



RDST

Recherches en didactique des sciences et des technologies

12 | 2015

L'expérimental en sciences, réel ou virtuel

L'expérimental réel ou virtuel en classe de sciences

Labwork in science classrooms, real or virtual?

Patricia Marzin-Janvier et Isabelle Kermen



Édition électronique

URL : <http://rdst.revues.org/1125>

ISSN : 2271-5649

Éditeur

ENS Éditions

Édition imprimée

Date de publication : 15 novembre 2015

Pagination : 9-23

ISBN : 978-2-84788-647-4

ISSN : 2110-6460

Référence électronique

Patricia Marzin-Janvier et Isabelle Kermen, « L'expérimental réel ou virtuel en classe de sciences », *RDST* [En ligne], 12 | 2015, mis en ligne le 15 novembre 2015, consulté le 30 septembre 2016. URL : <http://rdst.revues.org/1125>

Ce document est un fac-similé de l'édition imprimée.

© Éditions de l'École normale supérieure de Lyon

L'expérimental réel ou virtuel en classe de sciences

Patricia Marzin-Janvier

Université Joseph-Fourier, Grenoble, LIG, équipe MeTAH

Isabelle Kermen

Université d'Artois, LDAR

MOTS-CLÉS • expérience, investigation, perfectionnement des enseignants, technologie de l'éducation

KEYWORDS • experiment, investigations, further education of teachers, educational technology, inquiry science teaching strategies

Introduction

Le rôle des manipulations concrètes dans l'apprentissage des sciences a été largement étudié durant ces dernières décennies dans de nombreux pays. On peut par exemple citer le projet européen « Labwork in Science Education » (1996-1998) (Tiberghien *et al.*, 2001 ; Séré, 2002) qui a proposé une étude comparative des activités expérimentales dans les différentes disciplines scientifiques à travers plusieurs pays d'Europe, ainsi que les travaux de nombreux chercheurs au niveau international sur le rôle des activités expérimentales dans l'apprentissage des sciences (par exemple : Millar, 2004 ; Abrahams & Reiss, 2012), ou encore la recherche INRP sur l'expérimental (*Aster*, n°28, 1999 ; Larcher & Goffard, 2004). Plus récemment, en 2006, la revue *Aster* a publié un numéro dans lequel a été traitée la question de l'enseignement et de l'apprentissage en concevant, en construisant, en manipulant et en adaptant des objets (réels ou virtuels) dans un but de modélisation scientifique.

Le contexte institutionnel de l'enseignement des sciences a récemment évolué. En 2007, une commission européenne pilotée par Michel Rocard a produit des

recommandations et un rapport (Rocard *et al.*, 2007) qui est à l'origine de la généralisation de la démarche d'investigation comme moyen pédagogique pour enseigner les sciences en Europe. De fait, dans l'enseignement primaire et secondaire en France, la démarche d'investigation (DI) est généralisée dans les instructions officielles à tous les niveaux d'enseignement. À la suite de son introduction dans les *curriculums* de sciences expérimentales, les recherches menées à l'échelle internationale, font ressortir des questions spécifiques, portant par exemple sur l'articulation entre DI et démarche expérimentale.

L'appel à contribution de ce numéro de la revue *RDST* était focalisé sur l'évolution des problématiques de recherche liées à l'expérimental dans la didactique des sciences et des technologies. Des cinq articles qui composent ce dossier, quatre concernent les démarches pédagogiques mises en œuvre pour enseigner les sciences dans l'enseignement primaire ou secondaire tandis que le cinquième traite d'une recherche effectuée avec des étudiants hors du cadre institutionnel (Maisch, Kermen, de Hosson et Parizot). Jean-Yves Cariou analyse le statut épistémologique de l'expérience dans les prescriptions officielles et les ressources associées pour enseigner les sciences par investigation au collège ou par tâches complexes au lycée. Deux articles concernent une démarche d'investigation mise en œuvre à l'école primaire, l'un étudiant l'influence des postures épistémologiques plus ou moins conscientes des enseignants sur la structuration de leurs séances (Boivin-Delpieu et Bécu-Robinault), l'autre passant en revue les difficultés et réussites d'une conception de protocoles expérimentaux par des élèves de CM2 (Monod-Ansaldi, Prieur, Arbez et Golay). Cette conception fait l'objet d'étayages implantés dans des plateformes numériques, que Patricia Marzin-Janvier présente dans son article, pour permettre à des lycéens de concevoir un protocole expérimental répondant à un problème de génétique. Ces articles traitent de la forme, de la place du référent empirique et de son rôle dans l'apprentissage ; de l'appropriation de la démarche expérimentale par les élèves dans l'enseignement primaire et secondaire ; du statut épistémologique de l'expérience dans l'enseignement des sciences et de son influence sur l'action des enseignants.

