cela est cohérent avec le principe de transférabilité des résultats produits dans le cadre d'un projet qui respecte les critères de scientificité de la recherche (Loiselle, 2001). De plus, les résultats pratiques pourraient prendre la forme d'une description de l'expérience de développement dans le contexte d'une recherche-développement avec des actrices et des acteurs du milieu collégial. Sur le plan scientifique, les résultats obtenus pourraient permettre de mieux comprendre l'expérience d'apprentissage durant une expérience immersive par réalité virtuelle. Ce projet veut donc contribuer à l'avancement des connaissances sur l'utilisation des nouvelles technologies numériques éducatives. Ces résultats permettront de mieux comprendre l'enseignement supporté par la réalité virtuelle, notamment l'apprentissage de théories scientifiques difficiles.

Conclusion

Un des objectifs de cet article était de mieux comprendre les enjeux de l'apprentissage de la théorie de l'évolution (TE). Les écrits à ce sujet sont explicites : l'évolution des espèces vivantes est une théorie difficile à comprendre à tous les niveaux d'enseignement, mais particulièrement pour les personnes apprenantes adultes. Les obstacles à sa compréhension sont nombreux et donnent lieu à des conceptions erronées, comme la croyance que la TE explique l'apparition de la vie sur Terre. Les écrits sur le sujet mènent à croire que des stratégies d'enseignement basées sur les principes de l'apprentissage actif et du changement conceptuel sont prometteuses pour améliorer l'apprentissage de la TE. Quand les personnes



apprenantes sont confrontées à leurs fausses conceptions, quand elles expérimentent le phénomène et quand elles sont au cœur de l'action, des conditions gagnantes sont réunies pour créer de nouvelles conceptions plus justes.

Cet article avait aussi comme objectif d'explorer l'apprentissage immersif comme levier pour améliorer l'apprentissage de théories difficiles. L'apport de l'apprentissage immersif dans ce contexte semble contribuer à une solution concrète au problème de compréhension de la TE si certains principes de conception d'une expérience éducative immersive sont respectés, entre autres, planifier un design pédagogique approprié de l'expérience immersive en continuité avec des tâches d'apprentissage hors immersion et induire un grand sentiment de présence durant l'immersion.

Le projet en cours veut contribuer à développer un cadre pédagogique commun pour enseigner la théorie de l'évolution par l'entremise des pédagogies actives et immersives. En ce sens, il contribue à l'avancement des connaissances en enseignement collégial en sciences, connaissances transférables à d'autres disciplines où des notions complexes et multidisciplinaires sont à l'étude. Ce projet contribuera également à documenter les fondements de l'apprentissage immersif, méthode active prometteuse pour améliorer l'apprentissage à l'aide de technologies numériques, puisqu'il n'en est qu'à ses débuts au Québec.

Liste de références

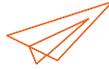
- Aikenhead, G.S., et Jegede, O.J. (1999). Cross-cultural science education: A cognitive explanation of a cultural phenomenon. *Journal of Research in Science Teaching*, 36: 269-287.
- Alters, B. J. et Nelson, C. E. (2002). Perspective: Teaching evolution in higher education. *Evolution*, 56(10), 1891-1901.
- Andersson, B., et Wallin, A. (2006). On developing content-oriented theories taking biological evolution as an example. *International Journal of Science Education*, 28(6), 673-695.
- Asterhan, C. S., et Schwarz, B. B. (2007). The effects of monological and dialogical argumentation on concept learning in evolutionary theory. *Journal of educational psychology*, 99(3), 626.
- Banet, E., et Ayuso, G. E. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, 25(3), 373-407.
- Bates, A. T. (2022). *Teaching in a digital age: Guidelines for designing teaching and learning*. 3^e édition. <https://pressbooks.bccampus.ca/teachinginadigitalagev3m/>
- Bergeron, L. et Rousseau, N. (2021). Avant-propos. Dans L. Bergeron et N. Rousseau (dir.), *La recherche-développement en contextes éducatifs. Une méthodologie alliant le développement de produits et la production de connaissances scientifiques* (p. XXV-XXX). Presses de l'Université du Québec.
- Bergeron, L., Rousseau, N. et Dumont, M. (2021). Une opérationnalisation de la recherche-développement menée en contextes éducatifs. Dans L. Bergeron et N. Rousseau (dir.), *La recherche-développement en contextes éducatifs. Une méthodologie alliant le développement de produits et la production de connaissances scientifiques* (p. 25-43). Presses de l'Université du Québec.
- Bishop, B. A. et Anderson, C. W. (1986). *Student Conceptions of Natural Selection and Its Role in Evolution, Research Series No. 165*. Rapport de recherche. Michigan State University. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED269254.pdf>
- Blackwell, W. H., Powell, M. J. et Dukes, G. H. (2003). The problem of student acceptance of evolution. *Journal of Biological Education*, 37(2), 58-67.
- Bowman, D. A. (1999). Interaction techniques for common tasks in immersive virtual environments. *Georgia Institute of Technology*.



