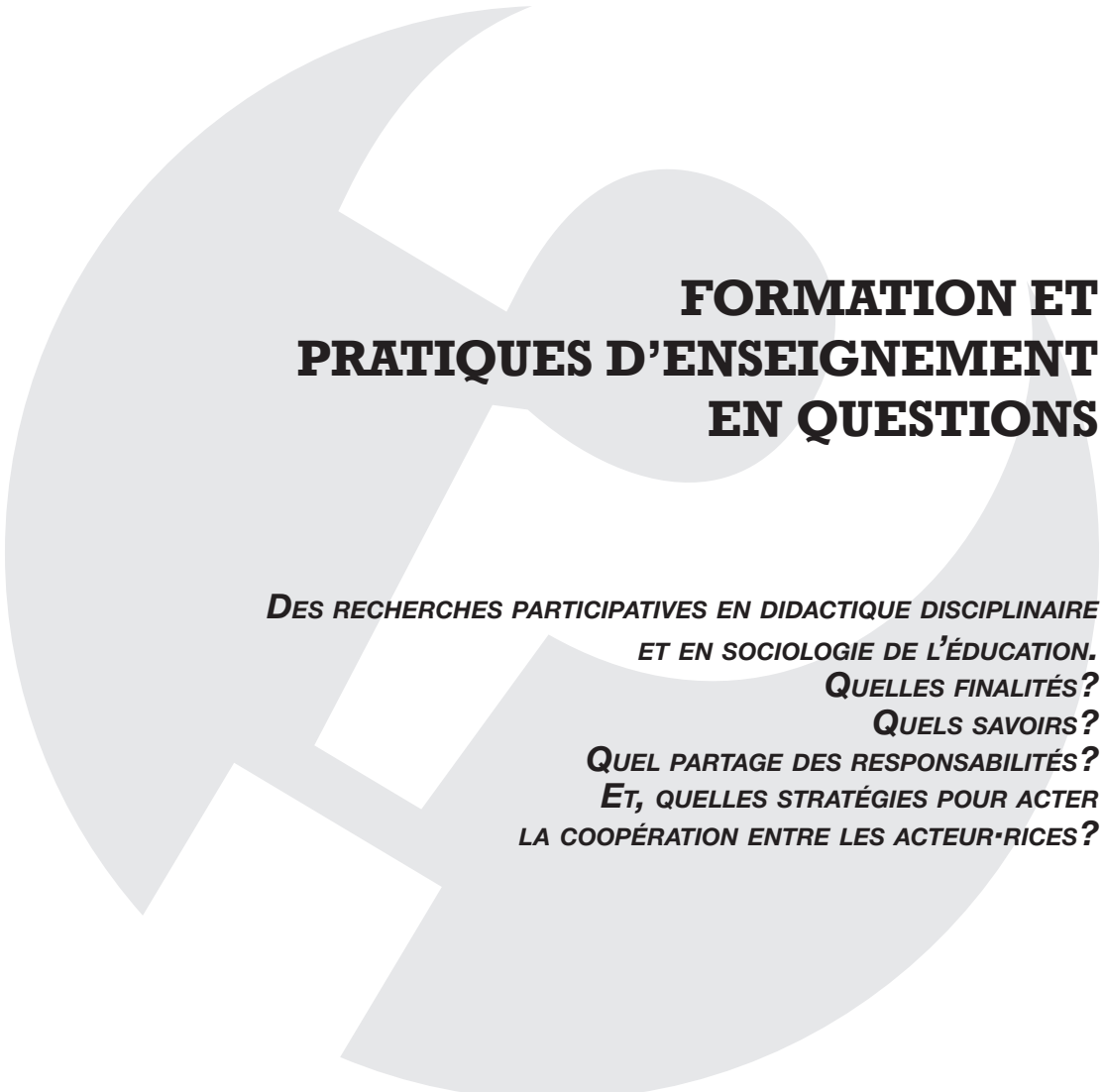




# **FORMATION ET PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT EN QUESTIONS**

***DES RECHERCHES PARTICIPATIVES EN DIDACTIQUE DISCIPLINAIRE  
ET EN SOCIOLOGIE DE L'ÉDUCATION.***

***QUELLES FINALITÉS?***

***QUELS SAVOIRS?***

***QUEL PARTAGE DES RESPONSABILITÉS?***

***ET, QUELLES STRATÉGIES POUR ACTER  
LA COOPÉRATION ENTRE LES ACTEUR·RICES?***

Numéro coordonné par  
Patrick Roy, Justine Letouzey-Pasquier  
et Bertrand Gremaud  
N° 29, 2025

### **Comité de rédaction**

Virigil Brügger (IRD)  
Vincent Capt (HEP-VD)  
Pierre-François Coen, UNI Fribourg (rédacteur responsable)  
Michaël Da Ronch (HEP-VS)  
Katja De Carlo (SUPSI)  
Coralie Delorme (UNI Genève)  
Christophe Gremion (HEFP)  
Sébastien Jolivet (UNI Genève)  
Maud Lebreton-Reinhard (HEP BEJUNE)  
Viridiana Marc (IRD)  
Roland Pillonel (UNI Fribourg)  
Patrick Roy (HEP FR)

Le contenu et la rédaction des articles n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

© Conseil académique des hautes écoles romandes en charge de la formation des enseignant.e.s  
(CAHR)

ISSN 1660-9603

Secrétariat scientifique : Sarah Boschung  
Rédacteur responsable : Pierre-François Coen  
Conception graphique : Jean-Bernard Barras  
Mise en page : Marc-Olivier Schatz



***Des recherches participatives en didactique disciplinaire  
et en sociologie de l'éducation.  
Quelles finalités ? Quels savoirs ? Quel partage des  
responsabilités ? Et, quelles stratégies pour acter  
la coopération entre les acteur·rices ?***

Numéro coordonné par  
Patrick Roy, Justine Letouzey-Pasquier et Bertrand Gremaud