Le statut épistémologique de l'expérience, influence sur les pratiques

Nous ne disposons pas de résultats d'enquêtes d'ampleur pour déterminer quelles sont les activités expérimentales proposées effectivement de l'école à l'université durant la dernière décennie. Quelques recherches montrent que des pratiques traditionnelles, où l'enseignant en lycée propose une fiche TP qui confine les élèves au rôle d'exécutants, ont tendance à persister (Coquidé, Fortin & Rumelhard, 2009 ; Kermen & Barroso, 2013 ; Kermen & Colin, 2014 ; Venturini *et al.*, 2007 ; Zion & Sadeh, 2007). Cependant, analysant des fiches de laboratoire Isabelle Girault et ses co-auteurs (Girault *et al.*, 2012) déterminent la nature des tâches proposées aux lycéens et aux étudiants dans ces fascicules de TP (échantillon de 26 exemplaires au lycée et

à l'université dans différentes disciplines scientifiques). Lorsque certaines tâches ne sont pas mentionnées, cela signifie la plupart du temps que les étudiants doivent adapter une procédure plutôt qu'en choisir une *ex nihilo*, ce qui rapproche cette activité d'une tâche de conception de protocole expérimental. Qualifier alors les protocoles traditionnels de recettes que les étudiants se borneraient à exécuter, ne leur paraît pas pertinent, puisque seulement un tiers de leur échantillon correspond à un protocole comportant toutes les tâches à réaliser par les étudiants, ce qui est significativement moins que dans l'étude européenne réalisée par Tiberghien *et al.* (2001). Ils considèrent que ce qui est attendu des étudiants n'est pas aussi simple que suggéré par ce type d'appellation. Cette étude incite à penser qu'une évolution dans la nature des tâches demandées aux élèves et étudiants est en cours.

Au collège la mise en place de séances comportant une démarche d'investigation ne s'effectue pas sans que les enseignants se heurtent à plusieurs types de difficultés (Calmettes, 2009 ; Venturini & Tiberghien, 2013 ; Monod-Ansaldi & Prieur, 2011). Un positionnement épistémologique selon lequel le savoir se construit de façon inductive plutôt qu'hypothético-déductive semble répandu, et entre en tension avec la construction du savoir préconisée dans le texte définissant la démarche d'investigation dans les programmes de collège (Venturini & Tiberghien, 2013 ; Triquet & Guillaud, 2011).

L'article de Jean-Yves Cariou vient compléter ce constat en apportant un autre élément de réflexion, pour lui le statut épistémologique de l'expérience dans les prescriptions officielles n'est pas homogène. Les prescriptions officielles examinées sont constituées d'une part, par les textes de cadrage sur la démarche d'investigation et les tâches complexes dans les programmes de SVT et de physique-chimie du collège et du lycée, d'autre part par des exemples de séances mis à disposition des enseignants sur le site Eduscol¹. Dans les textes, l'expérience a le statut de contrôle (type 2 de la classification de J.-Y. Cariou) pour mettre à l'épreuve une idée ou une hypothèse dans la DI, alors qu'elle remplit un rôle de détermination (type 3) pour mesurer une grandeur ou mettre en évidence un phénomène, ou sert à produire un effet visé (type 4) dans les tâches complexes faisant appel à des expériences. Son second corpus est constitué d'exemples de démarche d'investigation et de tâches complexes comportant une expérience, qu'il a puisés dans les documents officiels pour les SVT et la physique-chimie sur le site Eduscol. La composition de ce corpus montre un nombre beaucoup plus élevé d'exemples de physique-chimie que de sciences de la vie et de la Terre pour les DI (31 pour 1). Est-ce révélateur d'une prise de position particulière des prescripteurs en physique-chimie ou cela a-t-il un lien avec la difficulté qu'il peut y avoir à expérimenter sur le vivant ? L'auteur ne mentionne, ni n'interprète ce déséquilibre. Il passe au crible de sa grille d'analyse le corpus et montre notamment que dans la moitié des exemples de DI, l'expérience est proposée