- Browning, E. et Hohenstein, J. (2015). The use of narrative to promote primary school children's understanding of evolution. *Education 3-13*, 43(5), 530-547. <https://doi.org/10.1080/03004279.2013.837943>
- Bruyère, M.-H. et Lapierre, H.G. (2021). La recherche-développement en éducation à la petite enfance. Dans J. Lehrer, N. Bigras, A. Charron, et I. Laurin, (dir.). *La recherche en éducation à la petite enfance : origines, méthodes et applications*. Presse de l'Université du Québec, p. 589-614.
- Catley, K. M. (2006). Darwin's missing link—a novel paradigm for evolution education. *Science Education*, 90(5), 767-783.
- Catley, K. M. et Novick, L. R. (2009). Digging deep: Exploring college students' knowledge of macroevolutionary time. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(3), 311-332.
- Catley, K. M., Novick, L. R. et Shade, C. K. (2010). Interpreting evolutionary diagrams: when topology and process conflict. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 861-882.
- Cardoso, J., Caetano, D., Abreu, R., Quadros, J., dos Santos, J., Ogasawara, E. et Lignani, L. (2019). Supporting the Learning of Evolution Theory Using an Educational Simulator. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 13(2), 417-424. <https://doi.org/10.1109/TLT.2019.2911613>
- Crawford, B. A., Zembal-Saul, C., Munford, D., et Friedrichsen, P. (2005). Confronting prospective teachers' ideas of evolution and scientific inquiry using technology and inquiry-based tasks. *Journal of research in science teaching*, 42(6), 613-637.
- Darussyamsu, R., Fadilah, M. et Putri, D. (2018). *Emotional and Spiritual Quotient Approach Improve Biology Education Students' Acceptance of Evolution Theory*. Communication présentée au IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/2F335/2F1/2F012090>
- Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection Or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. International Book Company.
- Dede, C., Salzman, M., Loftin, R. B. et Ash, K. (2000). The design of immersive virtual learning environments: Fostering deep understandings of complex scientific knowledge. Dans M. J. Jacobson et R. B. Kozma (dir.), *Innovations in science and mathematics education: Advanced designs, for technologies of learning* (p. 361-413). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Emmons, N., Smith, H. et Kelemen, D. (2016). Changing minds with the story of adaptation: Strategies for teaching young children about natural selection. *Early Education and Development*, 27(8), 1205-1221. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1169823>
- Engel Clough, E. et Wood-Robinson, C. (1985). How secondary students interpret instances of biological adaptation. *Journal of Biological Education*, 19(2), 125-130.
- Eterovic, A. et Santos, C. M. D. (2013). Teaching the role of mutation in evolution by means of a board game. *Evolution: Education and Outreach*, 6(1), 22.
- Geraedts, C. L. et Boersma, K. T. (2006). Reinventing natural selection. *International Journal of Science Education*, 28(8), 843-870.
- Geslin, E. (2013). *Processus d'induction d'émotions dans les environnements virtuels et le jeu vidéo*. Thèse de doctorat. École nationale supérieure d'arts et métiers.
- Gibson, A. K., Drown, D. M. et Lively, C. M. (2015). The Red Queen's Race: An Experimental Card Game to Teach Coevolution. *Evolution: Education and Outreach*, 8(1), 10.
- Gregory, T. R. (2008). Evolution as fact, theory, and path. *Evolution: Education and Outreach*, 1(1), 46.
- Gregory, T. R. (2009). Understanding natural selection: essential concepts and common misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 2(2), 156.
- Gregory, T. R. et Ellis, C. A. (2009). Conceptions of evolution among science graduate students. *BioScience*, 59(9), 792-799.
- Griffith, J. A. et Brem, S. K. (2004). Teaching evolutionary biology: Pressures, stress, and coping. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 41(8), 791-809.



