



HAL
open science

Se conformer à un cadre pour susciter la créativité des enseignants et des élèves ? le cas de la résolution de problème en physique

Séverine Derolez, Karine Bécu-Robinault

► To cite this version:

Séverine Derolez, Karine Bécu-Robinault. Se conformer à un cadre pour susciter la créativité des enseignants et des élèves ? le cas de la résolution de problème en physique. RDST - Recherches en didactique des sciences et des technologies , 2024, 29, pp.79-106. 10.4000/130by . hal-04873697

HAL Id: hal-04873697

<https://hal.science/hal-04873697v1>

Submitted on 8 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



RDST

Recherches en didactique des sciences et des technologies

29 | 2024

La créativité dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences et des technologies

Se conformer à un cadre pour susciter la créativité des enseignants et des élèves ? le cas de la résolution de problème en physique

Conforming a framework to stir up teachers' and students' creativity? The case of problem solving in physics

Séverine Derolez et Karine Bécu-Robinault



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rdst/5369>

DOI : 10.4000/130by

ISSN : 2271-5649

Éditeur

ENS Éditions

Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2024

Pagination : 79-106

ISSN : 2110-6460

Ce document vous est fourni par Bibliothèque Diderot de Lyon - ENS



Référence électronique

Séverine Derolez et Karine Bécu-Robinault, « Se conformer à un cadre pour susciter la créativité des enseignants et des élèves ? le cas de la résolution de problème en physique », *RDST* [En ligne], 29 | 2024, mis en ligne le 16 décembre 2024, consulté le 08 janvier 2025. URL : <http://journals.openedition.org/rdst/5369> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/130by>



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

Se conformer à un cadre pour susciter la créativité des enseignants et des élèves? le cas de la résolution de problème en physique

Séverine Derolez

ENS de Lyon, université Lyon 2, CNRS, UMR ICAR (UMR 5191) et LLE (UAR 3773)

Karine Bécu-Robinault

ENS de Lyon, université Lyon 2, CNRS, UMR ICAR (UMR 5191) et LLE (UAR 3773)

Résumé : La résolution de problème est souvent envisagée comme une modalité pédagogique favorisant la créativité des élèves. L'étude présentée dans cet article a été conduite au sein d'une recherche collaborative associant des enseignants de sciences physiques du secondaire et des chercheurs. Nous nous sommes tout d'abord intéressées aux principes d'élaboration de situations de résolution de problème proposés par les chercheurs afin de mettre en évidence la créativité qu'elles suscitent chez les élèves. Puis nous avons étudié la manière dont huit enseignants s'emparaient individuellement de ces critères pour créer de nouvelles situations de résolution de problème. Cette étude s'intéresse donc à la créativité des enseignants quand ils conçoivent des situations stimulant la créativité des élèves. Les résultats montrent à la fois un réel potentiel du cadre de conception, et de notables adaptations de ce cadre par les enseignants.

Mots-clés : résolution de problème, créativité, physique, modélisation, récit

Conforming a framework to stir up teachers' and students' creativity? The case of problem solving in physics

Problem solving is often considered as a pedagogical modality that fosters students' creativity. The study presented in this article was conducted within a collaborative research involving high school physics' teachers and researchers. We first focused on the problem-solving design principles proposed by the researchers in order to highlight their potential

for student creativity. Then we studied how eight teachers individually use these criteria to create new activities. This study therefore focuses on the creativity of teachers designing activities that foster student creativity. The results show both a real potential of the design framework, and notable adaptations of this framework by teachers.

Keywords: problem solving, creativity, physics, model, narrative

Introduction

Le travail que nous présentons dans cet article prend appui sur un projet collaboratif visant la conception, la mise en œuvre et l'analyse de situations de résolution de problème en physique. Ce projet est conduit par un groupe composé de chercheurs (en didactique des sciences et en sciences cognitives) et d'enseignants de collège et de lycée, dont le fonctionnement s'apparente à la Design-Based Research (DBR) (Design-Based Research Collective, 2003). L'objectif est de concevoir des séquences d'enseignement répondant à des contraintes institutionnelles et de terrain, ainsi que d'élaborer et de faire évoluer les savoirs mobilisés par les chercheurs en didactique pour la mise en œuvre de ces séquences. Dans le cadre de notre projet, nous confrontons la diversité de l'expertise des enseignants, en fonction des niveaux d'enseignement et des objectifs d'apprentissage, à celle des chercheurs concernant les ancrages théoriques mobilisés. Initié en 2016, ce projet a naturellement évolué, tant sur la composition du collectif, les formes de travail, les productions que sur les objets étudiés. Les besoins des enseignants ont été régulièrement réévalués, passant de séances «clé en main» à des ressources pour aider à la conception de nouvelles situations de résolution de problème. Du point de vue de la recherche, nous avons ainsi successivement abordé des questions relatives aux caractéristiques des situations de résolution de problème en lien avec les demandes institutionnelles, aux stratégies mobilisées par les élèves et à une formulation des hypothèses et des résultats de la recherche compatible avec les modalités de travail et les connaissances des enseignants.

Cet article constitue un point d'étape dans notre projet afin de mieux comprendre, au prisme de la créativité, comment les enseignants s'emparent de ressources intégrant des hypothèses et résultats de recherche pour créer de nouvelles situations. La créativité peut effectivement éclairer le fonctionnement de notre projet selon une double perspective. D'une part les produits du groupe à savoir les situations de résolutions de problèmes se doivent de susciter la créativité des élèves. D'autre part, pendant le processus de conception, les enseignants doivent s'emparer d'un cahier des charges dont le caractère normatif délimite en réalité un cadre de créativité. Dans cet article, nous nous attacherons plus particulièrement à mettre en évidence en quoi les résolutions de problèmes telles qu'envisagées dans notre projet peuvent susciter la créativité des élèves, et comment les enseignants s'emparent des éléments fournis par les chercheurs pour concevoir des situations permettant de développer la créativité scientifique des élèves.

1. La créativité et la résolution de problème

1.1. Créativité

Du fait de l'importance grandissante des innovations technologiques et humaines reposant sur la créativité dans tous les secteurs professionnels (Upitis, 2014), la créativité s'est imposée, au niveau international, dans tous les programmes scolaires (Bonnardel & Didier, 2020). Actuellement, le volet 1 du programme d'enseignement du cycle d'approfondissement (cycle 4) valorise la créativité en l'articulant notamment à la résolution de problème. «La créativité des élèves, qui traverse elle aussi tous les cycles, se déploie au cycle 4 à travers une grande diversité de supports [...] et de dispositifs ou activités tels que le travail de groupes, la démarche de projet, la résolution de problème» (MEN, 2020). En revanche, au collège comme au lycée, les programmes ne mentionnent jamais comment les contenus de physique-chimie peuvent prendre en charge la créativité.

Malgré des injonctions sur la créativité, au niveau national et international, l'enseignement en France laisse peu de place à la créativité (Dirani, 2016), et encore moins l'enseignement scientifique (De Smet, Raimeanu & Romero, 2020). Certains travaux expliquent que la faible exploitation de la créativité en classe serait liée à l'absence d'originalité des enseignants (Plucker & Beghetto, 2003) et que pour favoriser la créativité des élèves, il conviendrait au préalable de susciter celle des enseignants. Nous avons donc recherché dans la littérature des caractéristiques de la créativité compatibles avec les situations d'apprentissage en physique.

Du point de vue de la recherche, le discours de Guilford après son élection à la présidence de l'American Psychology Association, publié peu après dans *The American Psychologist* (Guilford, 1950), a fait date concernant les travaux de recherche sur la créativité. Pour lui, elle est indissociable de la pensée divergente — en opposition à la pensée convergente qui consiste à obtenir un résultat via un processus commun. La pensée divergente conduit à *obtenir des réponses multiples, via une variété de cheminements*. La littérature sur la créativité est depuis restée très abondante, pour devenir un domaine de recherche à part entière, au moins dans les pays anglo-saxons, faisant l'objet de publications dans des revues dédiées (*Journal of Creative Behavior, Creativity Research Journal, Think Skills and Creativity*).

Dans son acception standard, la créativité est définie comme la capacité à réaliser une production qui soit à la fois nouvelle et adaptée au contexte dans lequel elle se manifeste (Sternberg & Lubart, 1998), qui requiert originalité et efficacité (Runco & Jaeger, 2012). À ces fins, *le contexte doit être suffisamment documenté et riche pour renvoyer des informations concernant l'adéquation des solutions aux contraintes existantes*. L'appréciation de la créativité est étroitement liée à l'environnement culturel et social (Corazza & Lubart, 2021). Bonnardel et ses collègues (2023) mettent en exergue le rôle de l'originalité (la nouveauté, la surprise et l'authenticité), mais aussi du public qui en est le juge. Paulus (2000) indique que *la créativité est favorisée par les interactions structurées au sein de groupes engagés dans la production, la sélection ou le rejet d'idées*. La littérature scientifique est foisonnante concernant l'identification des changements à apporter au système éducatif pour faciliter le développement

des compétences créatives des élèves (Capron-Puozzo, 2016; Jeffrey & Craft, 2004). Ainsi, Plücker et Beghetto (2003) remarquent que la créativité est plus susceptible d'émerger à partir d'environnements dans lesquels les enseignants enseignent de manière créative, même s'il existe des preuves de réponses créatives à des situations contraignantes (Fryer, 1996). Les apprenants apprennent de l'approche créative de l'enseignant, se retrouvent dans des situations où ils peuvent s'approprier et contrôler le processus, et sont plus susceptibles d'innover, même lorsque l'enseignant n'a pas l'intention manifeste d'enseigner la créativité. Ainsi *une situation ne revêtant pas les apprêts usuels des situations étudiées en classe favorise la créativité des élèves* (Bonnardel, Girandola & Bonetto, 2023).