**TABLE DES MATIERES**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Introduction. Des recherches participatives en didactique disciplinaire et en sociologie de l'éducation : Quelles finalités ? Quels savoirs ? Quel partage des responsabilités ? Et quelles stratégies pour acter la coopération entre les auteur·rices ?</i><br>Patrick Roy, Justine Letouzey-Pasquier et Bertrand Gremaud | 7   |
| <i>La recherche d'ingénierie didactique en collaboration : éléments de contextualisation d'un dispositif émergent</i><br>Sandrine Aeby Daghé et Glais Sales Cordeiro                                                                                                                                                           | 37  |
| <i>Construire un outil didactique dans une démarche de Recherche d'Ingénierie Didactique en Collaboration : quels enjeux ?</i><br>Solenn Petrucci                                                                                                                                                                              | 53  |
| <i>Entre pratiques courantes et expérimentation de séquences didactiques en grammaire pour envisager une ingénierie didactique interactive</i><br>Anouk Darne-Xu, Véronique Marmy Cusin, Virginie Degoumois,<br>Ecaterina Bulea Bronckart et Roxane Gagnon                                                                     | 71  |
| <i>Recherches collaboratives et construction de nouveaux phénomènes didactiques : le cas des « séquences forcées » en didactique des Sciences de la vie et de la Terre</i><br>Christian Orange et Denise Orange Ravachol                                                                                                       | 93  |
| <i>Des objets didactiques pour questionner les sciences à l'école primaire : les albums de littérature de jeunesse</i><br>Frédéric Charles                                                                                                                                                                                     | 111 |
| <i>Processus de co-construction de ressources numériques en recherche participative pour l'enseignement et l'étude de l'astronomie dans le premier degré</i><br>Géraldine Boivin-Delpieu                                                                                                                                       | 125 |
| <i>La recherche-action participative en éducation : entre praxéologie et épistémologie pratique</i><br>Éric Tortochot et Pascal Terrien                                                                                                                                                                                        | 141 |
| <i>Développer la professionnalité d'enseignant·es du primaire sur le processus de conception technique : fondements et modalités de mise en œuvre d'une communauté discursive de pratiques professionnelles (volet 1)</i><br>Patrick Roy, Bertrand Gremaud et Bernard Masserey                                                 | 163 |



---

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Construire un micro-univers discursif partagé et développer la professionnalité d'enseignant·es du primaire sur le processus de conception technique dans le cadre d'une communauté discursive de pratiques professionnelles (volet 2)</i><br>Patrick Roy, Bertrand Gremaud et Bernard Masserey | 201 |
| <i>Le défi de vigilance méthodologique en recherche collaborative : des ficelles pour négocier des tensions dans des activités de co-analyse de savoirs avec des enseignants migrants</i><br>Serigne Ben Moustapha Diédhiou et Joëlle Morrisette                                                   | 265 |
| <i>Des stratégies d'animation d'entretiens collectifs collaboratifs pour construire l'altérité</i><br>Joëlle Morrisette et Serigne Ben Moustapha Diédhiou                                                                                                                                          | 283 |



## ***Processus de co-construction de ressources numériques en recherche participative pour l'enseignement et l'étude de l'astronomie dans le premier degré***

**Géraldine BOIVIN-DELPY<sup>1</sup>** (Université de Franche-Comté, France)

Cet article rend compte du processus de co-construction d'une interface numérique pour l'enseignement et l'apprentissage de l'astronomie au cycle 3 de l'école primaire (9, 10 et 11 ans) en France, au sein d'une recherche participative. Nous cherchons à clarifier les fondements théorico-méthodologiques mobilisés pour organiser la collaboration. À travers la description des deux premières phases de la recherche organisée selon les principes méthodologiques de la *design-based-research* (DBR), nous rendons compte des contraintes didactiques ayant guidé notre travail au travers de plusieurs dimensions : les compétences des praticien·nes et leurs expériences d'un enseignement des sciences basé sur l'investigation et des hypothèses théoriques sur l'apprentissage à travers notamment des activités de modélisation.

Mots-clés : *design-based-research*, théorie de l'action conjointe en didactique (TACD), modélisation, ressources numériques, astronomie

### **Introduction**

La principale mission de l'école est d'aider les élèves à développer les habiletés qui leur permettront de s'insérer dans la société de demain en apprenant notamment à se poser des questions, à résoudre des problèmes, à collaborer, à développer l'esprit critique... Aussi, l'enseignement des sciences s'inscrit dans cette perspective. En effet, de nombreuses recommandations, et depuis de nombreuses années, s'accordent sur le fait que des pratiques pédagogiques basées sur des méthodes d'investigation contribueraient à développer chez les élèves une attitude critique face à des thématiques qui conjuguent des questions majeures de la science et des enjeux sociétaux contemporains (Rocard *et al.*, 2007 ; P.O.L.L.E.N., 2009). Ces préconisations se sont traduites dans la plupart des curricula par la mise en place d'approches de type *hands-on* (Giordan, 2010) telle que l'*inquiry-based-science education*. En France, ces démarches, incluant une dimension expérimentale forte, sont présentées depuis les années 2000 comme étant une solution face au développement d'une attitude critique des élèves. Ainsi, les instructions officielles actuellement en vigueur en France à l'école primaire (Bulletin officiel spécial n°11 du 26 novembre 2015<sup>2</sup>) affirment que «la construction des concepts

1. Contact : geraldine.boivin-delpy@univ-fcomte.fr

2. Disponible à l'adresse : [http://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin\\_officiel.html?cid\\_bo=94708](http://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin_officiel.html?cid_bo=94708).



scientifiques s'appuie sur une démarche, qui exige des observations, des expériences, des mesures, etc.», mais aussi «la construction progressive de modèles simples, permettant d'interpréter celles-ci et d'expliquer une diversité de phénomènes, et de les prévoir.»

Ce recours à la modélisation apparaît également explicitement dans la partie intitulée «La planète Terre»: «La place, les mouvements et la nature de la Terre, parmi les planètes du système solaire, sont détaillés tout au long du cycle par l'observation et la modélisation, mais aussi par d'autres approches telles que les simulations.» On constate ainsi que, au-delà des démarches basées sur l'investigation, les instructions officielles encouragent la construction de modèles, mais aussi le recours à des outils numériques.

Toutefois, la mise en œuvre des programmes peut s'avérer difficile. En effet, l'astronomie est un domaine complexe et l'étude, puis l'interprétation des phénomènes s'y rapportant engendrent des difficultés de nature différente chez les élèves: des difficultés liées au référentiel d'étude, les élèves étant inclus dans les systèmes modélisés; des difficultés à faire le lien entre le matériel manipulé et les phénomènes visibles à interpréter (Rolando, 2004), des difficultés liées à des contradictions apparentes entre leurs connaissances naïves basées sur leur expérience propre, verbale et expérimentale, et les explications scientifiques (Kallery, 2011) ou encore des difficultés à reconnaître la Terre comme un objet astronomique et non physique (Merle, 2002). On constate également des difficultés liées au manque d'expérience et de formation des enseignant·es en astronomie (Chasteney, 2018). Or, «en astronomie, le modèle est le seul outil que l'on peut manipuler pour contrôler les variables, tester une nouvelle hypothèse, faire des prédictions, etc. C'est le statut épistémologique particulier du modèle en astronomie qui lui confère une si grande importance dans le travail des astronomes» et qui est peu maîtrisé par les enseignant·es, en particulier par ceux et celles du premier degré. (Chastenay, 2021). À ces difficultés spécifiquement liées à l'étude des phénomènes astronomiques, d'autres travaux ont révélé une compréhension limitée des modèles et de la modélisation chez les élèves, mais aussi chez les enseignant·es. Même si ces travaux portent sur un échantillon réduit d'élèves et d'enseignant·es du second degré, ils soulignent que certain·es enseignant·es (pourtant spécialistes de la discipline) considèrent les modèles comme des représentations exactes de la réalité ou encore que leurs fonctions heuristique et prédictive sont rarement évoquées (Roy & Hasni, 2014).