1 Site du ministère de l'Éducation nationale fournissant des ressources pour l'enseignement secondaire.

et réalisée par l'enseignant parfois en contradiction avec les attendus officiels. Il met en évidence ainsi une réelle discordance entre les deux niveaux de prescription, celui des textes de cadrage et celui de leur mise en œuvre, par la mise à disposition pour les enseignants de séances supposées exemplaires. Outre cette discordance, Jean-Yves Cariou considère que le point de vue adopté par les prescripteurs interroge « la place du *mental* dans l'expérimental et celle de l'expérimental dans les sciences *expérimentales* », l'effort intellectuel fourni par les élèves étant « peu distant de l'évidence ». Ajoutons que ces exemples de séances peu conformes à l'esprit des textes de cadrage ne contribuent pas véritablement à modifier les habitudes des enseignants qui évoluent lentement. Ces séances constituent elles-mêmes une illustration de cette évolution, étant le fruit de la réflexion d'enseignants repérés par l'institution et reflétant l'insuffisante formation épistémologique et didactique des enseignants.

Complétant cette étude des prescriptions dans l'enseignement secondaire, Géraldine Boivin-Delpieu et Karine Bécu-Robinault étudient la réalisation de deux séquences au cycle 3, visant à expliquer l'origine des phases de la Lune selon une démarche d'investigation. Dans le cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique, elles s'interrogent sur l'influence que les postures épistémologiques de chaque enseignant ont sur sa manière d'aborder l'observation et l'utilisation d'une maquette. Dans le cas d'une maquette reproduisant les phases de la Lune, il est seulement possible d'observer le réel, mais pas d'agir sur lui. Les deux enseignants mettent en place une séquence où selon les auteures, ils ne différencient pas la manipulation de la maquette représentant le système Terre-Lune, assimilée à une expérimentation, de la modélisation de ce système. Le premier enseignant organise une manipulation d'objets concrets figurant les nuages au sein de la maquette, pouvant être considérée comme une forme d'expérience sur le substitut au réel, pour prouver qu'il faut bien exclure les nuages comme possible cause des différents aspects de la Lune. Pourtant les élèves étaient arrivés, à partir d'une étude documentaire sur la durée des lunaisons, à écarter cette hypothèse. Mais, selon Géraldine Boivin-Delpieu et Karine Bécu-Robinault, pour l'enseignant, ce raisonnement ne mettant pas en jeu de manipulation d'objets concrets n'est pas valide et ses convictions épistémologiques motivent l'utilisation de la maquette pour écarter cette hypothèse. Selon la classification de Jean-Yves Cariou, l'usage de la maquette, à ce moment-là, sert à vérifier qu'on obtient bien ce qu'on attend : il s'agit d'une expérience de type 4. La seconde enseignante n'utilise pas les observations de la Lune rapportées par les élèves, pour induire un questionnement ou esquisser une généralisation. Selon Géraldine Boivin-Delpieu et Karine Bécu-Robinault, elle exprime ainsi sa croyance que des observations ne peuvent conduire à élaborer une théorie, rejetant le raisonnement inductif et incite les élèves à recourir à la modélisation pour qu'ils formulent des hypothèses. Ces exemples amènent les auteures à souligner l'impact des représentations épistémologiques des enseignants sur leurs choix didactiques, en particulier pour ce qui touche à « la mise en place d'expérimentations dans la classe ». Elles en appellent à une formation épistémologique pour faire prendre conscience aux enseignants de

leurs postures et de l'influence de celles-ci sur leurs choix didactiques. Ces résultats font écho à ceux de Patrice Venturini et Andrée Tiberghien (2013) qui, analysant la mise en place d'une démarche d'investigation en physique au collège dans une classe ordinaire, montrent que les croyances ou connaissances de l'enseignant exprimées en termes de rapport personnel aux savoirs ou d'épistémologie pratique constituent un filtre qui délimite les choix et l'action de l'enseignant et peuvent aussi entrer en tension avec le cadrage institutionnel présentant la démarche d'investigation.