1.2. Résolution de problèmes

Dans le cadre scolaire, le terme problème est depuis longtemps utilisé, en mathématiques, puis en physique. Il recouvre toutefois des formes d'activités pour les élèves très différentes, dont les deux principales sont relatives à ses finalités : évaluation ou apprentissage (Dumas-Carré & Goffard, 1997). Dans le premier cas, l'élève produit une réponse en mobilisant ses connaissances et dans le second, la construction de la solution le conduit à élaborer de nouvelles connaissances ou restructurer ses connaissances en prenant en compte les caractéristiques de la situation proposée. La résolution de problème occupe aujourd'hui une place de choix dans les enseignements au lycée, en particulier en terminale (MEN, 2019).

Dans nos recherches, nous avons souhaité nous inscrire dans la lignée des travaux conduits en didactique de la physique initiés au début des années 1980 (Goffard & Weil-Barais, 2005). Un des apports majeurs de ces travaux à notre réflexion concerne les types de pratiques à comparer à celles des élèves, à savoir non plus la pratique de l'expert en résolution de problème comme cela était le cas jusqu'alors, mais celle du chercheur scientifique (Boilevin, 2005). Cela implique de donner à voir et faire comprendre aux élèves le processus social d'élaboration des connaissances scientifiques et donc favoriser les interactions en classe, les élèves devant argumenter leurs choix au cours de la résolution. Plus récemment, les recherches au niveau international se sont intéressées aux différentes représentations sous lesquelles un problème et ses solutions sont exprimés et communiqués (De Cock, 2012; Kohl & Finkelstein, 2005).

1.3. Créativité et résolution de problème en physique

L'évolution des recherches entreprises tant au niveau national qu'international, l'évolution des injonctions institutionnelles et les enjeux éducatifs associés nous incitent aujourd'hui à questionner la résolution de problème en physique dans notre projet du point de vue de la créativité. Le rapprochement entre résolution de problème et créativité n'est pas récent. Les tâches de résolution de problème en physique sont envisagées comme étant non seulement en adéquation avec l'activité scientifique de référence, mais aussi susceptibles

d'augmenter l'intérêt des élèves envers les sciences par la créativité qu'elles peuvent susciter (Kelly *et al.*, 2012; Martins Gomes & McCauley, 2021).

Sur la base des référentiels de formation au Québec, Bernier (2022) dresse un parallèle entre les spécificités de situations suscitant la créativité et celles des situations de résolution de problème. Dans les deux cas, il s'agit de s'imprégner de l'ensemble des éléments d'une situation, ce qui se traduit par un examen détaillé de l'ensemble des éléments mis à disposition. Rieben (1978) définit la créativité comme « un processus permettant d'abord d'être réceptif aux problèmes, d'identifier les difficultés, de poser puis tester des hypothèses afin de communiquer des résultats » (*ibid.*, p. 47). Cette part de créativité permet de différencier la résolution de problème des autres types de tâches proposées aux élèves, comme les exercices. Ainsi, Poirier Proulx (1999) précise qu'une différence essentielle réside dans l'absence de cheminement évident permettant d'aboutir à une solution. Cette absence d'évidence de cheminement a pour conséquence d'inciter les élèves à élaborer et vérifier des hypothèses. Les hypothèses ainsi formulées sont ensuite réellement mises à l'épreuve des raisonnements lors de la résolution du problème, rompant avec le rôle des hypothèses émises par les élèves lors de démarches plus usuelles (Cariou, 2013). La pensée créatrice permet en outre de produire de nouvelles idées en appui sur des formats de représentation diversifiés : « elle suppose la capacité à produire des idées originales sous diverses formes ou de différentes natures et d'être en mesure de les élaborer » (Poirier Proulx, 1999, p. 62).

Nous retiendrons de cette revue de littérature que la créativité entretient des liens étroits avec la résolution de problème. Certaines caractéristiques de la créativité¹, déjà étudiées par la littérature, nous sont apparues particulièrement pertinentes au regard des enjeux éducatifs de la résolution de problème en physique :

- la description de la situation ne doit pas présenter les apprêts usuels de situations étudiées en classe de physique, et donc laisser la liberté aux élèves d'identifier et mobiliser les concepts de leur choix pour répondre aux questions posées (A);
- les élèves doivent pouvoir s'engager dans une variété de cheminements et de solutions, tant du point de vue de la forme que des contenus (B);
- la description du contexte doit être suffisamment détaillée pour permettre aux élèves de vérifier l'adéquation de leur solution au contexte (C);
- les élèves doivent pouvoir échanger leurs idées, leurs stratégies (D).

1. Ces caractéristiques sont indiquées en italique plus haut.

2. Les cadres théoriques mobilisés pour la conception de situations

Notre projet collaboratif se donne l'objectif de créer des situations de résolution de problème fournissant l'opportunité aux élèves de choisir, parmi les savoirs à disposition, ceux qu'ils estiment pertinents pour résoudre une situation proche de leur vie quotidienne (Bécu-Robinault, Derradj & Boivin-Delpieu, 2018). En ce sens, ces situations aident les élèves à prendre en charge le processus de modélisation, via la sélection et l'utilisation des concepts, lois, objets, événements appropriés. La conception des situations se devait donc de mobiliser une approche théorique fondée sur la modélisation et les représentations sémiotiques que nous avons complétées par le récit (Derolez & Bécu-Robinault, 2019).

2.1. La modélisation et les représentations sémiotiques

La modélisation, épistémologiquement constitutive de la physique, est définie comme la recherche de relations entre les objets, les phénomènes et les concepts et les lois permettant d'expliquer, d'interpréter, de prédire ces phénomènes (Bécu-Robinault, 2018; Tiberghien, 1994). Modéliser implique de distinguer et d'articuler deux mondes : le monde des objets et événements et le monde des théories et modèles. Le premier est constitué des descriptions des objets matériels et des événements perceptibles qu'ils soient scientifiques ou issus de la vie quotidienne. Les concepts, les lois, les principes permettant d'expliquer ou d'interpréter les phénomènes constituent le monde des théories et modèles. Les explications et les interprétations des élèves peuvent être scientifiques ou naïves, mais dans les deux cas, elles relèvent du monde des théories et modèles. La compréhension de la physique ne peut se concevoir sans outils sémiotiques pour communiquer les savoirs. La langue étant un outil pour penser et raisonner en sciences, il est nécessaire d'apprendre à la manipuler pour communiquer les observations réalisées et les modèles mis en œuvre (Yeo & Gilbert, 2014). Les activités des scientifiques sont diverses, et nombreuses sont celles qui ne peuvent être exprimées uniquement verbalement. Les scientifiques produisent continuellement de nouvelles représentations sémiotiques qui font ensuite l'objet d'enseignements spécifiques (construction de graphe, calculs, tableaux, schémas, etc.). Ces représentations permettent d'exprimer des éléments relatifs aux deux mondes ainsi que les relations qu'ils entretiennent (Bécu-Robinault, 2022).

Les situations élaborées se doivent donc de favoriser les activités de modélisation en incitant les élèves à donner du sens aux éléments constitutifs des deux mondes via des relations entre ces éléments, mais surtout établir des liens entre les deux mondes pour expliquer, prédire les événements en jeu dans le problème. Les documents mis à disposition des élèves doivent par ailleurs proposer ou susciter la mobilisation d'une variété de représentations sémiotiques adaptés aux éléments pris en compte et aux articulations construites entre les mondes.

2.2. Le récit et les mondes possibles

Le récit, réel ou fictif, est un outil qui permet de comprendre ou créer des significations de nos expériences (Bruner, 2008). Par ses fonctions structurantes et problématisantes, et par sa puissance d'évocation, la forme narrative est la forme privilégiée pour décrire la réalité humaine (Bruner, 2002, 2008). Dans un sens large et englobant, le récit peut être défini comme tout acte de parole ou d'écriture opérant une forme de configuration temporelle (Ricoeur, 1991), une structure où le temps fait sens (Bruner, 2002). Le récit est un acte de synthèse d'éléments hétérogènes et du temps, un acte de narrativisation qui se fait par la mise en intrigue (Ricoeur, 1991).

La didactique des sciences a déjà interrogé le récit dans des cadres variés (Orange Ravachol & Triquet, 2007; Triquet & Bruguière, 2014). Nous le concevons comme un outil permettant au lecteur de repenser sa propre expérience du monde actuel, par l'intermédiaire d'une expérience temporelle alternative : la fiction (Ricoeur, 1991; Bruner, 2002). La fiction permet en effet de comparer l'expérience vécue dans le monde familier avec celle envisagée dans des mondes possibles (Orange Ravachol & Triquet, 2007). Dans les travaux du philosophe David Lewis (1978), les mondes contrefactuels (mondes créés par la fiction) se construisent à partir de variations du monde réel. La théorie des mondes possibles permet d'interroger notre propre monde sur ce qu'il est ou n'est pas, ou sur ce qu'il serait étant donné la structure qu'impliquerait un tel monde.

Nous attendons que les situations conçues répondent aux fonctions structurantes et problématisantes du récit. Il s'agit donc de mettre en évidence dans la situation décrite une structure qui donne du sens et un schéma narratif *a minima*, composé d'une situation initiale, d'un élément perturbateur et d'éléments de résolution pour parvenir à une situation finale (fonction structurante). Il s'agit aussi d'identifier une péripétie qui bouleverse l'état canonique initial du récit et qui justifie qu'il y ait une histoire à raconter (fonction problématisante). De plus, la question formulée à l'issue de la description de la situation doit pointer l'événement perturbateur et ainsi inciter les élèves à mobiliser les éléments de modèles des documents et/ou ses connaissances, avec la situation.