Pour surmonter ces difficultés, et conformément aux instructions officielles, certaines recherches montrent que le recours à des simulations notamment avec des techniques de réalité augmentée peut faciliter les apprentissages (Svétoslavova Anastassova, Burkhardt, Mégard & Ehanho, 2007). En effet, cet intérêt potentiel est en partie expliqué par la possibilité pour les élèves d'apprendre par l'action et en situation en leur permettant de construire des connaissances d'une manière active et autonome (Fjeld & Voegtli, 2002), mais aussi par la possibilité de montrer simultanément des artéfacts physiques et les notions abstraites qui y sont associées pour assurer une compréhension plus facile des concepts (Stedmon & Stone, 2001) ou encore de



faciliter l'élaboration de représentations de relations spatiales dynamiques et leur évolution dans le temps et l'espace (Shelton & Hedley, 2002). Toutefois, il semble que ces recherches concernent peu le premier degré (Fleck & Simon, 2013) et sont davantage menées dans le supérieur.

## Questions de recherche

Ces éléments de contexte et cet état de connaissances scientifiques ont motivé notre projet visant à co-construire, avec une équipe d'enseignant·es, une ressource utile pour l'enseignement et l'étude de l'astronomie au cycle 3 de l'école primaire et prenant en compte des contraintes didactiques à travers plusieurs dimensions : les compétences des praticien·nes et leurs expériences d'un enseignement des sciences basé sur l'investigation ; les hypothèses théoriques sur l'apprentissage à travers notamment les activités de modélisation et enfin les contraintes institutionnelles liées aux concepts à enseigner (Desgagné & Larouche, 2010). Parmi ces contraintes institutionnelles, nous avons choisi de nous saisir des opportunités fournies par le numérique pour co-construire cette ressource. En effet, il nous a semblé qu'aujourd'hui, l'école ne peut éluder la question de l'introduction du numérique qui n'est pas seulement une révolution technologique, mais aussi un phénomène culturel et social qui imprègne nos vies quotidiennes.

Dans cet article, nous visons à clarifier les choix théoriques et méthodologiques organisateurs de cette recherche collaborative en cours et ayant permis un dialogue productif mêlant les connaissances et les expériences issues de la recherche et de la pratique (Couture, 2005).

## Fondements théorico-méthodologiques mobilisés pour organiser la collaboration

En tant que système complexe impliquant des êtres humains, les contextes d'apprentissage améliorés par la technologie doivent être étudiés en adoptant une position épistémologique qui place l'acteur·rice au cœur de la recherche (Le Moigne, 2012). Ce positionnement implique de penser les aspects méthodologiques conjointement aux aspects épistémologiques. C'est pourquoi nous avons opté pour les principes théorico-méthodologiques de la *design-based-research* (Design-Based-Research Collective, 2003), démarche dans laquelle chercheur·es et praticien·nes sont impliqués à chaque étape, permettant ainsi de « mobiliser la recherche pour élaborer des outils au service des pratiques quotidiennes des enseignants et développer des connaissances scientifiques sur la base de l'analyse des outils produits » (Bécu-Robinault, 2018, p. 35). Cette méthodologie se caractérise, au niveau macro, par un processus itératif suivant lequel quatre phases de travail sont repérables : (1) l'analyse d'un problème concret, (2) le développement de solution, (3) un cycle itératif d'essais de la solution en situation réelle et son amélioration, (4) une réflexion basée sur la collaboration entre chercheur·es et praticien·nes (Figure 1).

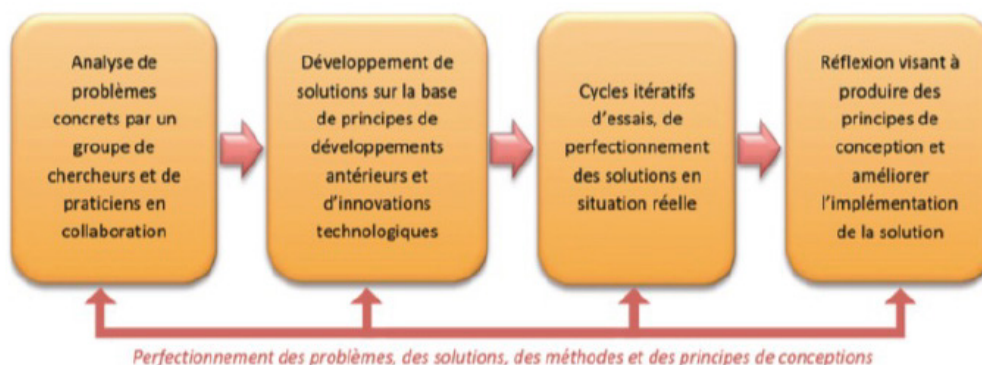


Figure 1 : Schéma de la DBR, extrait de Bécu-Robinault (2018). Analyse des interactions en classe de physique

Nous avons planifié chacune de ces phases de travail sur des échelles de temps long de manière à prendre en considération le temps scolaire (une notion ne peut être traitée qu'une seule fois par année), mais aussi les contraintes des praticien·nes dans le premier degré (une seule demi-journée de libre par semaine, commune à l'ensemble des acteur·rices de la recherche). Ainsi, la première phase consistant en l'analyse du problème émanant du contexte relatif à la modélisation et à l'usage de simulation pour l'enseignement et l'étude de l'astronomie à l'école primaire s'est déroulée sur une année environ. Une seconde année a été nécessaire pour co-construire une solution technodidactique lors de la deuxième phase de travail. Cette solution sera ensuite testée dans les conditions ordinaires de la classe afin de proposer de nouvelles améliorations (phase 3 à venir).

## Cadres théoriques mobilisés

Les fondements théorico-méthodologiques exposés ci-devant organisent la recherche d'un point de vue macroscopique et imposent ainsi les quatre phases citées. Toutefois, l'organisation de chacune de ces phases de recherche impliquent de mobiliser de nouveaux cadres théoriques.

En effet, la première phase doit permettre à la fois l'analyse des phénomènes d'enseignement et d'apprentissage lors de situations en lien avec l'astronomie et ainsi l'explicitation du problème concret à traiter, et la seconde phase le développement d'une ressource technopédagogique innovante.

Lors de la première phase, l'explicitation du problème concret à traiter nécessite d'identifier les éléments spécifiques issus de la stratégie didactique permettant aux élèves de construire un modèle explicatif cohérent avec le savoir de référence (la littérature scientifique soulignant l'importance de la construction d'un modèle dans les apprentissages). Nous nous intéresserons non seulement à des activités mettant en jeu des objets tangibles mais aussi, compte-tenu de notre volonté de construire une ressource numérique, à des situations mettant en jeu des simulations. Nous souhaitons ainsi étudier les processus cognitifs de l'apprenant·e en jeu lors de la réalisation et de l'interprétation d'activités scientifiques visant à faire le lien entre phénomènes observables et mouvements de la Terre.