Dans l'enseignement supérieur, des séances de TP de chimie estampillées démarche d'investigation font l'objet de comptes rendus dans *l'Actualité chimique*, revue de la société chimique de France, par les enseignants qui les ont mises en place en BTS ou en CPGE (formations comportant un programme national qui constitue une tutelle institutionnelle forte) (Bataille *et al.*, 2009a, 2009b ; Haurat, 2015 ; Heinrich & Benaskar, 2014). Il s'agit de pratiques déclarées qui ont pour but, selon les auteurs, de favoriser l'appropriation par les enseignants des nouvelles prescriptions afin d'initier leur diffusion. L'objectif de ces séances semble être d'accorder plus d'autonomie aux étudiants dans la conception du protocole de TP, dans sa mise en œuvre et dans la communication des résultats, de les motiver. L'accent est mis sur la recherche d'une voie de résolution du problème initial par les étudiants, à partir d'une liste de matériel définie. Tout le matériel proposé peut (doit) être utilisé, ce qui constitue « un élément pérenne du contrat didactique » (Cross & Grangeat, 2014) déjà repéré lors d'observation de séances d'investigation dans des classes ordinaires au collège et qui paraît « antagoniste aux démarches d'investigation » (*ibid.*). Pour certains, la recherche et la mise à l'épreuve d'hypothèses explicatives sont moins mises en avant que la créativité et l'autonomie attendues (Bataille *et al.*, 2009a, 2009b ; Haurat, 2015). D'autres soulignent le travail d'équipe qui est nécessaire, les étudiants, après avoir conçu un plan d'action, devant se répartir les tâches, tous ne réalisant pas la même expérience (Heinrich & Benaskar, 2014). Lors de ces séances de TP, il n'y a pas véritablement d'apprentissage conceptuel mais plutôt une mobilisation de concepts déjà étudiés et une découverte ou une consolidation de savoir-faire, ce qui va à l'encontre des critères, caractérisant une démarche d'investigation, proposés par Ludovic Morge et Jean-Marie Boilevin (2007). Il s'agit pour les étudiants de mobiliser des ressources cognitives et des habiletés pour résoudre un problème, tout en étant plus ou moins guidés. La nature même de ces comptes rendus, qui ne résultent pas d'observations extérieures critiques, constitue une limite de ce qui peut en être inféré. Le rôle de l'enseignant est inconnu alors qu'il peut s'avérer décisif.

La conception expérimentale par les élèves

Deux articles du numéro abordent la conception de protocoles expérimentaux par les élèves. Dans le premier, Réjane Monod-Ansaldi, Michèle Prieur, Isabelle Arbez et Agnès Golay étudient la mise en place, répétée durant trois années successives par une même enseignante, d'une séquence en CM2 consistant à faire concevoir par les