- Harley, J. M., Lajoie, S. P., Tressel, T. et Jarrell, A. (2018). Fostering positive emotions and history knowledge with location-based augmented reality and tour-guide prompts. *Learning and Instruction*, 101163.
- Harvey, S. et Loiselle, J. (2009). Proposition d'un modèle de recherche-développement. *Recherches qualitatives*, 28(2), 95-117.
- Henry, M. H. (2019). *Exploring the Efficacy of Using Augmented Reality to Alleviate Common Misconceptions about Natural Selection*. Thèse de doctorat. Arizona State University.
- Hewson, M. G. et Hewson, P. W. (1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(8), 731-743.
- Hoffman, A. et Holzhuter, J. (2012). *The evolution of higher education: innovation as natura selection*, Dans A. Hoffman et S. Spangehl (dir.), *Innovation in Higher Education: Igniting the Spark for Success*, American Council on Education, Rowman & Littlefield Publishers Inc. Lanham, MD, pp. 3-15.
- Holt, E. A., Ogden, T. H. et Durham, S. L. (2018). The positive effect of role models in evolution instruction. *Evolution: Education and Outreach*, 11(1), 11.
- Jensen, M. S., et Finley, F. N. (1997). Teaching evolution using a historically rich curriculum & paired problem solving instructional strategy. *The American Biology Teacher*, 208-212.
- Jensen, L. et Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education & Information Technologies*, 23(4), 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Kampourakis, K., et Zogza, V. (2009). Preliminary evolutionary explanations: A basic framework for conceptual change and explanatory coherence in evolution. *Science & Education*, 18(10), 1313-1340.
- Kelemen, D. (1999). The scope of teleological thinking in preschool children. *Cognition*, 70(3), 241-272.
- Kelemen, D., Emmons, N. A., Seston Schillaci, R. et Ganea, P. A. (2014). Young children can be taught basic natural selection using a picture-storybook intervention. *Psychological science*, 25(4), 893-902.
- Khourey-Bowers, C. (2006). Structured academic controversy: A peaceful approach to controversial issues. *The American Biology Teacher*, 68(5).
- Lajoie, S. P., Pekrun, R., Azevedo, R. et Leighton, J. P. (2020). Understanding and measuring emotions in technology-rich learning environments. *Learning and Instruction*, 70, 101272.
- Legare, C. H., Opfer, J. E., Busch, J. T. et Shtulman, A. (2018). A field guide for teaching evolution in the social sciences. *Evolution and Human Behavior*, 39(3), 257-268.
- Lenoir, Y. (2018). *Guide d'accompagnement à la recherche. Un outil de réflexion sur les termes et expressions liés à la recherche scientifique*, 2^e éd. revue et augmentée. Québec, cursus universitaire.
- Lewis, F., Plante, P., & Lemire, D. (2021). Pertinence, efficacité et principes pédagogiques de la réalité virtuelle et augmentée en contexte scolaire : une revue de littérature. *Médiations Et médiatisations*, (5), 11-27. <https://doi.org/10.52358/mm.vi5.161>
- Loiselle, J. (2001). La recherche-développement en éducation : sa nature et ses caractéristiques. Dans M. Anadon (dir.), *Nouvelles dynamiques de recherche en éducation* (p. 77-97). Les Presses de l'Université Laval.
- Matthews, D. (2001). Effect of a curriculum containing creation stories on attitudes about evolution. *The American Biology Teacher*, 404-409.
- Mikropoulos, T. A., et Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999-2009). *Computers & Education*, 56(3), 769-780.
- Moore, R., Mitchell, G., Bally, R., Inglis, M., Day, J., & Jacobs, D. (2002). Undergraduates' understanding of evolution: ascriptions of agency as a problem for student learning. *Journal of Biological Education*, 36(2), 65-71.
- Nadelson, L., Culp, R., Bunn, S., Burkhart, R., Shetlar, R., Nixon, K., et Waldron, J. (2009). Teaching evolution concepts to early elementary school students. *Evolution: Education and Outreach*, 2(3), 458-473.
- Nehm, R. H. et Schonfeld, I. S. (2007). Does increasing biology teacher knowledge of evolution and the nature of science lead to greater preference for the teaching of evolution in schools? *Journal of Science Teacher Education*, 18(5), 699-723.