Pour cette première phase, nous avons recouru à la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) issue des travaux menés en 2000 par Sensevy, Mercier et Schubauer-Léoni. En effet, nos questionnements initiaux nécessitent le recours à un cadre théorique permettant d'analyser les activités des élèves *in situ* et ainsi d'identifier les conditions d'avancée des savoirs lors des pratiques de classe dans le contexte des démarches d'investigation. La TACD considère l'action didactique comme une transaction, modélisée à l'aide de jeux, entre un·e enseignant·e et des apprenant·es. Les objets transactionnels sont constitués des objets de savoirs. Lorsque l'objet transactionnel entre les acteur·rices de l'action didactique est lié à un savoir particulier, le jeu didactique pourra être assimilé à un jeu d'apprentissage. Cette modélisation de l'action didactique permet de mettre en évidence «les aspects affectifs de l'action (l'investissement dans le jeu) et ses aspects effectifs, pragmatiques (quand et comment gagne-t-on?)» (Sensevy & Mercier, 2007, p. 19). Pour décrire ces jeux particuliers, la TACD fait appel aux concepts de milieu et de contrat didactiques qui interfèrent et évoluent réciproquement au cours des transactions didactiques. Le contrat didactique (Sensevy, 2011) peut être décrit comme le système stratégique disponible permettant aux acteur·rices de jouer le jeu. En effet, lorsque les élèves abordent une nouvelle situation proposée par l'enseignant·e, ils·elles s'appuient sur un ensemble de connaissances, d'éléments, de significations élaborés conjointement dans les activités précédentes, «comme un déjà-là». «Ce contrat est un produit de l'action conjointe antérieure du professeur et des élèves» (Goujon *et al.*, 2019, p. 16). La notion de milieu, intimement liée à celle de contrat, peut être considérée comme le système stratégique potentiel d'un jeu d'apprentissage. Il cristallise «le potentiel d'action virtuel» que l'élève doit construire pour résoudre un nouveau problème (Goujon *et al.*, p. 24). Enfin, la TACD adjoint aux notions de milieu et de contrat d'autres descripteurs théoriques et solidaires permettant de décrypter les modifications du milieu et du contrat didactique en les situant dans le temps. Il s'agit de la genèse des milieux (mésogenèse) et de la genèse du temps didactique (chronogenèse).

Outre ces hypothèses théoriques liées aux modalités d'apprentissage, nous souhaitons intégrer à nos réflexions une composante épistémologique. En effet, à l'instar d'autres auteur·rices (Tiberghien, Malkoun, Buty, Souassy & Mortimer, 2007; Bécu-Robinault, 2004; Boivin-Delpieu, 2015), nous considérons que la signification du savoir en classe, et donc la construction des connaissances, est liée au fonctionnement du savoir de la discipline enseignée. Ainsi, et même si l'activité de modélisation des scientifiques est fondamentalement différente de celle des élèves, il est nécessaire que la démarche vécue par les élèves implique la mise en place de situations au sein desquelles ils·elles devront mettre en relation des éléments des «modèles et théories enseignés et la description d'une situation matérielle en termes d'objets et d'événements» (Bécu-Robinault, 2004, p. 118). Le monde des objets et des événements est principalement constitué des données issues du monde réel et celui des théories de champ théorique, de concepts, de règles, de théories construites à partir d'une abstraction des données empiriques. En définissant le modèle «comme un système homomorphe à un système donné mettant en évidence certaines de ses caractéristiques» (Walliser, 1997), la variété des



modèles utilisés en sciences semble large. Il peut s'agir de modèles constitués d'objets matériels, mais aussi d'objets numériques, tels que des simulations, ces dernières étant « des programmes informatiques qui sous-tendent un modèle simplifié d'une situation réelle complexe » (Droui & El Hajjami, 2014). Ainsi, le modèle est le sujet sur lequel on réalise des calculs à partir des principes et des lois du cadre théorique auquel il appartient. Le modèle n'étant pas la « réalité », mais une description (souvent imparfaite et partielle) de celle-ci, il est donc important d'avoir conscience de ses limites. Ce processus cognitif de mise en relation des deux mondes permet donc, pour les élèves, la construction de sens pour un concept. Notons que les modèles élaborés en classe sont relatifs à des savoirs reconnus par la communauté scientifique et ayant fait l'objet de transpositions didactiques. Du fait que ces activités de modélisation sont constitutives de l'élaboration des savoirs, leur analyse informe sur l'avancée des savoirs en classe.

Lors de la seconde phase, chercheur·es et praticien·nes ont traduit les hypothèses théoriques, les difficultés des élèves et des enseignant·es identifiées lors de la phase 1 en un ensemble de contraintes et de besoins explicités dans un cahier des charges fonctionnel destiné à une entreprise experte en innovation numérique. Cet objet a permis d'acter la collaboration chercheur·es-praticien·nes-entreprise en recueillant à la fois des savoirs issus de la recherche et des savoirs pratiques. Chercheur·es et praticien·nes ont ainsi confronté leur compréhension des analyses de la phase 1, exposé leurs arguments respectifs pour complexifier et enrichir leurs analyses, le cahier des charges ayant permis d'acter la collaboration (Lyet, 2011).

## **Phase 1 : analyse et explicitation d'un problème concret**

### **Méthodologie**

Cette première phase de travail a consisté à analyser et expliciter les difficultés liées à l'enseignement et l'étude des mouvements de la Terre au cycle 3, tout en considérant à la fois les pratiques réelles des enseignant·es et leurs savoirs d'expérience, mais aussi les résultats de la recherche (Desgagné *et al.*, 2010). Pour cela, un collectif regroupant initialement cinq professeur·es des écoles et une chercheure a été constitué.

Étant donné notre objectif d'étudier et de comparer les activités de modélisation des élèves lors de l'étude des mouvements de la Terre avec du matériel tangible et du matériel numérique, nous avons imposé aux enseignant·es d'élaborer une séquence d'enseignement en lien avec ce point du programme et d'y intégrer ces deux types de ressources. En revanche, le choix des connaissances spécifiques visées, l'organisation du milieu didactique et la planification des contenus ont été pleinement laissés à la charge des enseignant·es. Aussi, nous ne considérons pas les classes étudiées comme étant ordinaires, mais nous considérons la perturbation imposée à ces dernières comme étant contrôlée (Chevallard, 1998) et relativement proche des pratiques ordinairement mises en œuvre. En effet, la plupart des ressources dont disposent les enseignant·es (accompagnement des programmes, manuels scolaires...)



préconisent le recours à du matériel tangible de substitution (balles, lampes) pour modéliser les mouvements de la Terre. De plus, et même si notre demande ne spécifie pas le type d'outil numérique, les instructions officielles ajoutent que cette étude peut être menée selon des approches variées telles que les simulations.