élèves un protocole expérimental qui vise à évaluer l'entrée d'eau dans une plante. La conception d'un protocole expérimental constitue une tâche complexe pour la réalisation de laquelle il est judicieux de fournir un étayage au sens de Bruner (1983), adapté et enrichi pour la conception des protocoles expérimentaux par Marzin-Janvier (2013), autrement dit des aides raisonnées et planifiées. La construction de cet étayage est postérieure à l'analyse des connaissances impliquées dans la conception du protocole qui devrait permettre de décider de celles que les élèves devraient mobiliser et de celles prises en charge par l'enseignant. Les auteures reprennent à leur compte les critères proposés par Isabelle Girault, Cédric d'Ham, Muriel Ney, Éric Sanchez et Claire Wajeman (2012) pour caractériser les propriétés d'un protocole expérimental, à savoir la pertinence, l'exécutabilité et la communicabilité du protocole. Elles ont effectué une analyse des protocoles proposés par les élèves la première année selon ces trois critères, ce qui leur a permis de caractériser les difficultés rencontrées par ces élèves. Ensuite lors de la troisième année, la séquence a été restructurée de façon à fournir des étayages permanents tout au long des séances. Des étayages ponctuels ont également été prévus. Globalement les étayages ont rempli leur rôle. Cependant certains élèves ne parviennent pas à remettre en cause leur choix initial (grandeur choisie pour tester l'entrée de l'eau dans la plante, ce qui correspond à un critère de pertinence externe), ce qui légitime, selon les auteures, la tenue en dernière séance, d'un débat collectif qui débouche, après confrontation, sur le choix du protocole respectant au mieux les critères d'évaluation. Isabelle Girault *et al.* (2012) ont conçu ces critères d'évaluation d'un protocole expérimental à partir d'une revue de littérature et d'entretiens avec plusieurs enseignants, afin d'aider les élèves dans la phase de conception du protocole mais aussi d'aider les enseignants à évaluer les productions des élèves. L'étude de Réjane Monod-Ansaldi *et al.* constitue un exemple d'utilisation de ces critères des deux points de vue. L'intérêt de cette étude réside aussi dans le choix de combiner les critères élaborés par Isabelle Girault *et al.*, (2012) et le concept d'étayage de Patricia Marzin-Janvier (2013). En effet ces auteurs ont théorisé ces aspects en poursuivant le projet de concevoir un environnement informatique (une plateforme numérique) permettant aux élèves d'élaborer et mettre en œuvre des protocoles expérimentaux (Girault & D'Ham, 2014; Marzin & De Vries, 2013; Sanchez *et al.*, 2010). Cette étude montre que ces critères et ce concept d'étayage ne sont pas réservés au domaine des environnements informatiques et sont opératoires aussi hors de ce domaine.

Dans le deuxième article qui aborde cet aspect, Patricia Marzin-Janvier compare l'étude de trois situations d'apprentissage en génétique, dans l'enseignement secondaire, supportées chacune par une plateforme numérique différente, SCY-Lab, WISE et LabBook. Patricia Marzin-Janvier souligne que le thème de la génétique se prête mal à la manipulation d'objets tangibles et que l'utilisation de simulations est donc particulièrement adaptée dans ce cas. Les situations mises en œuvre dans les trois plateformes numériques concernent deux référents empiriques virtuels, correspondant à deux logiciels qui simulent la transmission de caractères chez un dragon et

une synthèse des protéines constituant les allèles, et un référent empirique réel, un gel d'électrophorèse. Patricia Marzin-Janvier place ces situations dans le contexte pédagogique de la démarche d'investigation, où les élèves doivent concevoir les expérimentations, savoir rédiger un protocole expérimental ou le justifier, savoir anticiper les résultats, et donc formuler des hypothèses. Elle écrit que laisser à l'élève la charge de concevoir les expérimentations l'amène à clarifier sa pensée par la production de représentations externes. Mais cela ne peut se faire sans que certaines aides lui soient fournies par la plateforme numérique, ce que Patricia Marzin-Janvier nomme plus généralement l'étayage en s'inspirant de Bruner. L'objet de l'article est de déterminer si trois types d'étayage, l'explicitation de la pensée de l'élève (type 1), une aide à la visualisation et à la concrétisation d'objets (type 2) et la pré-structuration des étapes de la démarche d'investigation et du protocole en étapes et en actions (type 3), qui sont à l'œuvre dans les trois plateformes, sont opératoires. Permettent-ils une évolution des conceptions des élèves sur le thème travaillé après utilisation de la plateforme et aident-ils effectivement les élèves à mettre en œuvre une démarche cohérente? En fait dans la première situation, il s'agit d'introduire une activité de conception dans une plateforme qui n'en comporte pas (WISE) à l'aide d'un autre environnement (Copex et LabBook) qui le permet. Cette première étude présentée est une étude *a priori* montrant comment la prise en compte des difficultés et obstacles identifiés chez les élèves par une étude praxéologique du contenu permet de structurer les stratégies possibles que mettraient en œuvre les élèves pour résoudre le problème posé. Il s'agit alors d'illustrer un étayage de type 3. La deuxième étude concerne un «laboratoire de police scientifique» implanté dans la plateforme SCY-Lab. L'étude antérieurement réalisée avec des élèves par Reinaldo Saavedra, a montré qu'ils sont opérants. Enfin lors de la troisième étude, les trois types d'étayage ont été mis à l'épreuve dans la plateforme LabBook utilisant le logiciel Anagène, à l'aide de laquelle les élèves devaient concevoir un protocole expérimental et anticiper ses résultats pour expliquer comment des mutations d'un gène (gène xpa) peuvent avoir des conséquences sur la taille et la fonctionnalité des différentes protéines synthétisées. L'étude menée dans le cadre de la thèse de Reinaldo Saavedra a montré que l'évolution des connaissances chez les élèves est avérée et qu'elle peut survenir soit lors de l'écriture du protocole, soit lors de l'exécution de celui-ci. Ces résultats permettent de penser que les étayages proposés, qui jouent à différentes étapes de la conception et de l'application du protocole, sont opératoires. Pour un thème tel que la génétique, les bénéfices sur l'apprentissage des élèves de ce type d'environnement semblent réels.