2.3. Traduction des ancrages théoriques pour la conception de situations de résolution de problème

Si les premières années du projet ont été dédiées à mieux comprendre et anticiper les activités des élèves lors d'une résolution de problème ainsi que sur les modalités de mise en œuvre dans les classes, nous avons ensuite tourné notre attention vers la formulation d'un cadre de conception permettant à des enseignants non initialement partenaires, de concevoir des situations de résolution de problème en autonomie. Notre objectif était alors d'étudier la manière dont les enseignants s'approprieraient ce cadre de conception pour le faire évoluer, conformément au fonctionnement de DBR choisi. Ce cadre de conception est composé de principes prenant appui sur une variété d'ancrages théoriques relatifs à la modélisation, les représentations sémiotiques et du récit ainsi que sur les résultats des recherches conduites sur l'implémentation

des premières situations conçues. Le travail du collectif a porté à la fois sur la formulation des éléments à mettre à disposition, mais aussi sur leur forme de manière à produire un cadre cohérent pouvant être utilisé de manière autonome par les enseignants. Différentes infographies et supports ont été conçus de manière à diffuser ce cadre de conception. Dans les documents initialement fournis aux enseignants, ces principes étaient mis en relation avec une situation prototypique «James Bond contre le Chiffre» conçue dans la première phase du projet et répondant à l'ensemble de dix principes (Derradj, Boivin-Delpieu & Bécu-Robinault, 2018; Bécu-Robinault, 2022).

- La situation peut être fictionnelle;
- La description de la situation et la question se focalisent sur des objets, des phénomènes sans référence au modèle physique;
- La description doit être suffisamment précise pour saisir les éléments de l'histoire et comment ils se combinent;
- Plusieurs cheminements doivent être possibles pour parvenir à une solution;
- La question doit amener les élèves à mettre en lien les documents² et/ou ses connaissances, avec la situation;
- Les documents fournissent aux élèves des contenus relatifs à des modèles;
- Les modèles dans les documents ne doivent être contextualisés ni avec la situation proposée, ni avec d'autres situations;
- La solution du problème constitue un dénouement à la péripétie de l'histoire;
- La situation et la résolution du problème s'appuient sur une variété de représentations sémiotiques;
- Les élèves résolvent le problème en groupes.

Ce dernier principe, concernant la gestion de classe, nous inscrit dans une filiation d'hypothèses socio-constructivistes de l'apprentissage combinées au processus de discussion des savoirs scientifiques par les chercheurs.

3. Questions de recherche et méthodologie

3.1. Questions de recherche

L'étude que nous proposons dans cet article s'apparente à une mise en abîme de la créativité. En effet, nous souhaitons mettre en évidence comment les enseignants s'emparent de ces principes dans un processus de création de nouvelles situations de résolution de problème, situations qui favorisent la créativité des élèves en physique.

Nous avons profité de la crise sanitaire liée au Covid-19 et de l'obligation de travailler à distance pour demander aux enseignants de produire, individuellement, des situations de résolutions de problèmes, en leur fournissant

2. Il s'agit de documents annexés à la description de la situation qui fournissent des pistes de solution mais qui ne peuvent être utilisés en l'état pour résoudre le problème.

les principes à respecter. Nous espérons ainsi pouvoir collecter une diversité de situations à mettre en œuvre ensuite dans les classes. Les enseignants se trouvaient ainsi sollicités dans un processus créatif individuel, mais toutefois cadré, pour concevoir de nouvelles situations de résolution de problème.

Nous chercherons dans un premier temps à mettre en évidence en quoi les principes de conception adoptés suscitent la créativité des élèves lors du processus de résolution du problème.

Nous nous intéresserons ensuite à la manière dont les enseignants s'emparent de ces principes pour concevoir de nouvelles situations de résolution de problème. Cette étude nous donnera à voir non seulement la part de créativité des enseignants au sein du projet, mais également en quoi les situations conçues peuvent susciter la créativité des élèves.

3.2. Méthodologie

Notre processus de recherche s'organise selon deux étapes, chacune d'elles se fondant sur des données à la fois distinctes et tributaires l'une de l'autre. D'une part les principes de conception, dont la formulation s'appuie sur les résultats de la recherche et les retours des enseignants lors de précédents projets; d'autre part leur utilisation par les enseignants, dont l'analyse permettra une reformulation et une reconfiguration.

Le lien entre les principes de conception et la créativité n'était pas encore explicité au début du projet. Dans un premier temps, nous proposons donc d'analyser *a posteriori* les dix principes de conception au regard des caractéristiques de la créativité, telles que retenues dans la première partie de cet article afin de mettre en évidence comment la résolution de problème telle que nous l'avons formalisée encourage la créativité.

Dans un deuxième temps, nous nous intéresserons aux situations conçues par les enseignants (cinq pour le collège, sept pour le lycée). Ces enseignants, sollicités *via* des collègues, ont souhaité intégrer le projet de manière à mieux comprendre l'intérêt de la résolution de problème en physique et développer de nouvelles pratiques professionnelles. Leurs profils sont très diversifiés tant du point de vue de l'expérience professionnelle que de leur participation à d'autres projets de recherche. Dans une première réunion, les chercheurs ont exposé et discuté les documents de cadrage ainsi que les objectifs de la résolution de problème telle qu'envisagée au sein du projet. Les chercheurs ont aussi donné et présenté une situation prototypique précédemment conçue et analysée (intitulée «James Bond contre le Chiffre») qui répond à l'ensemble des principes de conception. Pour concevoir de nouvelles situations, les enseignants avaient à leur disposition la situation prototypique, un tableau indiquant l'ensemble des principes à respecter et leur possible influence sur les activités des élèves, ainsi qu'un ensemble d'infographies synthétisant les principes et la mise en œuvre des situations en classe. L'ensemble des documents est hébergé sur le site du projet, sur le *drive* collaboratif, et a été communiqué par mail.

Nous avons également demandé aux enseignants de répondre à un questionnaire portant sur les éléments consultés pour concevoir la situation de

résolution de problème, les principes pris en considération, les objectifs d'enseignement et les difficultés rencontrées.

Nous avons également réalisé et transcrit quatre entretiens avec les enseignants de collège. Ces entretiens, réalisés en visioconférence sur la base d'une trame commune, ont abordé les questions suivantes : Comment la situation de résolution de problème a été conçue ? Quelles ressources ont été utilisées ? Comment l'activité sera utilisée en classe ?

4. Résultats

4.1. Les principes de conception au prisme de la créativité

Dans cette première analyse, nous rapprochons, lorsque cela est possible et pertinent, pour chacun des dix principes de conception des situations (numérotés de 1 à 10), une ou plusieurs des quatre caractéristiques de la créativité (numérotées de A à D).

Il s'agit tout d'abord d'ancrer la situation qui introduit la problématique de la résolution de problème, dans un récit proposant une expérience temporelle alternative (principe 1). Parce qu'elle représente un temps configuré, cette configuration narrative est alors fictionnelle. La situation décrit un monde « possible » (Lewis, 1978), nouveau pour les élèves, qui entretient des liens étroits avec le réel mais qui n'a pas l'apparence de situations habituellement étudiées en classe de physique (caractéristique A).

Par ailleurs, ce récit contient une mise en intrigue ou une péripétie, dont le dénouement constitue la solution du problème exposé dans la situation (principe 8). Pour valider cette solution, et donc le processus de résolution choisi, il convient que les élèves puissent mobiliser des éléments de la situation et donc que le contexte soit suffisamment détaillé (caractéristique C).

Dans nos situations de résolution de problème, contrairement aux énoncés d'exercices classiques en physique (Boilevin, 2010), la description de la situation et la question posée aux élèves se focalisent sur des objets, des phénomènes et ne doivent pas faire de référence au modèle physique, quel qu'il soit (principe 2). L'élève se voit donc confier la responsabilité de résoudre de manière personnelle un problème non usuel (caractéristique A) en ayant le choix de la modélisation à opérer, et par conséquent de proposer des valeurs ou des grandeurs qu'il estime pertinentes (caractéristique B).

Quels que soient les choix rédactionnels, les choix des élèves sont influencés par la manière dont la question est posée. Dans notre cas, nous avons fait le choix de formuler cette question de manière à inciter les élèves à mettre en lien les documents complémentaires et/ou ses connaissances, avec la situation (principe 5). Ces documents fournissent des pistes de modélisation différentes sans pour autant formuler une solution à la question adressée aux élèves (principe 6). De plus, les éléments de modélisation figurant dans ces documents ne doivent pas être contextualisés ni avec la situation présentée, ni avec une autre situation (principe 7). Il ne s'agit pas de proposer des modèles non pertinents mais bien de donner des éléments de modèles connus des élèves et dont la mise en relation, nécessaire pour résoudre le problème posé, n'a pas

encore été étudiée. Ainsi, les documents peuvent proposer différents modèles, ou éléments de modèles que les élèves devront sélectionner et mettre en relation pour résoudre le problème. Par ailleurs, le ou les modèles proposés dans les documents doivent éviter de présenter des traces de contextualisation permettant une application immédiate de ces modèles pour décrire, expliquer ou prédire des objets et événements décrits dans la situation. Les élèves ont à leur charge la sélection et la mise en relation des données de la situation avec les éléments plus conceptuels figurant dans les documents. Conformément aux résultats d'une précédente étude, les documents doivent également éviter de présenter des modèles mobilisés pour expliquer d'autres situations de manière à éviter aux élèves une décontextualisation et une recontextualisation. Cette double activité de modélisation (des objets événements présentés dans les documents vers le modèle à utiliser, puis du modèle vers d'autres objets et événements) s'avérait introduire une complexité supplémentaire inutile au regard des objectifs d'apprentissage envisagés (Derradj, Boivin-Delpieu & Bécu-Robinault, 2018). Ne pouvant faire une totale abstraction du contrat didactique³, les élèves ont donc une certaine liberté concernant l'identification et la mobilisation de concepts pour répondre au problème qu'ils auront formulé (caractéristique A). Cette liberté est accentuée par le fait que la situation exposée et la question ne sont pas usuelles en physique : le lien entre les cheminements, les solutions et les attributs de la situation n'est donc ni évident, ni unique (caractéristique B).