Les films de l'implémentation de ces séquences et leurs transcriptions ont permis de constituer un premier recueil de données, enrichis des productions des élèves, des traces écrites au tableau, des documents distribués aux élèves, des fiches de préparation et des entretiens menés avec les enseignant·es.

L'analyse s'est ensuite déroulée en deux temps. Le premier a permis à la chercheure d'identifier les ruptures chronogénétiques. En effet, nous assumons une dissymétrie où «le chercheur tient la lanterne» (Ligozat & Marlot, 2016), sans négliger l'expertise des autres professionnel·les associé·es : la chercheure a donc d'abord identifié, puis sélectionné des moments significatifs d'avancée des savoirs ou de ruptures chronogénétiques.

Pour cela, un découpage des transcriptions des séances filmées selon deux niveaux est opéré : (1) le premier niveau d'analyse correspond à une organisation thématique des séances permettant de rendre compte du sens du discours de la classe du point de vue du savoir (Tiberghien, 2017) ; (2) le second correspond à la succession des jeux d'apprentissage au sein des thèmes. Les outils mobilisés pour l'analyse sont ceux de la TACD, ainsi que les notions de niveaux de modélisation, liés à la référence épistémologique mobilisée. La chercheure a ainsi pu repérer des moments remarquables au sein des situations proposées aux élèves en ce sens où ces moments sont caractérisés par une avancée vers les savoirs visés ou, au contraire, un arrêt de leur construction. Le second temps d'analyse s'est déroulé au sein du collectif chercheure-praticien·nes à l'occasion de réunions régulières, environ une par mois. La chercheure a alors initié une sorte de conversation réflexive (Desgagné *et al.*, 2010) en proposant de discuter les moments repérés à l'issue de la première phase d'analyse. Ces premières discussions engagées ont permis peu à peu de construire un langage commun, une compréhension commune des phénomènes d'apprentissage en jeu. Puis, le rôle de la chercheure en tant qu'organisatrice de réunions s'est peu à peu estompé et les praticien·nes ont donné à voir d'autres moments de classe identifiés comme problématiques ou facilitateurs des apprentissages.

### **De l'analyse de situations concrètes vers l'élaboration du problème à traiter**

Les résultats des analyses menées au sein du collectif enseignant·es-chercheure, lors de la phase 1, révèlent des difficultés de nature différente liées à la fois à l'usage de matériel tangible et à l'usage des outils numériques, dans le but de construire des connaissances scientifiques. Nous exposons succinctement les principaux résultats liés à l'implémentation des séquences en classe<sup>3</sup>.

---

3. Pour plus de détails se référer à Boivin-Delpieu, 2020.



Le premier résultat remarquable issu de l'analyse menée conjointement avec les praticien·nes est que les constructions significatives de savoirs sont systématiquement et uniquement liées à des situations scolaires impliquant des objets tangibles et non des simulations.

En effet, l'usage prévu par les enseignant·es du matériel tangible disponible a offert la possibilité aux élèves de s'engager dans des activités de modélisation. Ainsi, ils·elles ont pu utiliser le matériel pour mettre à l'épreuve leurs hypothèses explicatives liées à leurs observations, par ailleurs réellement réalisées, du phénomène étudié. Le matériel a pu alors jouer le rôle d'intermédiaire entre le monde des objets et des événements et les connaissances visées. Autrement dit, les rétroactions possiblement fournies par les éléments matériels ont permis aux élèves de mettre à l'épreuve des éléments du modèle avec leurs observations.

Par exemple, lors d'une séquence visant à expliquer la variation de la durée de la journée à une date donnée pour des lieux situés à une même longitude, mais à des latitudes différentes, les élèves utilisent une balle (pour représenter la Terre) et une lampe (pour représenter le soleil) comme intermédiaires entre le monde des objets et des événements et celui des théories. Dans un premier temps, le modèle explicatif construit par les élèves est cohérent avec certains savoirs scientifiques (rotation et révolution de la Terre), mais d'autres éléments sont erronés (perpendicularité de l'axe des pôles par rapport au plan de l'écliptique). Or, dans la configuration choisie, en interprétant la zone d'ombre sur la balle comme étant la nuit sur Terre, les élèves constatent que la limite de séparation entre la partie éclairée et la partie non éclairée sur la balle passe par le pique en bois (représentant l'axe des pôles) et ce quelle que soit la position de la balle par rapport à la lampe. Ainsi les observations issues de la modélisation ne sont pas cohérentes avec les données réelles : la durée de la journée est la même en Angleterre et au pôle Nord et il y a des nuits et des journées au pôle Nord. Les élèves en déduisent alors que le modèle explicatif imaginé ne permet pas d'interpréter les données issues du monde réel. Le milieu matériel renvoie donc l'information aux élèves d'une incohérence entre les données à interpréter et le modèle mis en œuvre ce qui les conduit à modifier certains des éléments du modèle explicatif à savoir l'inclinaison de l'axe des pôles par rapport au plan de l'écliptique.

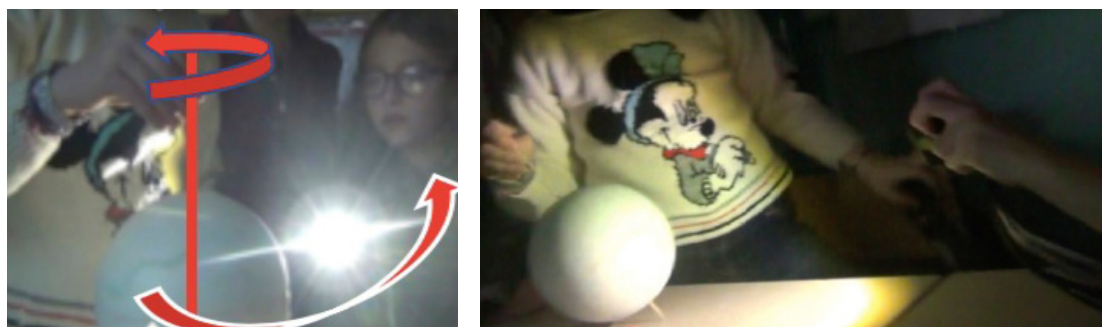


Figure 2 : évolution du modèle explicatif élaboré par les élèves à la suite de la manipulation



Cet exemple emblématique montre comment le matériel tangible porteur d'informations issues des deux mondes a pu favoriser une avancée des savoirs importante en permettant des rétroactions du milieu sur les élèves à certains moments de la séquence.

Toutefois, le matériel tangible n'a pas toujours ni joué ce rôle d'intermédiaire entre les deux mondes ni favorisé les activités de modélisation conformes aux savoirs de référence. En effet, les rétroactions du milieu via les objets tangibles se sont parfois révélées comme des obstacles à l'avancée des connaissances visées.