Enfin cette modalité pédagogique repose la question de la place à accorder aux activités cognitives réalisées par les élèves pour anticiper, formaliser, interpréter ou évaluer les tâches expérimentales. De nombreux travaux (Flavell, 1987; Chinn & Malhotra, 2002; Etkina *et al.*, 2010; Marzin-Janvier, 2013; Girault *et al.*, 2012; Coquidé, 2000) ont montré une sollicitation plus grande de ces activités lors de la conception d'expériences avant, pendant ou après la réalisation effective de celles-ci.

La place et la forme du référent empirique

Les techniques de laboratoire ont, elles aussi, évolué et l'enseignement tend à intégrer des clichés d'imagerie, des simulations (par exemple Le Maréchal & Bécu-Robinault, 2006; Riopel *et al.*, 2006), la visualisation de phénomènes ou de molécules (par exemple Dorey, 2012; Dorey, Blondel & Bruillard, 2013) avec un degré élevé de résolution et la mise à disposition de ressources via des plateformes numériques. Les expériences peuvent être virtuelles, les manipulations peuvent être assistées par des ressources multimédias, les données peuvent être recueillies auprès d'organismes scientifiques reconnus. Plusieurs plateformes ont été développées récemment pour l'apprentissage des sciences SCY-Lab (De Jong *et al.*, 2010), WISE (Linn & Bat-Sheva, 2011) ou LabBook (D'Ham *et al.*, 2013) qui proposent des situations et un étayage adapté (voir l'article de Marzin-Janvier). Schématiquement, les recherches effectuées sur l'utilisation de simulations numériques et l'environnement associé montrent que l'expérience simulée correspond soit à des expériences réalisables par les élèves ou les étudiants, soit à des expériences ou des concepts inaccessibles dans un contexte scolaire.

En effet dans les années 1990, l'ordinateur, outil de laboratoire (en physique et en chimie) était (et est encore) utilisé pour acquérir des données (ExAO) et pour simuler des expériences réalisables au laboratoire afin de tester plus rapidement (et sans risque pour le matériel en cas de fausse manœuvre) l'influence de tel ou tel paramètre sur le phénomène étudié, en ce qui combine représentations graphiques et modèle mathématique (Beaufils, Richoux & Camguilhem, 1999). Au début des années 2000, l'adjonction d'animations à l'expérience simulée a permis de proposer des environnements multimedia tels que labSon (Séjourné, 2003) et d'enrichir l'expérience simulée pour faire appréhender les concepts selon deux systèmes sémiotiques différents, dont la coordination constitue un indice d'appropriation. Avec la diffusion des caméscopes, l'ExAO est couplée avec la simulation assistée par ordinateur (SAO) et permet la superposition d'images vidéos aux trajectoires simulées (Riopel *et al.*, 2006), l'objectif annoncé étant de former les élèves à la modélisation. On assiste alors à un travail mixte sur une représentation d'un référent empirique réel (images vidéos) et une représentation du référent empirique virtuel, l'objectif étant de construire un modèle qui fournisse une trajectoire simulée la plus fidèle possible au mouvement filmé (chute ou rebond).