Le choix de faire travailler les élèves en groupes (principe 10) a pour objectif de susciter des interactions dans une perspective socioconstructiviste, favorisant les apprentissages en permettant aux élèves d'exprimer et de discuter leurs conceptions, afin de les mettre à l'épreuve lors de l'élaboration d'une solution (Boilevin, 2005). La génération d'idées est une partie importante du processus créatif dans les groupes (caractéristique D).

Mais pour que les interactions entre élèves concernant les processus de résolution à adopter soient féconds, la description de la situation doit être suffisamment dense et détaillée pour que les élèves se saisissent des éléments du récit et de la manière dont ils se combinent (principe 3). Une densité suffisante et explicite de la situation (Dolezel, 1998) évite également aux élèves de se construire des images différentes de la situation en intégrant plus ou moins implicitement au récit des éléments qui permettent de gagner en cohérence. Une description suffisamment dense du contexte invite les élèves à explorer une variété de solutions dont ils pourront ensuite vérifier la validité grâce aux éléments composant la texture du récit (caractéristique C).

Les situations conçues au sein du projet doivent permettre aux élèves d'emprunter plusieurs cheminements pour parvenir à une solution ou des solutions (principe 4). Cette latitude pour la résolution de problème est une traduction presque fidèle aux premiers fondements de la créativité concernant la pensée divergente (caractéristique B). Cette absence de cheminement évident incite les élèves à réfléchir, élaborer et utiliser des idées originales et innovantes pour aborder et résoudre le problème scientifique.

3. Les problèmes sont toujours donnés dans une période au cours de laquelle des contenus spécifiques sont enseignés.

Outre la diversité des cheminements et des solutions, c'est la variété des représentations mises à disposition, et donc suscitées pour la résolution qui caractérise les situations conçues au sein du groupe (principe 9). Ce choix se fonde sur les relations entre représentations sémiotiques et modélisation. En choisissant un type de représentation, les élèves opèrent également un choix qui conditionne la manière dont les objets, les phénomènes, les concepts ou leurs relations seront pris en compte dans le processus de résolution. Ce principe de conception répond aux caractéristiques de la créativité relatives à la diversité des formes que peuvent prendre les cheminements et les idées (caractéristique B).

Tableau 1 Tableau récapitulatif de la concordance entre les caractéristiques de la créativité et les principes de conception de situations de résolution de problème

Caractéristiques de la situation favorisant la créativité	Correspondance avec les principes de conception de situations de résolution de problème
A – La situation ne doit pas présenter les apprêts usuels de situations étudiées en classe de physique, et donc laisser la liberté aux élèves d'identifier et mobiliser les concepts de leur choix pour répondre aux questions posées	1 : situation fictionnelle
	2 : question sur les objets-événements
	5 : lien à établir entre question et documents
	6 : présentation des modèles dans les documents
	7 : modèles non contextualisés
B – La situation doit susciter une variété des cheminements de résolution et des solutions, tant du point de vue de la forme que des contenus	2 : question sur les objets-événements
	4 : plusieurs cheminements possibles
	5 : lien question-documents
	6 : présentation des modèles dans les documents
	7 : modèles non contextualisés
C – La description du contexte qui doit être suffisamment détaillé pour permettre aux élèves de vérifier l'adéquation de leur solution au contexte	8 : lien entre solution du problème et dénouement
	3 : densité du récit
D – La situation doit offrir la possibilité d'échanger ses idées, ses stratégies avec d'autres élèves	10 : interactions en groupe

Cette analyse *a posteriori* de nos principes de conception confirme les liens étroits entretenus par la résolution de problème et la créativité. Elle révèle que chacun de nos principes de conception contribue à favoriser au moins un aspect de la créativité en situation d'apprentissage. Il apparaît de surcroît que certains d'entre eux (2, 5, 6 et 7) concernent tout autant les caractéristiques de la situation que la variété des cheminements possibles pour la résolution. Ainsi, la résolution de problème, telle qu'envisagée au sein du projet se distingue des autres modalités d'enseignement-apprentissage du fait de la créativité qu'elle suscite (Kelly *et al.*, 2012; Martins Gomes & McCauley, 2021). Il reste à examiner comment les enseignants s'emparent de ces principes pour les mettre en œuvre dans les situations qu'ils conçoivent en autonomie. Cette deuxième phase de notre analyse nous donnera à voir non seulement quelle part de créativité les

enseignants s'accordent au sein de notre projet, mais aussi quels sont les pans de la créativité que les enseignants souhaitent susciter chez leurs élèves.

4.2. Les situations créées par les enseignants

Dans cette partie, nous analysons les douze situations conçues par les huit enseignants du groupe. Nous avons collecté cinq situations pour le collège et sept pour le lycée, les enseignants pouvant avoir conçu une ou deux situations. Dans la suite du texte, ces situations sont identifiées par un nom court relatif à leur contenu, indiqué en italique.

Les situations conçues ont été analysées selon les neuf premiers principes énoncés plus haut, le dixième concernant le travail de groupe. Pour chacun d'eux, nous précisons les critères nous permettant d'affirmer qu'il est respecté ou non dans la situation conçue par l'enseignant. Au besoin, nous complétons par des informations empruntées aux réponses au questionnaire ou des transcriptions des entretiens. Les tableaux 2 et 3 dressent une synthèse des analyses des situations au regard des 9 principes⁴.

Tableau 2 Synthèse des analyses des situations conçues par les enseignants de collège

Situations conçues > Principes de conception liés à la créativité v	Guirlande de Noël (B)	Réchauffement climatique (F)	Cow-Boy (D)	Trou noir (P)	Effet de serre (D)
1 : monde	Réel actuel	Réel mais pas actuel	Fictif actuel	Réel mais pas actuel	Fictif actuel
2 : description de la situation (Objets/événements, modèles)	Indication de mesures	Présentation de la courbe $\Delta T = f(t)$	Description en termes d'objets-événements	Description en termes d'objets-événements	Description en termes d'objets-événements
3 : densité description	Oui	Non	Non	Non	Oui
4 : plusieurs cheminements possibles	Oui	Non	Non	Oui	Oui
5 : une question articulant la situation et les documents	Non	Non	Oui	Non	Oui
6 : documents et modèle	Modèle/ expérience	Modèle/données chiffrées	Modèle/ autres situations	Modèle/ données chiffrées	Modèle/ expérience
7 : contextualisation des modèles	Contextualisé autre situation	Contextualisé situation	Non contextualisé	Contextualisé situation	Contextualisé autre situation

4. Le dixième principe n'est pas retenu dans cet article comme critère d'analyse des situations construites par les enseignants.

8 : solution = dénouement	Partiel	Non	Oui	Non	Oui
9 : registres sémiotiques	Langue naturelle et photo	Langue naturelle et graphe	Langue naturelle et dessin	Langue naturelle et photo	Langue naturelle et dessin

Les initiales entre parenthèses dans les intitulés des situations permettent d'identifier les enseignants.

Tableau 3 Synthèse des analyses des situations conçues par les enseignants de lycée

Situations conçues > Principes de conception liés à la créativité v	Micro-ondes	Alodont	Squelette	Lunettes	Sous-marin	Alcoolémie	Oreille absolue
1 : monde	Réel actuel	Réel actuel	Réel actuel	Réel actuel	Réel pas actuel	Réel actuel	Réel actuel
2 : description de la situation (Objets/événements, modèles)	Pas de description	Indication des valeurs du poids, volume	Description en termes d'objets et événements (plus une date)	Description en termes d'objets et événements (mais référence aux doc.)	Indication des valeurs grandeurs	Volume durée	Description en termes d'objets et événements (mais référence aux doc.)
3 : densité description	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non
4 : plusieurs cheminements possibles	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
5 : une question qui implique dans la situation	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
6 : documents et modèle	Pas de modèle	Modèle/données chiffrées	Modèle/données chiffrées	Modèle/données chiffrées	Modèle/données chiffrées	Modèle/données chiffrées	Modèle/données chiffrées
7 : contextualisation des modèles	Non	Contextualisé	Non contextualisé	Non contextualisé	Contextualisé	Contextualisé	Contextualisé
8 : solution = dénouement	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
9 : registres sémiotiques	Langue naturelle	Langue naturelle et photo	Langue naturelle	Langue naturelle	Langue naturelle et photo	Langue naturelle	Langue naturelle

Précisons, à titre liminaire, que les huit enseignants déclarent avoir consulté le site sur lequel les documents conçus au fil du projet avaient été déposés. Toutefois, deux d'entre eux seulement ont lu la fiche détaillée présentant les principes de conception et quatre ont consulté l'infographie synthétique produite par un enseignant. Par ailleurs, tous les enseignants précisent que ces situations seront réalisées en groupes.

Principe 1 : la situation peut être fictionnelle.