Par exemple, un faisceau lumineux trop étroit de la lampe représentant le Soleil peut impliquer une mauvaise interprétation de la part des élèves de la surface éclairée de la balle représentant la Terre.

En revanche, les ruptures chronogénétiques associées aux jeux d'apprentissage impliquant les simulations ont été interprétées par le collectif essentiellement par la fonction attribuée à ces objets. En effet, les simulations<sup>4</sup> sont majoritairement utilisées pour décrire des phénomènes, toujours préalablement étudiés, et ce sans visée explicative. Ainsi, les simulations ne sont pas exploitées pour leur capacité interprétative d'un phénomène. Autrement dit, l'usage prévu des simulations limite les activités de modélisation des élèves en contraignant leur tâche cognitive uniquement dans le monde des objets et des événements. Pourtant, les informations portées par certaines des simulations proposées auraient pu permettre un travail d'interprétation et donc potentiellement la construction des connaissances visées. De plus, même dans les rares jeux où les simulations sont convoquées par les enseignant·es avec une visée interprétative, l'avancée des savoirs a été stoppée par une topogenèse déséquilibrée, du côté des élèves. En effet, les élèves relèvent systématiquement les indices donnés à voir à travers la simulation permettant de préciser la description du phénomène étudié, mais jamais les éléments du modèle, pourtant présents dans la simulation, permettant de l'interpréter. Les prises de paroles successives des élèves ont conduit à l'abandon systématique par les enseignant·es de l'objectif d'interprétation. Toutefois, nous prenons soin de replacer ces résultats dans le contexte particulier des classes observées et de les pondérer par une plus grande expérience de la classe des objets tangibles que des objets numériques. En effet, les entretiens avec les enseignant·es révèlent leur expérience limitée du recours aux objets numériques dans leur classe, recours ici imposé (Boivin-Delpieu, 2020).

Enfin, les moments de co-analyse lors de cette première phase de travail ont permis d'enrichir la classification des représentations courantes des élèves données par la recherche sur le thème d'étude. Sans rendre compte ici de l'analyse fine effectuée, nous pouvons classer ces représentations en plusieurs catégories : variation de la vitesse de rotation et/ou de révolution de la Terre, variation de la distance entre le Soleil et la Terre (variation de la

4. Exemple de simulations utilisées : <https://www.reseau-canope.fr/lesfondamentaux/video/la-revolution-de-la-terre-autour-du-soleil.html>



hauteur du Soleil dans le ciel), variation de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre ou encore des représentations plus rares comme variation de la densité de nuages.

Les résultats de cette première phase de travail ont été formalisés dans un document partagé qui a constitué un premier espace commun favorisant le dialogue. Ainsi est apparue la nécessité de créer une ressource didactique favorisant les activités de modélisation, mais aussi permettant de prendre en charge les principales difficultés cognitives et matérielles constatées. Le collectif a alors orienté sa réflexion autour de la conception d'une ressource numérique en formalisant le problème ainsi :

Comment chercheur et praticiens peuvent-ils lors de l'élaboration d'une ressource numérique dédiée à l'enseignement et l'étude des mouvements de la Terre au cycle 3 prendre en compte à la fois les hypothèses théoriques sur l'apprentissage en sciences physiques, mais aussi les leviers et les difficultés identifiés lors de l'analyse conjointe de séances ordinaires ?

## **Phase 2 : élaboration d'une solution technopédagogique**

Pour cette deuxième phase, nous avons choisi de faire évoluer les compétences disponibles dans le collectif. En effet, nous avons besoin d'une part d'une expertise scientifique dans le domaine de l'astronomie pour garantir les connaissances scientifiques en jeu, mais aussi d'une expertise en lien avec le numérique éducatif pour garantir l'utilisabilité de la solution. C'est ainsi qu'un enseignant-chercheur (physique théorique et astrophysique) et deux personnes intervenantes à la DANE<sup>5</sup> dont une professeure de SVT exerçant au cycle 3 ont rejoint le collectif.

Lors de réunions régulières enrichies d'un travail individuel de tous les acteur·rices, nous avons imaginé un scénario pédagogique prenant en compte les contraintes didactiques issues des résultats de l'analyse de la phase précédente, les compétences des praticien·nes, certaines hypothèses théoriques sur l'apprentissage à travers notamment les activités de modélisation, ainsi que les contraintes institutionnelles liées aux concepts à enseigner.

Lors de la rédaction de ce scénario, en considérant l'ensemble de ces contraintes, nous avons peu à peu co-imaginé les caractéristiques d'un outil numérique. D'abord exprimées dans un langage commun, le collectif les a ensuite consignées dans un document de travail. Déposé sur un drive, ce document a permis d'acter la collaboration (Lyet, 2011).

Cette trace écrite a ensuite été traduite avec l'aide d'une équipe de chercheur·es<sup>6</sup> en lien direct avec le monde de l'entreprise, dans un langage correspondant aux codes « habituels » d'un cahier des charges<sup>7</sup>. Une entreprise experte en innovation numérique a alors été sollicitée pour imaginer une solution numérique respectant ce cahier des charges.

5. DANE : délégation académique pour le numérique éducatif.

6. Chercheur·es du pôle ERgonomie et COncption des Systèmes (ERCOS) du laboratoire ELLIADD

7. Bertrand de la Bretesche. La méthode APTE – Analyse de la valeur. Analyse fonctionnelle. Éditions Pétrelle. 239 p. 2000.



En plus des contraintes purement liées aux difficultés d'apprentissage, les enseignant·es ont ajouté au cahier des charges plusieurs éléments de contexte : les problèmes de connectivité dans les salles de classe impliquant de produire une application autonome, les aspects budgétaires ou encore les recommandations médicales notamment en lien avec l'usage des casques de réalité virtuelle...

La solution proposée, nommée Terra 3D, est une simulation avec réalités superposées (réalité virtuelle et augmentée) sur tablette. Les tablettes ont en effet l'avantage d'être un outil mobile et facilement utilisable en classe notamment par petits groupes. Elles peuvent être regroupées dans le cadre d'une mallette pédagogique que chaque école pourra emprunter ce qui limite fortement l'investissement pour chaque école.

Sans exposer ici l'ensemble des contraintes et leurs conséquences sur l'outil (ce qui a fait l'objet d'un article (Boivin-Delpieu & Joubert, 2021), Terra 3D a été conçu selon trois modes d'utilisation, conformes aux principales étapes d'une démarche d'enseignement scientifique basée sur l'investigation.

Le premier mode doit permettre une reconstitution informatique d'un environnement réel afin d'étudier des phénomènes par ailleurs observables sur Terre puis la formulation de questionnements scientifiques. Ainsi le mode 1 de cette application propose un environnement virtuel permettant de découvrir la trajectoire apparente du Soleil et celle de l'ombre d'un objet (un mur) pour six lieux, et ce pour n'importe quelle date entre 1975 et 2050 en Norvège, France, Algérie, Namibie, Antarctique et au Gabon.