- Nelson, C. E. (2008). Teaching evolution (and all of biology) more effectively: strategies for engagement, critical reasoning, and confronting misconceptions. *American Zoologist*, 48(2), 213-225.
- Nieswandt, M., et Bellomo, K. (2009). Written extended-response questions as classroom assessment tools for meaningful understanding of evolutionary theory. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(3), 333-356.
- Passmore, C. et Stewart, J. (2002). A modeling approach to teaching evolutionary biology in high schools. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 39(3), 185-204.
- Pnaud, M. (2018). Pédagogies actives : mode d'emploi.
- Pugh, K. J. (2002). Teaching for transformative experiences in science: An investigation of the effectiveness of two instructional elements. *Teachers College Record*, 104(6), 1101-1137.
- Pugh, K. J., Linnenbrink-Garcia, L., Koskey, K. L., Stewart, V. C., et Manzey, C. (2010). Teaching for transformative experiences and conceptual change: A case study and evaluation of a high school biology teacher's experience. *Cognition and Instruction*, 28(3), 273-316.
- Prastiwi, M., Kartowagiran, B., Susantini, E. (2020). Assessing using technology: Is electronic portfolio effective to assess the scientific literacy on evolution theory. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(12), 230-243.
- Prinou, L., Halkia, L. et Skordoulis, C. (2011). The inability of primary school to introduce children to the theory of biological evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4(2), 275-285.
- Roseman, J. E., Stern, L., Koppal, M. (2010). A method for analyzing the coherence of high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 47(1), 47-70.
- Rosengren, K.S., Brem, S.K., Evans, E.M. et Sinatra, G.M. (2012). *Evolution challenges: Integrating research and practice in teaching and learning about evolution*. Oxford University Press.
- Rudolph, J. L., et Stewart, J. (1998). Evolution and the nature of science: On the historical discord and its implications for education. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 35(10), 1069-1089.
- Sánchez Tapia, I., Krajcik, J. et Reiser, B. (2018). "We do not know what is the real story anymore": Curricular contextualization principles that support indigenous students in understanding natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(3), 348-376.
- Scharmann, L. C. (2005). A proactive strategy for teaching evolution. *The American Biology Teacher*, 67(1), 12-16.
- Serdyukov, P. (2017). Innovation in education: what works, what doesn't, and what to do about it? *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, 10(1), 4-33.
- Shtulman, A. et Calabi, P. (2012). Cognitive constraints on the understanding and acceptance of evolution. Dans K.S. Rosengren, S.K. Brem, E.M. Evans, et G.M. Sinatra (dir.) *Evolution challenges: Integrating research and practice in teaching and learning about evolution*. Cambridge, UK: Oxford University Press, 47-65.
- Shtulman, A. et Walker, C. (2020). Developing an Understanding of Science. *Annual Review of Developmental Psychology*, 2, 111-132.
- Siani, M., Stahi-Hitin, R., et Yarden, A. (2022). Student opposition to learning evolution and How teachers deal with this following a teacher training course. *Journal of Science Teacher Education*, 1-22.
- Sinatra, G. M. et Pintrich, P.R. (2003). *Intentional conceptual change*. Routledge.
- Sinatra, G. M., Brem, S. K., et Evans, E. M. (2008). Changing minds? Implications of conceptual change for teaching and learning about biological evolution. *Evolution: Education and outreach*, 1(2), 189-195.
- Smith, M. U. (2010). Current status of research in teaching and learning evolution: II. Pedagogical issues. *Science & Education*, 19(6), 539-571.



- Smith, M. U., et Scharmann, L. (2008). A multi-year program developing an explicit reflective pedagogy for teaching pre-service teachers the nature of science by ostention. *Science & Education*, 17(2), 219-248.
- Smith, M. U., et Scharmann, L. C. (1999). Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators. *Science education*, 83(4), 493-509.
- Stebbins, R. C. et Allen, B. (1975). Simulating evolution. *The American Biology Teacher*, 37(4), 206-211.
- Stern, L. et Roseman, J. E. (2004). Can middle-school science textbooks help students learn important ideas? Findings from Project 2061's curriculum evaluation study: Life science. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 41(6), 538-568.
- Strike, K. A. et Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*, 176.
- Thouin, M. (2020). La didactique : essentielle, mais menacée. *Didactique*, 1(1), 61-86.
- Wörner, S., Kuhn, J., et Scheiter, K. (2022). The best of two worlds: a systematic review on combining real and virtual experiments in science education. *Review of Educational Research*, 92(6), 911-952.