La possibilité d'ancrer la situation dans un monde fictif confère d'emblée un caractère original et novateur à une situation travaillée en classe de physique, favorisant donc la créativité chez les élèves. La situation présente un caractère fictif si un des éléments structurants du récit (personnages, l'action, l'objectif poursuivi, ou le cadre de l'action) ne peut pas être tenu comme réel. En opposition, une situation a un caractère réel si les éléments structurants du récit apparaissent comme habituels et normaux. Nous faisons une distinction supplémentaire entre le monde réel non actuel, et le monde actuel, éprouvé par des élèves, avec lequel ils peuvent interagir.

La caractérisation des situations en termes de monde fictif ou réel révèle que la moitié des situations sont identifiables comme relevant du monde actuel des élèves comme retrouver une paire de lunettes à l'aide de son ordonnance (*lunettes*), ou estimer la dangerosité de l'ingestion d'un bain de bouche (*Alodont*) ou de boissons alcoolisées en trop grande quantité (*alcoolémie*). Conformément à notre cadre, une situation comme celle introduite par la photo d'un trou noir (*trou noir*), sera considérée comme situation réelle (appartient au monde de la science), mais pas à la vie quotidienne des élèves. La caractérisation est parfois plus délicate. Par exemple, concernant la situation *cow-boy* où un personnage de BD pose l'oreille sur un rail et dit «j'entends le train, il arrive». Peu d'élèves ont dû faire cette expérience précise. Mais beaucoup ont déjà placé leur oreille sur un objet solide frappé à distance. Cette situation, d'apparence fictive (personnage imaginaire, cadre d'action imaginaire), est donc plus proche de la vie quotidienne des élèves que certaines situations réelles du monde scientifique. Nous avons pris le parti de considérer cette situation comme fictive-actuelle.

Les résultats montrent que le monde de la fiction n'a pas été privilégié dans le choix des situations et que les enseignants ont souvent fait appel à des situations réelles, actuelles pour les élèves, mais aussi classiques pour des énoncés en classe de physique (fonctionnement du micro-onde, fréquence des notes de musique, caractéristiques des verres de lunettes de vue). De même, la situation fictionnelle *cow-boy* pourrait être considérée comme classique, de nombreux exercices de physique proposant le même type de situation (Ressources D'accompagnement du Programme de Physique-chimie Au Cycle 4, s. d.). (ex : «les brigands du Far West à l'affût d'un train à piller collaient leurs oreilles au rail pour l'entendre arriver»). Nous en concluons que même si les enseignants essaient de concevoir des situations en s'emparant de la fiction, ils choisissent des situations familières à la classe de physique, au détriment de la créativité.

Principe 2 : la description de la situation et la question se focalisent sur des objets, des phénomènes sans référence au modèle physique.

L'objectif d'une formulation de la description de la situation fournie et la question posée en termes d'objets et d'événements est d'inciter les élèves à chercher par eux-mêmes les modèles adaptés ou les simplifications à opérer. La créativité est ici associée à la part de responsabilité donnée aux élèves dans

la formulation de la situation dans les termes de la physique. Nous avons donc analysé la description de la situation et la question, afin de mettre en évidence si elles respectaient ce principe, ou si elles présentaient une éventuelle référence à des éléments relatifs au monde des théories et modèles, quelle que soit la représentation sémiotique associée.

Ces éléments pouvaient être formulés dans le texte, mais aussi les illustrations accompagnant la description de la situation. Par exemple, la situation *Alodont* indique «Une femme de 50 kg a malencontreusement avalé 50 mL d'*Alodont* pur lors de son bain de bouche. Sa santé est-elle en danger?». Il contient donc deux grandeurs, le volume et la masse, associées à des valeurs numériques, qui sont autant d'indications utiles à la mise en relation avec les modèles exposés dans les documents complémentaires.

La moitié des douze descriptions ne mentionnent que les objets et événements à étudier. L'autre moitié évoque des éléments du monde des modèles via des valeurs des grandeurs mesurées⁵, le tracé de courbe (variation de la température en fonction du temps pour la situation *réchauffement climatique*), ou plus directement les grandeurs à mobiliser, comme dans le cas de la situation *Alodont*.

Dans certains cas, la description de la situation et la question ne peuvent être traitées indépendamment des documents, comme pour la situation *lunettes*, dans laquelle toutes les informations utiles à la résolution figurent dans un des documents, à savoir un comparatif d'ordonnances indiquant les vergences des verres correcteurs.

Les éléments de modèles présentés sont le plus souvent des valeurs associées à des grandeurs. Lors d'une présentation collective de ces situations, il est apparu que, pour les enseignants, ces valeurs associées à des grandeurs physiques, ne relèvent pas du monde des modèles et ne contredisent donc pas le principe de conception. Il en est de même pour le graphe donnant à voir l'expression de la variation d'une grandeur en fonction d'une autre, ou encore une image associée au texte de la situation *Sous-marin*, supposée reproduire un dialogue usuel entre membres de l'équipage. Il est probable que les enseignants reproduisent, à travers ces situations, des modalités de travail dont ils sont coutumiers, incitant ainsi les élèves à entrer dans des stratégies elles aussi usuelles.

5. C'est la référence au nom de la grandeur via les symboles normalisés et connus des élèves (exemple : $U = 220 \text{ V}$) qui justifie ici la référence au monde des théories et modèles, la valeur étant quant à elle liée aux objets et événements considérés.



Figure 1 Image associée au texte de la situation *sous-marin* conçue pour le lycée

Principe 3 : la description doit être suffisamment précise pour saisir les éléments de l'histoire et comment ils se combinent.

Nous avons considéré que la situation était suffisamment précise quand nous pouvons mettre en évidence un schéma narratif *a minima*, composé d'une situation initiale, d'un élément perturbateur, d'éléments de résolution pour parvenir à une situation finale. Ces éléments permettront aux élèves de s'approprier la situation et de contrôler le processus de problématisation, ce qui favorise leur créativité. Par exemple, la situation *squelette* au lycée, commence par une contextualisation «Après avoir suspecté la localisation d'un ancien édifice religieux, des fouilles archéologiques ont été menées dans un parking de Leicester en Angleterre», suivie d'une péripétie «Au bout de quelques semaines d'investigation, le squelette d'un homme présentant des blessures ainsi qu'une scoliose a été découvert le 12 septembre 2012» et une mise en intrigue «Tout porte à croire qu'il s'agit de Richard III, roi d'Angleterre, mort à la bataille de Bosworth en 1485».

Parmi les quatre autres situations qui intègrent des éléments de mise en récit, nous observons une disparité entre celles du collège qui utilisent entre 20 et 30 mots (la situation étant complétée par une illustration qui participe directement à l'intrigue), et celles du lycée qui en utilisent entre 80 et 90 (les situations étant uniquement décrites en langue naturelle, sauf pour *sous-marin*).

Au collège, la situation *guirlande de Noël* propose une situation illustrée par une photo de la guirlande grillée et un personnage dessiné (extrait d'un

manuel scolaire) qui s'adresse par une bulle à l'élève : «Ma petite guirlande de 3 LED ne fonctionne plus, mais pas question de m'en débarrasser! Je vais la faire réparer». Comme dans la plupart des cas, la situation est peu dense en informations et laisse les éléments structurants du récit à l'appréciation des élèves (ex : on imagine que la guirlande fonctionnait, et qu'il s'est passé quelque chose pour que les ampoules grillent).

Alors que les entretiens avec les enseignants et les questionnaires indiquent clairement la nécessité de se mettre en retrait, ce qui plaiderait en faveur de descriptions détaillées, il apparaît que les énoncés sont très parcimonieux concernant les éléments du récit dans lequel s'intègre l'intrigue. En ce sens, les situations créées s'apparentent aux exercices usuels proposés par les enseignants, comme si, malgré les objectifs du projet, discutés et acceptés par l'ensemble des partenaires, les enseignants peinaient à s'abstraire de leurs habitudes rédactionnelles.

Principe 4 : plusieurs cheminements doivent être possibles pour parvenir à une solution.

Ce principe, essentiel du point de vue de la créativité, a été analysé tout d'abord avec la perspective de l'enseignant. Selon les réponses données dans le questionnaire, sept des douze situations conçues peuvent être résolues selon divers cheminements. C'est par ailleurs la caractéristique la plus souvent mentionnée dans les questionnaires pour différencier ces situations des autres types de tâches proposées aux élèves : «liberté de chemin de résolution»; «plusieurs cheminements sont possibles et peuvent conduire à la même solution»; «il y a plusieurs chemins de résolution possible en ayant à sa disposition certains éléments du modèle correspondant».

Pour autant, une analyse plus détaillée des situations conçues montre que les cheminements correspondent souvent à deux niveaux de traitement l'un avec calcul, l'autre sans calcul ou encore la possibilité de traiter les documents dans un ordre différent.

Cette compréhension de la variété des cheminements est à mettre en relation avec l'analyse des entretiens. En effet, anticipant les difficultés des élèves à traiter ces situations non usuelles, les enseignants conçoivent les situations de manière à permettre une certaine flexibilité : lecture de l'ensemble des documents à plusieurs niveaux, coups de pouce : «J'ai essayé de de de comprendre là où les élèves allaient avoir ou pouvaient rencontrer des difficultés. Et c'est tous ces tous ces coups de pouce sont en lien avec ça» (D). La diversité des cheminements de résolution empruntés par les élèves remet parfois en question l'anticipation de ces activités par les enseignants: «le problème justement permet d'ouvrir à différents cheminements donc il est possible que, parmi les cheminements, il y en a certains qui n'ont pas été réfléchis» (P). Ainsi, la créativité des élèves pourrait, dans certains cas, mettre en difficulté les enseignants qui n'auraient pas prévu ces stratégies alternatives. Pour éviter d'être mis en difficulté, les enseignants restreindraient, consciemment ou non, les stratégies et modèles à utiliser.