Le second mode englobe toutes les phases de résolution du problème scientifique ainsi posé. Il doit permettre aux élèves de tester leurs hypothèses explicatives relatives aux phénomènes étudiés en construisant pas à pas un modèle conforme aux savoirs de référence. Les élèves ont alors l'occasion de faire varier plusieurs éléments du modèle et d'en tester les conséquences sur les phénomènes observables. Ils·elles ont ainsi la possibilité d'interpréter les éléments décrits dans le mode 1. Les variables ont été choisies en fonction des difficultés matérielles et cognitives identifiées lors de l'analyse *a priori*.

Par exemple, il est nécessaire que les élèves parviennent d'une part à identifier la surface éclairée sur la balle comme étant la journée et d'autre part à comparer la longueur du trajet parcouru par un point sur cette surface avec la durée de la journée. Autrement dit, il s'agit de comprendre que plus la longueur de l'arc de cercle parcourue dans la surface éclairée est grande plus la durée de la journée est importante. Terra 3D offre la possibilité de comparer les longueurs des trajets pour des points situés sur l'un des 6 lieux étudiés dans le mode 1 avec la durée de la journée et de la nuit en fonction de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre et ce pour les dates significatives liées au changement de saisons (Figure 3).

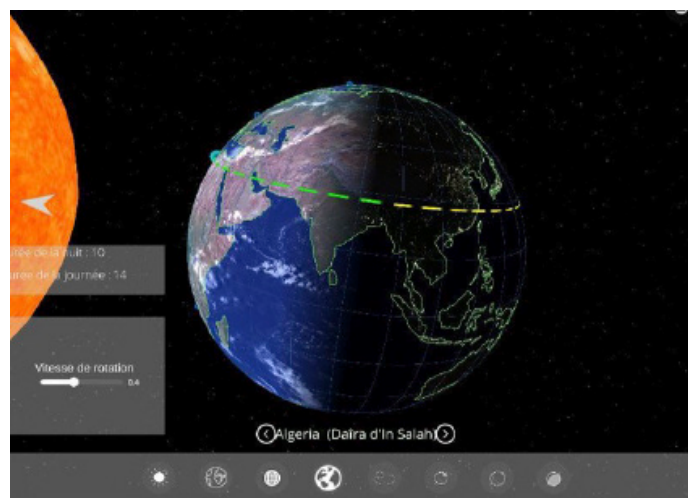


Figure 3 : Comparaison des longueurs d'arc pour trouver des durées

Enfin, le dernier mode permet la structuration des connaissances élaborées. Les élèves peuvent alors faire fonctionner le modèle, décrire les phénomènes observables, les interpréter et même les prévoir pour des dates et/ou des lieux non testés dans le mode 2. Les élèves peuvent également découvrir la place de la Terre dans le système solaire ainsi que les autres planètes et leurs caractéristiques.

Livré en mars 2020, le prototype de réalité superposée sera testé en conditions réelles et permettra d'interroger le nouveau pouvoir d'action des enseignant·es, ainsi que les nouvelles activités de modélisation des élèves.

## Conclusion et perspectives

Notre méthodologie a permis d'explicitier les caractéristiques d'une ressource numérique pour l'enseignement et l'étude des mouvements de la Terre. Sur un principe de symétrie des positions, praticien·nes et chercheur·es ont confronté des savoirs issus de l'expérience et de la recherche. À travers les espaces de discussion et en prenant appui sur des documents partagés comme outils de collaboration, un rapport de confiance et de complémentarité s'est établi entre chacun·e des acteur·rices qui ont ainsi pu accéder à des informations manquantes. Nous retrouvons donc dans cette recherche les caractéristiques d'une recherche collaborative (Desgagné & Bednarz, 2005).

Notre objectif est désormais de tester en situation réelle le prototype afin d'engager un premier cycle itératif d'amélioration du dispositif, conformément aux étapes de la DBR. Même s'il semble conforme à nos attentes, il nous faut désormais tester son utilisabilité, puis son efficacité au regard des apprentissages en contexte scolaire. Pour cela, nous avons d'abord prévu des tests d'utilisabilité sur un échantillon représentatif des utilisateur·rices visé·es de manière à vérifier que l'artéfact possède les affordances permettant aux élèves de manipuler selon les modalités prévues. Puis, dans un second temps, nous avons prévu d'organiser des observations *in situ*, d'analyser les activités cognitives des élèves d'un point de vue des activités



de modélisation lors de l'utilisation du prototype. Nous procéderons également à des tests post-séquence relatifs à la fois aux connaissances visées, mais aussi à la connaissance de la démarche scientifique. Ces tests seront réalisés avec des groupes ayant utilisé TERRA-3D et avec des groupes ayant seulement eu recours à du matériel tangible classique. Enfin, des entretiens avec les enseignant·es et des focus groups nous permettront de recueillir le sentiment des utilisateur·rices.

L'analyse de l'ensemble de ces données permettra de développer des compréhensions renouvelées des transactions didactiques médiées par TERRA-3D et de développer la modélisation des phénomènes d'enseignement-apprentissage avec ce dispositif (et en appui sur les cadres théoriques choisis). Les gestes professionnels des enseignant·es, en travaillant en particulier sur le scénario pédagogique, permettant d'orienter et de faciliter l'utilisation de TERRA-3D, pourront se transformer. Enfin, le travail ergonomique, informatique des concepteurs aboutira à de nouvelles spécifications et à des modifications du prototype.

Ce projet pourra se prolonger à travers des améliorations du dispositif et des extensions permettant d'aborder d'autres notions scientifiques des programmes de cycle 3.

Cette recherche nous laisse penser qu'au-delà de l'exemple présenté ici, les recherches collaboratives de type BDR pourraient être une piste pour pallier les difficultés des enseignant·es à intégrer efficacement les technologies numériques dans leur enseignement et ainsi à mieux assurer la mission essentielle de l'école de préparer les jeunes au monde de demain façonné par le numérique. En effet, impliquer les enseignant·es dans l'élaboration de ces outils pourraient en permettre un usage plus pertinent. Dans le contexte de cette recherche, les enseignant·es avaient une expérience limitée du recours aux objets numériques dans leur classe. Aussi, lors de la phase 1, l'usage prévu par les enseignant·es de diverses simulations a impliqué uniquement des tâches épistémiques de description chez les élèves et jamais d'interprétation ce qui a eu un impact direct sur l'avancée des savoirs. Il est d'ailleurs connu que les simulations peuvent être relativement masquantes des modèles scientifiques sous-jacents (Sanchez, 2008). Co-construire des ressources pourrait garantir non seulement leur appropriation par les enseignant·es, mais aussi un usage pertinent vis-à-vis des savoirs visés.