Annexe

Études qui décrivent et testent une intervention pour l'apprentissage de la théorie de l'évolution, par année de publication

Auteur(s) (année)	Approche pédagogique	Concept de l'évolution utilisé (quand mentionné)	Niveau d'enseignement, taille de l'échantillon
Siani <i>et al.</i> (2022)	Cours spécialisé pour les enseignants	s. o.	s. o.
Prastiwi <i>et al.</i> (2020)	Portfolio électronique	s. o.	Universitaire, N= 135
Cardoso <i>et al.</i> (2019)	Jeu simulateur d'évolution (Sim-Evolution)	Variation, hérédité, sélection	Secondaire (14-17), N = 45
Henry (2019)	Simulation en réalité augmentée	Proie-prédation	Universitaire, premier cycle, N = 189
Holt <i>et al.</i> (2018)	Modèle de l'instructeur (<i>role models</i>)	Évolution contre croyances religieuses	Universitaire
Browning et Hohenstein (2015)	L'histoire narrative	Évolution en général	Primaire (5-8 ans)
Gibson <i>et al.</i> (2015)	Jeu de table	s. o.	s. o.
Kelemen <i>et al.</i> (2014)	L'histoire narrative	Adaptation	Primaire (5-8 ans)
Eterovic et Santos (2013)	Jeu de table	Génétique	Universitaire, premier cycle
Kampourakis et Zogza (2009)	Cours magistraux et discussions dans une perspective constructiviste / confrontations des idées antérieures et des conceptions erronées	s. o.	Secondaire, N = 98
Nadelson <i>et al.</i> (2009)	Tutoriels en ligne	s. o.	Universitaire
Nieswandt et Bellomo (2009)	Analyse de cas	s. o.	s. o.
Pugh <i>et al.</i> (2010)	Expérience transformative basée sur l'affect	s. o.	s. o.
Nelson (2008)	Raisonnement critique	s. o.	s. o.



Auteur(s) (année)	Approche pédagogique	Concept de l'évolution utilisé (quand mentionné)	Niveau d'enseignement, taille de l'échantillon
Smith et Scharmann (2008)	L'évolution comme un outil intellectuel unique ou la résolution d'un type de problème spécifique	s. o.	s. o.
Asterhan et Schwarz (2007)	Intervention de deux heures, discussion collaborative et argumentaire	s. o.	Universitaire
Nehm et Schonfeld (2007)	Cours basé sur l'historique, raisonnement, apprentissage collaboratif, carte conceptuelle, visite d'un musée d'histoire naturelle, cours magistraux, lectures, vidéos	s. o.	Futur personnel enseignant de biologie
Andersson et Wallin (2006)	L'évolution comme un outil intellectuel unique ou la résolution d'un type de problème spécifique	s. o.	s. o.
Catley (2006)	L'évolution comme un outil intellectuel unique ou la résolution d'un type de problème spécifique	s. o.	s. o.
Geraedts et Boersma (2006)	Approche par problème guidé (<i>problem-posing approach</i>)	Évolution en général	Secondaire (15-16 ans)
Khourey-Bowers (2006)	Controverse structurée	s. o.	s. o.
Crawford <i>et al.</i> (2005)	<i>Software Galapagos finches</i>	s. o.	Universitaire, N = 21
Scharmann (2005)	L'évolution comme un outil intellectuel unique ou la résolution d'un type de problème spécifique	s. o.	s. o.
Banet et Ayso (2003)	Résolution de problème basée sur le changement conceptuel	s. o.	Secondaire
Alters et Nelson (2002)	Cours riches sur le plan historique	s. o.	s. o.
Passmore et Stewart (2002)	Étude de cas	s. o.	Secondaire
Pugh (2002)	Expérience transformative basée sur l'affect	s. o.	Secondaire



Auteur(s) (année)	Approche pédagogique	Concept de l'évolution utilisé (quand mentionné)	Niveau d'enseignement, taille de l'échantillon
Matthews (2001)	Cours de 4 semaines	s. o.	Secondaire
Aikenhead et Jegede (1999)	Aider les élèves à franchir la frontière entre la vie quotidienne et les valeurs personnelles qui opposent l'évolution à la culture scolaire des conceptions scientifiques	s. o.	s. o.
Smith et Scharmann (1999)	Élève peut choisir son opinion	s. o.	s. o.
Rudolph et Stewart (1998)	L'évolution comme un outil intellectuel unique ou la résolution d'un type de problème spécifique	s. o.	s. o.
Jensen et Finlay (1997)	Cours riches sur le plan historique	s. o.	s. o.
Stebbins et Allen (1975)	Jeu de table	s. o.	s. o.

Note. Le code « s. o. » indique que l'information n'était pas précisée dans l'étude.