Principe 5 : La question doit amener les élèves à mettre en lien les documents et/ou ses connaissances, avec la situation.

Pour pouvoir considérer que la question amène les élèves à mettre en lien les documents, qui informent sur les modèles à mobiliser, et/ou ses connaissances avec la situation, elle doit d'abord répondre au principe 2 : mentionner uniquement les objets et phénomènes de la situation, sans référence au modèle à mobiliser. De plus, il faut que la réponse à la question ne soit pas encore connue, ne soit pas évidente et qu'elle entretienne un lien avec l'enjeu de l'intrigue. Cela peut être le cas lorsqu'elle questionne l'action d'un des personnages qui devient inappropriée dans un cadre particulier ou lorsque l'action devient inefficace pour atteindre l'objectif escompté.

Par exemple, la question de la situation *effet de serre* est écrite ainsi : « Comment favoriser le réchauffement climatique pour permettre à Ours-Blanc et Pingouin d'accomplir leurs "rêves" de voyage sur un iceberg ? » Elle implique les personnages de la situation (Ours blanc et pingouin), clarifie l'objectif poursuivi par les personnages (accomplir leurs rêves de voyage) et complète le cadre dans lequel se déroule l'action (sur un iceberg).

Dans la situation effet de serre, la notion de réchauffement climatique est donnée aux élèves et la question indique aux élèves qu'il faut chercher les paramètres qui le favorisent. Dans les entretiens, l'enseignant D explique qu'il a beaucoup réfléchi à la formulation de sa question et l'a beaucoup modifiée en poursuivant plusieurs objectifs :

- correspondre au ton ironique pour confirmer aux élèves la lecture qu'ils doivent faire de l'image satirique des personnages dérivant sur un iceberg;
- enlever les éléments de contexte de la situation qui selon lui ne sont pas utiles dans le choix d'un chemin de résolution « j'ai enlevé dans la problématique l'endroit où les deux personnages vont. Dans la BD c'est en Côte d'Azur, s'ils allaient en Afrique, c'est pareil »;
- ajouter des références à la situation « J'ai remis l'iceberg pour faire référence à l'image », « le réchauffement climatique c'est sur quoi on travaille, pingouin et ours blanc font directement référence à la BD, tout fait directement référence à la BD »; mais aussi confirmer le sens de l'intrigue « elle a été réfléchie et modifiée 50 mille fois pour favoriser le voyage. Il faut la notion de voyage car la bulle est liée à un voyage »;
- utiliser un vocabulaire qui correspond aux connaissances de ses élèves et qui ne fera pas obstacle à la compréhension « critères de vocabulaire accessible aux élèves, qui n'ont pas besoin d'être redéfinis », « la problématique avec des mots assez simples accessibles en lien avec la BD ».

L'analyse de l'ensemble des situations conçues indique que 4 sur 12 répondent à ce principe. Avec une analyse plus précise des questions qui ne répondent pas à ce principe, nous remarquons que les enseignants rédigent la question de manière conforme aux recommandations qui leurs sont faites dans les bulletins officiels, en utilisant des verbes d'action (du type : déterminer, décider, vous devez, donner). Un lien explicite avec les connaissances à mobiliser (dans le cours et/ou les documents) est fait sous la forme d'une consigne

de travail (par exemple : «À l'aide des documents, de votre cours du chapitre II et du matériel disponible, déterminez quelle note est jouée par le professeur»). La formulation de la question est alors similaire aux questions de type exercice, et oriente les élèves vers «la bonne» manière de s'engager dans la résolution en laissant au final peu de place à la création.

Principe 6 : les documents fournissent aux élèves des contenus relatifs à des modèles.

Toutes les situations conçues contiennent des documents présentant des éléments de modèle, sauf une, le micro-ondes. Les documents contiennent presque systématiquement d'autres types d'indications, comme des données chiffrées, ou dans deux cas, des descriptions d'expériences réalisables en classe, et dans un cas, des situations analogues à la situation étudiée. Les indications chiffrées sont autant de pistes fournies aux élèves — et donc de contraintes diminuant la créativité — pour mettre en relation les éléments de modèles avec la situation, comme par exemple pour la situation *alcoolémie* : «Dans le vin vendu dans le commerce, la seule molécule d'alcool présente est l'éthanol. Chaque centilitre du vin bu par les parents de Nicolas contient 0,1 g d'alcool». Les situations expérimentales proposées par les enseignants de collège permettent aux enseignants de conserver dans cette modalité pédagogique des caractéristiques expérimentales qui leur paraissent essentielles pour enseigner les sciences physiques : «j'avais d'abord réfléchi une partie expérimentale». Toutefois, la réalisation des expériences en classe requérant une gestion de classe, cette phase sera nécessairement fortement guidée, comme l'indiquent deux enseignants en entretien : «comme ça, ils seront pas tentés de faire autre chose» (B), «j'ai préféré faire un endroit où un représentant de chaque groupe allait pouvoir faire l'expérience avec les autres» (D). La présentation de situations analogues peut être source de difficultés pour les élèves, comme nous l'avons montré dans une recherche précédente (Derradj, Boivin-Delpieu & Bécu-Robinault, 2018), car elle demande aux élèves de repérer les éléments communs, au niveau du modèle, entre deux situations qui pour eux peuvent ne présenter aucune caractéristique comparable, du point de vue des objets et événements. Toutefois, on peut envisager que ces situations présentent une ouverture à d'autres configurations possibles, suscitant ainsi la créativité dans les stratégies de résolution des élèves.

Principe 7 : les modèles dans les documents ne doivent pas être contextualisés.

Comme indiqué précédemment, ce principe vise à ne pas orienter les choix des élèves quant au modèle à utiliser. Lorsque les documents présentent une contextualisation conforme à celle à laquelle les élèves sont confrontés, une des difficultés majeures de la résolution de problème tombe : les élèves n'ont plus à sélectionner un modèle approprié pour résoudre le problème, il leur suffit d'appliquer le modèle fourni. La part de créativité se trouve alors considérablement réduite. Deux documents contextualisent les modèles au regard d'autres situations, complexifiant ainsi le traitement de ces modèles

pour les rendre compatibles avec la situation décrite. Cinq autres les contextualisent en lien avec la situation. C'est le cas de la situation *trou noir* dont la description s'appuie uniquement sur une photo «la première image d'un trou noir» et une question «cette image représente un trou noir tel qu'il était il y a combien d'années environ?». Tous les documents fournis sont contextualisés au regard de l'observation d'étoiles lointaines, et la résolution passe par la recombinaison des données apparaissant progressivement comme manquantes dans le calcul. Il n'y a donc pas de réflexion sur les choix de modèles à utiliser. C'est aussi le cas d'une autre situation, *micro-ondes*, dont le texte a été découpé de manière à aborder successivement les différents points de difficulté, en appui sur les documents, qui sont en fait des informations qui ont été intégrées et disséminées au fil du texte. Ce choix nous a conduit à ne pas considérer cette situation, comme la situation *oreille absolue*, comme conforme à une résolution de problème, mais plus comme un exercice.

Nous avons cherché à identifier, dans les entretiens, la manière dont les enseignants choisissent la situation et les documents associés. Si les programmes officiels sont les premières contraintes mentionnées, les enseignants déclarent aussi s'inscrire dans une communauté de pratique. Ils mentionnent consulter les sites internet de collègues afin d'avoir une bonne connaissance de ce qui est proposé par la communauté : «j'ai visité 2-3 sites, [...] puis j'ai retrouvé sur un site intéressant quelque chose qui ressemblait sensiblement à ce que j'avais ce que j'avais réfléchi» (D). Cette volonté de concevoir des situations ressemblant à celles produites par des collègues et compatibles avec les injonctions officielles. Ainsi, les documents associés aux situations sont élaborés pour faciliter leur mise en œuvre lors du processus de résolution et donc intègrent des éléments rendant visible leur cohérence avec la situation.

Principe 8 : la solution du problème constitue un dénouement à la péripétie de l'histoire.

Nous avons considéré que la solution du problème constitue un dénouement quand elle met fin à l'intrigue qui a été nouée par le récit de la situation. La solution du problème est l'événement final qui résout la péripétie, règle le sort des personnages impliqués.

La vérification du principe 8 dépend beaucoup de celle des principes précédents, principalement le 3 (densité du récit) et le 5 (lien entre la question et les documents). En intégrant ce principe à une situation on donne aux élèves un outil qui leur permet de vérifier et justifier la solution qu'ils proposent. On entend par là encourager les élèves à s'estimer capable de juger de la pertinence de leur solution, critère favorable à la créativité. Deux attributs complémentaires ont été mobilisés au cours de cette analyse :

- Au cours d'une résolution de problème, l'enseignant adopte une position de retrait. Par l'intermédiaire du récit, on favorise ainsi le jugement de la pertinence de la solution proposée par le groupe d'élèves;
- Comme il y a plusieurs cheminements voire plusieurs solutions possibles, les élèves n'ont pas à aboutir à une «bonne réponse». Dans le contexte rassurant et stimulant offert par le récit, on donne au groupe

d'élèves la liberté de développer une réponse «qu'il fait sienne», et de l'argumenter en mobilisant les éléments du récit.

Peu des situations conçues répondent à ce principe : les situations *cow-boy* et *effet de serre*, conçues par un même enseignant de collègue et partiellement la *guirlande de Noël*. L'analyse des entretiens confirme que ce critère n'est pas apparu comme essentiel aux enseignants, puisqu'il n'est jamais mentionné.