## Références

- Bécu-Robinault, K. (2004). Raisonnements des élèves et sciences physiques. In E. Gentaz & P. Dessus (Eds), *Comprendre les apprentissages : sciences cognitives et éducation* (pp.117-132). Dunod.
- Bécu-Robinault, K. (2018). *Analyse des interactions en classe de physique. Le geste, la parole et l'écrit*. L'harmattan.
- Boivin-Delpieu, G. (2015). *Conditions d'avancée des savoirs et déterminants de l'action professorale : étude de cas sur l'enseignement des phases de la Lune au cycle 3*. Lyon : Université Claude Bernard, Lyon1. (Thèse de doctorat).
- Boivin-Delpieu G. (2020). Comparaison de situations d'enseignement et d'étude des mouvements de la Terre avec des objets tangibles et des objets numériques au cycle 3. *Éducation et didactique*, 14(3), 9-38.
- Boivin-Delpieu, G & Joubert, P. (2021). Didactique de la physique et conception d'un simulateur pour l'enseignement de l'astronomie au cycle 3. *Sticf*, 28(1), 51-79.
- Chasteney, P. (2018). To teach or not to teach Astronomy, That is The Question: results of a survey of Québec's elementary teachers. *Journal of Astronomy & Earth Sciences Education (JAESE)*, 5(2), 115-136.
- Chastenay, P. (2021). Faire de l'astronomie à la manière des astronomes. In E. Rollinde (Dir.). *L'Astronomie pour l'éducation dans l'espace francophone* (pp.105-120). Éditions Le Manuscrit
- Chevallard, Y. (1998). Opiner, asserter, professer en didactique. In C. Hadji & J. Baillé (Eds), *Recherche et éducation. Vers une « nouvelle alliance ». La démarche de preuve en 10 questions* (pp. 29-43). De Boeck Université.
- Couture, C. (2005). Repenser l'apprentissage et l'enseignement des sciences à l'école primaire une co-construction entre chercheurs et praticiens. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(2), 317-333.
- De la Bretesche, B. (2000). *La méthode APTE. Analyse de la valeur. Analyse fonctionnelle*. Petrelle.
- Desgagné, S., & Larouche, H. (2010). Quand la collaboration de recherche sert la légitimation d'un avoir d'expérience. *Recherches en éducation, Hors série 1*, 7-18.
- Desgagné, S. & Bednarz, N. (2005). Médiation entre recherche et pratique en éducation : faire de la recherche « avec » plutôt que « sur » les praticiens. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(2), 245-258
- Design-Based Research Collective (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- Droui, M., & El Hajjami, A. (2014). Simulations informatiques en enseignement des sciences : apports et limites. (ressource en ligne). EpiNet, (164). Accédé le 25/01/2021, url : <http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1404e.htm>
- Fjeld, M., & Voegtli, B. (2002). Augmented chemistry : An interactive educational workbench. In *Proceedings of the IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR, 2002)*, 259-260.
- Fleck, S., Simon, G. (2013). An Augmented Reality Environment for Astronomy Learning in Elementary Grades : An Exploratory Study. 25<sup>e</sup> conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'13, Bordeaux, France.
- Giordan, A. (2010). Nouveaux contenus, nouvelles pratiques, peut-on mutualiser les problèmes et les acquis ? In A. Hasni, & J. Lebeaume (Eds.). *Nouveaux enjeux de l'éducation scientifique et technologique : visées, contenus, compétences et pratiques* (pp. 17-49). Presses Universitaires.
- Goujon, C., Athias, F., Cariou, D., Kervran, M., Sensevy, G., et al. (2019). *Didactique pour enseigner*. Collectif didactique pour enseigner (CDpE). Presses universitaires de Rennes (PUR), Paideia.
- Kallery, M. (2011). Astronomical Concepts and Events Awareness for Young Children. *International Journal of Science education*, 33(3), 341-369.
- Le Moigne, J. (2012). *Les épistémologies constructivistes*. Presses Universitaires de France.
- Ligozat, F., & Marlot, C. (2016). Un « espace interprétatif partagé » entre l'enseignant et le didacticien est-il possible ? Étude de cas à propos du développement de séquences d'enseignement scientifique en France et à Genève. Dans F. Ligozat, M. Charmillot & A. Muller (dir), *Le partage des savoirs dans les processus de recherche en éducation. Raisons Éducatives*, (20), 143-164.
- Lyet, P. (2011). Traduction, transaction sociale et tiers intermédiaire dans le processus de collaboration de chercheurs et de praticiens dans le cadre de recherches-actions. *Pensée plurielle*, 3(28), 49-67
- Merle, H. (2002). Histoire des sciences et sphéricité de la Terre : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, 20, 115-136
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H & Hemmo, V. (2007). *L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe*. Union européenne : direction générale de la recherche Science, économie et société. Luxembourg : office des publications officielles des Communautés européennes.



- Rolando, J.-M. (2004). Astronomie à l'école élémentaire : quelques réflexions sur la construction des compétences. *Grand N*, 74, 99-107
- Roy, P. & Hasni, A. (2014). Les modèles et la modélisation vus par des enseignants de sciences et technologies du secondaire au Québec. *McGill Journal of Education/Revue des sciences de l'éducation de McGill*, 49(2), 349-371.
- Sanchez, É. (2008). Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre? *Éducation et didactique*, 2(2), 93-118
- Saltiel, É., Worth, K. & Duque, M (2009). L'enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Conseils pour les enseignants. Rapport européen de recherche et développement soutenu par la direction générale de la Commission européenne Pollen: Villes Pépinières de Sciences, une approche participative pour un développement durable de l'enseignement des sciences en Europe.
- Sensevy, G., Mercier, A., & Schubauer-Leoni, M.-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur. À propos de la Course à 20. *Recherches en Didactique des mathématiques*, 20(3), 263-304.
- Sensevy, G., & Mercier, A. (Eds). (2007). *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. PUR.
- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir, éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. De Boeck.
- Shelton, B., Hedley, N. (2002). Using augmented reality for teaching Earth-Sun relationships to undergraduate geography students. In *the First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop*, Darmstadt, Germany.
- Stedmon, A. W., Hill, K., Kalawsky, R. S., & Cook, C. A. (1999). Old theories, new technologies: Comprehension and retention issues in augmented reality systems. In *HFES 99 Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society* (pp. 1358-1362). Human Factors & Ergonomics Society.
- Svétošlavova Anastassova, M., Burkhardt, J.-C., Mégard, C., Ehanho P. (2007). L'ergonomie de la réalité augmentée pour l'apprentissage : une revue. *Le travail humain*, 70, 97-125.
- Tiberghien, A. (2017). Modélisation des savoirs dans la classe en didactique de la physique. *Recherche en éducation*, 29, 72-88
- Tiberghien A, Malkoun L., Buty C., Souassy N. & Mortimer E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds), *Agir ensemble: éléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves* (pp. 93-122). PUR
- Walliser, B. (1977). *Système et modèles*. Le Seuil.