Principe 9 : la situation et la résolution du problème s'appuient sur une variété de représentations sémiotiques.

La modélisation d'une situation repose sur le choix et l'utilisation de représentations sémiotiques appropriées. De précédentes recherches ont révélé que les élèves mobilisent prioritairement, quand ce n'est pas exclusivement, les représentations sémiotiques présentes dans la situation — y compris dans les documents associés (Bécu-Robinault, 2022). Nous avons donc indiqué pour chacune des situations conçues quelles étaient les représentations sémiotiques mobilisées : langue naturelle, graphes, photo, dessin, formules. À noter, les représentations telles que les graphes et les formules ne devraient pas être utilisées dans la description, car elles sollicitent le recours à des grandeurs, des relations entre grandeurs et donc fournissent des informations relatives aux modèles à utiliser.

Nos analyses montrent que toutes les situations sont rédigées en langue naturelle à l'image de la situation *James Bond contre le Chiffre* fournie en exemple. Une photographie ou un dessin complètent les descriptions de six situations, et une description s'appuie sur un graphique. Pour quatre des dessins ou photos et le graphique, ces représentations sont des supports à l'activité, au sens où elles contiennent des contenus d'informations utiles à la résolution. C'est par exemple le cas pour la situation *réchauffement climatique* (figure 2) ou encore *sous-marin* (figure 1).

Si une précédente étude avait montré que les élèves se conforment aux représentations sémiotiques présentes dans la situation pour exposer leur stratégie de résolution (Bécu-Robinault, 2022), c'est aussi le cas des enseignants qui créent de nouvelles situations en respectant la forme de celle donnée à titre d'exemple, en particulier concernant les représentations sémiotiques. Cette concordance entre situations créées par les enseignants et l'exemple fourni se manifeste également dans l'architecture d'ensemble, les enseignants reprenant cet exemple comme un modèle de document à suivre. Ces éléments renvoient aux réticences des enseignants à concevoir des types de situations dont ils ne sont pas coutumiers (voir analyse du principe 1 paragraphe 4.2). Les situations conçues étant proches des situations usuelles, les stratégies mobilisées par les élèves sont elles aussi conformes aux activités conduites dans d'autres tâches.

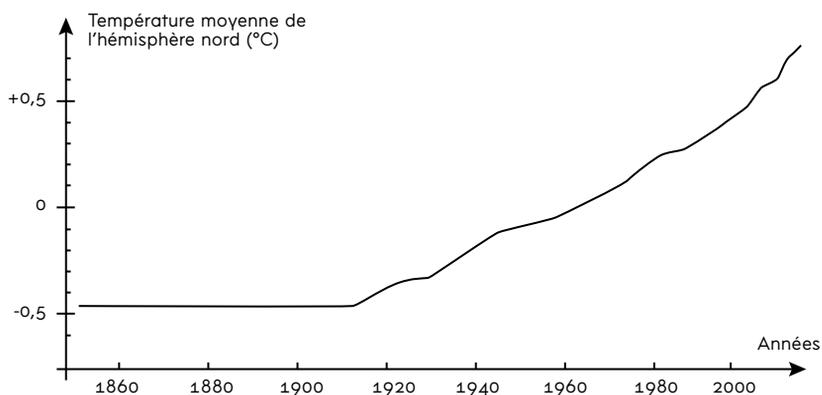


Figure 2 Document donné en description de la situation *réchauffement climatique* conçue pour le collège. La courbe ci-dessus représente l'évolution de la température moyenne de l'hémisphère nord.

5. Discussion et conclusion

Dans cet article nous avons souhaité mettre en évidence la manière dont des enseignants s'emparent de principes de conception élaborés au sein d'un projet de type *Design-Based Research* pour concevoir des situations de résolution de problème en physique que la littérature caractérise comme favorisant la créativité des élèves.

Notre revue de littérature nous a conduit à retenir quatre caractéristiques de la créativité en situation d'apprentissage. Sur cette base, nous avons produit une première analyse visant à mettre en évidence, *a posteriori*, en quoi les principes de conception fournis aux enseignants peuvent encourager les élèves à élaborer des stratégies créatives, puis nous avons analysé les situations conçues en mettant en évidence la manière dont ces principes étaient ou non pris en compte.

La première analyse a mis en évidence que la créativité pouvait être suscitée par la résolution de problème telle qu'envisagée dans le groupe via les principes adoptés, tout autant du fait des caractéristiques des situations données à étudier que des stratégies dans lesquelles elles engageaient les élèves.

Dans un deuxième temps, nous avons analysé les situations créées par les enseignants. Cette étude indique que ces derniers ne se conforment pas toujours à ces principes de conception qui semblaient pourtant acceptés par l'ensemble des partenaires. Les entretiens complémentaires révèlent des difficultés à s'emparer des résultats de la recherche ou de leur traduction. Ainsi, les termes modèle, modélisation, représentation, récit, intrigue, ne sont jamais prononcés par les enseignants, à l'exception d'un seul d'entre eux, qui prend lui-même la précaution d'indiquer que sa définition du modèle n'est pas conforme à celle des chercheurs. Certains principes sont pour ainsi dire absents, tel la mise en intrigue et les éléments structurants et problématisants du récit. Par ailleurs, les enseignants peinent parfois à identifier ce que recouvre ou

non un modèle physique. Cela explique les difficultés rencontrées lorsqu'ils rédigent le texte de la situation en référence au critère n°2. Les informations sur les grandeurs et les modèles contenues dans les représentations sémiotiques semblent ne pas être pleinement prises en compte par les enseignants. Pour autant, cela ne signifie pas que ces principes n'ont aucun intérêt pour les enseignants lorsqu'ils conçoivent de nouvelles situations. Il est probable que ces principes se recombinaient au sein de pratiques façonnées à l'aune de leurs habitudes, et qu'il soit ensuite difficile, pour eux comme pour les chercheurs, de les isoler des autres connaissances mobilisées pour ensuite les identifier. En entretien, D l'énonce ainsi : «j'ai fait tout ça à ma sauce en ayant dans un coin de ma tête on va dire un petit peu de bagages on va dire, voilà [...] je l'ai fait sans me référer expressément à ces documents, mais si tu veux, c'était, c'était ces documents, je les avais digérés avant, ils étaient là, ils étaient présents, mais ils étaient pas devant mes yeux». Les contenus de ces principes apparaissent en filigrane, ou semblent redécouverts lorsque l'on questionne plus précisément les enseignants sur les choix opérés. À titre d'exemple, l'enseignant P conclut son entretien par «des questions vagues qui aboutissent à des réponses vagues, ça a sans doute un intérêt mais ça n'a pas le petit effet où le groupe se tape dans les mains en disant à la fin c'est bon on y arrive. Il faut un marqueur clair de réussite après avoir galéré». Il affirme ainsi, avec ses propres mots la nécessité d'un dénouement à l'intrigue.

Si les entretiens confirment les réponses dans les questionnaires concernant l'exceptionnel recours aux documents présentant les principes de conception, il apparaît aussi que les enseignants ne les consultent pas nécessairement pour changer de pratique, mais aussi pour mettre des mots sur des pratiques existantes, se rassurer quant aux choix opérés pour d'autres situations : «votre présentation m'avait conforté sur ma façon de travailler» (P), «j'ai fait tout ça à ma sauce en ayant dans un coin de ma tête on va dire un petit peu de bagages» (D). La résolution de problème n'est au final que peu différenciée des autres modalités d'enseignement, à l'exception de l'anticipation de la diversité des cheminements.

Il est souvent avancé que le travail en groupe favorise la créativité. Rietzschel, De Dreu et Nijstad (2009) indique pourtant une diminution importante du nombre d'idées formulées lorsque les individus travaillent en groupe par rapport au nombre d'idées formulées lors d'un travail individuel. Les explications données sont essentiellement sociales à savoir : la paresse et l'inhibition sociale, mais également un blocage lié au fait que lorsque les membres d'un groupe doivent écouter les idées formulées par les uns et les autres et attendre qu'un membre finisse de s'exprimer pour formuler sa propre idée, des interférences cognitives peuvent bloquer la production d'idées. En outre, la créativité des membres d'un groupe est améliorée lorsqu'on formule des instructions précises sur ce qui est attendu. Cette formulation des consignes pour la création peut plus particulièrement aider les personnes qui ont des craintes relatives à la validité ou l'acceptabilité de leurs productions (Rietzschel, De Dreu & Nijstad, 2007), ce qui est souvent le cas des enseignants nouvellement associés à un projet collaboratif de recherche. Il s'avère que cela n'est pas le cas, ce qui nous a conduit à envisager d'autres formes de collaboration, permettant de tirer profit des asymétries en termes de savoirs des différents partenaires. Ces asymétries peuvent en effet être porteuses de créativité (Baker & Bielaczyc, 1995).

Concernant les conséquences de cette étude sur le projet collaboratif avec les enseignants, ces résultats nous ont conduites à organiser et présenter différemment les apports de la recherche : tout d'abord en présentant un seul type de contrainte par principe de conception, conformément à la formalisation adoptée dans cet article. Nous nous sommes ensuite attachées à discuter avec les enseignants de la créativité des élèves comme conséquence de leur propre créativité. En effet, le fait de proposer des situations inhabituelles et de les discuter en détail avec les membres du groupe conduit certes les enseignants à sortir de leur zone de confort, mais leur donne aussi à discuter de nombreux cheminements possibles et à les rassurer quant aux hypothèses toujours moins foisonnantes qui seront ensuite formulées par les élèves.

Il ne faut pas oublier que les situations conçues par les enseignants et étudiées dans cet article ne sont qu'une première appropriation de ces principes soumises au poids de leurs habitudes. L'exploration des possibles offerte par ce cadre de conception requiert de percevoir les effets des choix opérés sur les activités des élèves. Il convient donc de laisser aux enseignants du temps pour qu'ils puissent se convaincre de la pertinence de ces principes et des possibilités offertes par ce cadre perçu comme contraignant, comme le formule l'enseignant P en entretien : «ça crée des contraintes quand même votre document. Mais les contraintes sont créatrices».

Bibliographie

- BAKER M. & BIELACZYK K. (1995). Missed opportunities for learning in collaborative problem-solving interactions. *Proceedings of the World Conference on Artificial Intelligence and Education, Washington D.C., AACE, août 1995*, p.210-217.
- BÉCU-ROBINAULT K. (2018). *Analyse des interactions en classe de physique. Le geste, la parole et l'écrit*. Paris : L'Harmattan.
- (2022). Modes sémiotiques et modèles en physique. In C. Hache, C. Houdement & C. de Hosson (éd.), *Approches sémiotiques en didactique des sciences*, Londres : ISTE, p.173-208.
- BÉCU-ROBINAULT K., DERRADJ C. & BOIVIN-DELPY G. (2018). Modélisation et modes sémiotiques pour la résolution d'un problème en physique. *Dixièmes rencontres scientifiques de l'ARDIST, Saint-Malo, 27-30 mars 2018*.
- BERNIER A. (2022). Définir la créativité comme un processus d'élaboration de sens en éducation. *Revue internationale du CRIRES/CRI_SAS international Journal*, vol.6, n°3, p.3-22.
- BOILEVIN J.-M. (2005). Enseigner la physique par situation problème ou par problème ouvert. *Aster*, n°40, p.13-37.
- (2010). *Contribution à la réflexion sur la rénovation de l'enseignement des sciences physiques dans l'enseignement secondaire*. Note de synthèse pour l'Habilitation à diriger des recherches, université de Provence.
- BONNARDEL N. & DIDIER J. (2020). Activités de conception créatives : nouvelles perspectives dans la formation des enseignants. In N. Bonnardel & J. Didier (dir.), *Didactique de la conception*, Montbéliard : Éd. de l'UTBM/Lausanne : Haute École pédagogique du canton de Vaud, p.53-69.

- BONNARDEL N, GIRANDOLA F., BONETTO E. & LUBART T. (2023). *La créativité en situations : théories et applications*. Malakoff : Dunod.
- BRUNER J. S. (2002). *Pourquoi nous racontons-nous des histoires? : le récit, au fondement de la culture et de l'identité*. Paris : Retz.
- (2008). *L'éducation, entrée dans la culture : les problèmes de l'école à la lumière de la psychologie culturelle*. Paris : Retz.
- CAPRON PUOZZO I. (2016). Du concept de créativité à une pédagogie de la créativité : un défi pour le XXI^e siècle. In I. Capron Puozzo (éd.), *La créativité en éducation et en formation. Perspectives théoriques et pratiques*, Paris : De Boeck, p.13-29.
- CARIOU J.-Y. (2013). Démarche d'investigation : en veut-on vraiment? Regard décalé et proposition d'un cadre didactique. *Recherches en didactique des sciences et des technologies (RDST)*, n°7, p.137-166.
- CORAZZA G. E. & LUBART T. (2021). Intelligence and creativity. Mapping constructs on the space-time continuum. *Journal of Intelligence*, vol. 9, n°1, p.1-27.
- DE COCK M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. *Physical Review special Topics-Physics Education Research*, vol. 8, n°2, p.020117.
- DEROLEZ S. & BÉCU-ROBINAULT K. (2019). Influence des éléments fictionnels de scénarisation dans la résolution de problème en physique au collège. In *Telling Science, Drawing Science*, 15-17 mai 2019, Angoulême.
- DERRADJ C., BOIVIN-DELPIEU G. & BÉCU-ROBINAULT K. (2018). Conditions d'avancée des savoirs dans une résolution de problème. *Dixièmes rencontres scientifiques de l'ARDiST, Saint-Malo*, 27-30 mars 2018.
- DESIGN-BASED RESEARCH COLLECTIVE (2003). Design-Based Research: an emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, vol. 32, n°1, p.5-8.
- DE SMET C., RAILEANU M. B. & ROMERO M. (2020). Étude de la littérature sur la créativité en sciences de l'éducation dans les pays francophones. *McGill Journal of Education/Revue des sciences de l'éducation de McGill*, vol. 55, n°3, p.588-618.
- DIRANI A. (2016). Mesures, développement : le statut de la créativité en question. *Éducation et socialisation*, n°41, p.1-15.
- DOLEŽEL L. (1998). Possible Worlds of Fiction and History. *New Literary History*, vol. 29, n°4, p.785-809.
- DUMAS-CARRÉ A. & GOFFARD M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problème en physique. Concepts et démarches*. Paris : Armand Colin.
- FRYER M. (1996). *Creative teaching and learning*. Londres : Paul Chapman.
- GOFFARD M. & WEIL-BARAIS A. (2005). *Enseigner et apprendre les sciences : recherches et pratiques*. Paris : Armand Colin.
- GUILFORD J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, n°5, p.444-454.
- JEFFREY B. & CRAFT A. (2004). Teaching creatively and teaching for creativity: Distinctions and relationships. *Educational Studies*, vol. 30, n°1, p.77-87.
- KELLY N., JACOBSON M., MARKAUSKAITE L. & SOUTHAVILAY V. (2012). Agent-based computer models for learning about climate change and process analysis techniques. In J. Van Aalst, K. Thompson, M. J. Jacobson & P. Reimann

- (éd.), *The Future of Learning: Proceedings of the 10th International Conference of the Learning Sciences*, Sidney, ICLS 2012, vol. 1, p. 25-32.
- KOHL P. & FINKELSTEIN N. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Physical Review special Topics–Physics Education Research*, vol. 1, n° 1, p. 010104.
- LEWIS D. (1978). Truth in Fiction. *American Philosophical Quarterly*, vol. 15, n° 1, p. 37-46.
- MARTINS GOMES D. & MCCAULEY V. (2021). Creativity in science: a dilemma for informal and formal education. *Science Education*, vol. 105, n° 3, p. 498-520.
- MEN (Ministère de L'Éducation nationale) (2019). *Bulletin officiel du ministère de l'Éducation nationale*, spécial n° 8, 25 juillet 2019.
- (2020). *Bulletin officiel du ministère de l'Éducation nationale*, n° 31, 30 juillet 2020.
- MENJ (Ministère de L'Éducation nationale et de la Jeunesse) (s. d.). *Ressources d'accompagnement du programme de physique-chimie au cycle 4*. Éduscol Direction générale de L'enseignement scolaire. En ligne : <<https://eduscol.education.fr/296/physique-chimie-cycle-4>>.
- ORANGE RAVACHOL D. & TRIQUET É. (2007). Sciences et récits des rapports problématiques. *Aster*, n° 44, p. 7-22.
- PAULUS P. (2000). Groups, Teams, and Creativity: the creative potential of idea-generating groups. *Applied Psychology*, vol. 49, n° 2, p. 237-262.
- PLUCKER J. A. & BEGHETTO R. A. (2003). Why not be creative when we enhance creativity? In J. H. Borland (dir.), *Rethinking gifted education*, Columbia : Teachers College Press, p. 215-226.
- POIRIER PROULX L. (1999). *La résolution de problème en enseignement : cadre référentiel et outils de formation*. Paris : De Boeck.
- RICŒUR P. (1991). *Temps et récit*, t. 1 et 2. Paris : Seuil.
- RIEBEN L. (1978). *Intelligence et pensée créative*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- RIETZSCHEL E. F., DE DREU C. K. W. & NIJSTAD B. A. (2007). Personal Need for Structure and Creative Performance: The Moderating Influence of Fear of Invalidity. *Personality and Social Psychology Bulletin*, vol. 33, n° 6, p. 855-866.
- RIETZSCHEL E. F., DE DREU C. K. W. & NIJSTAD B. A. (2009). What are we talking about, when we talk about creativity? Group creativity as a multifaceted, multistage phenomenon. In E. A. Mannix, J. A. Goncalo & M. A. Neale (éd.) *Creativity in Groups. Research on Managing Groups and Teams*. Bingley : Emerald, p. 1-27.
- RUNCO M. A. & JAEGER G. J. (2012). The Standard Definition of Creativity. *Creativity Research Journal*, vol. 24, n° 1, p. 92-96.
- STERNBERG R. J. & LUBART T. I. (1998). The Concept of Creativity: Prospects and Paradigms. In R. Sternberg (éd.), *Handbook of Creativity*, Cambridge : Cambridge University Press, p. 3-15.
- TIBERGHEN A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, vol. 4, n° 1, p. 71-87.
- TRIQUET É. & BRUGUIÈRE C. (2014). Album de fiction, obstacles sur la métamorphose et propositions didactiques. *Recherches en didactique des sciences et des technologies (RDST)*, n° 9, p. 51-78.

- UPITIS R. (2014). Créativité : l'état des lieux. *People for education* - mesurer ce qui compte. En ligne : <<http://peopleforeducation.ca/wp-content/uploads/2018/01/People-for-Education-Mesurer-ce-qui-compte-Creativite-I.pdf>>.
- YEO J. & GILBERT J. K. (2014). Constructing a scientific explanation: a narrative account. *International Journal of Science Education*, vol. 36, n° 11, p. 1902-1935.