Dans une recherche en cours, Karine Bécu-Robinault (2015) explore l'apport d'un dispositif alliant une table tactile « reconnaissant » les objets qu'on pose sur elle et un cadre-écran associé (le cadre de la modélisation) sur lequel s'affiche en direct le schéma des objets (source de lumière, filtre, objet diffusant, observateur, etc.), du trajet et du spectre de la lumière allant de la source à l'observateur, pour comprendre la couleur des objets et de la lumière en classe de quatrième. Le cadre d'analyse combine celui de la modélisation (niveau des objets versus niveau des modèles) et celui des registres sémiotiques (langue naturelle, schémas, photos, dessins). Karine Bécu-Robinault considère que le référent empirique serait intermédiaire entre un

réfèrent réel et un réfèrent virtuel, dans la mesure où la constitution de la table ne permet pas d'utiliser la lumière (le spectre de la lumière est affiché sur la table au niveau de chaque objet), alors que les objets sont tangibles et manipulables. Pour les élèves, l'observation des schémas décrivant le dispositif expérimental sur le cadre-écran entre en compétition avec leur propre observation des objets tangibles sur la table tactile. Et finalement ils peinent à faire des liens entre des expériences réelles et cette « virtualité augmentée » que constituent les objets posés sur la table. Karine Bécu-Robinault ajoute que malgré le fait que ce dispositif permette de réaliser des expériences impossibles dans des conditions réelles, il diminue cependant l'émission d'hypothèses et augmente les procédures par essai-erreur, ce qu'ont aussi noté Isabelle Girault et Cédric D'Ham (2014) dans l'environnement Copex-chimie sans tuteur. Ils comparent la réussite de trois groupes d'étudiants de première année d'université confrontés à la même tâche : élaborer un protocole expérimental pour déterminer la concentration en colorant d'un sirop de grenadine par spectrophotométrie. Ils montrent que l'utilisation de la plateforme numérique Copex-chimie comportant des étayages, ne conduit à la réalisation de protocoles cohérents ou aboutis que pour les étudiants qui ont aussi bénéficié d'un tuteur artificiel corrigeant leurs erreurs.

Dans ces dispositifs assez variés, aux objectifs divers, les possibilités d'action sur le réfèrent empirique offertes aux élèves sont plus vastes que s'ils y accédaient en réalisant effectivement l'expérience. Il en va tout autrement dans le cas de l'étude des phases de la Lune. La partie visible de la Lune depuis la Terre (article de Boivin-Delpieu et Bécu-Robinault) fait partie du vécu quotidien et constitue pourtant un réfèrent empirique sur lequel les élèves ne peuvent pas agir. Les enseignants utilisent alors un réel de substitution, une maquette reposant sur une modélisation prise en charge par l'enseignant P2, qui précise les approximations à réaliser pour construire la maquette alors que l'enseignant P1 ne le fait pas dans un premier temps, ce qui conduit les élèves à construire des maquettes qui valident leurs hypothèses bien que non conformes au savoir académique. Ce type de difficulté ne peut pas survenir dans le cas d'un réfèrent empirique virtuel dans la mesure où il repose sur une simulation construite par des spécialistes.

Avec l'utilisation de simulations pour donner à voir des phénomènes inaccessibles en contexte scolaire, que ce soit les mutations génétiques (article de Marzin-Janvier) ou les effets relativistes (article de Maisch *et al.*), il ne s'agit plus de reproduire une expérience réalisable par les élèves. Les apprenants manipulent (au sens premier du terme) une représentation du réfèrent empirique virtuel alors que dans le cas de la table tactile, ils manipulent aussi les objets réels de la « virtualité augmentée », ce qui ajoute à la complexité. Dans le « laboratoire de police scientifique » implanté dans la plateforme SCY-lab que présente Patricia Marzin-Janvier, le réfèrent empirique, un gel d'électrophorèse, est photographié afin que la photographie puisse être annotée via la plateforme et les diverses animations et ressources à disposition des élèves jouent un rôle de réfèrent empirique virtuel selon l'auteure, qui ne rapporte pas de confusion ou de difficulté d'utilisation.

L'article de Clément Maisch, Isabelle Kermen, Cécile de Hosson et Étienne Parizot aborde l'utilisation de vidéos simulant des situations cinématiques relativistes, qui sont irréalisables au laboratoire ou en classe, pour faire appréhender les concepts de cette cinématique à des étudiants. L'objectif de l'étude consiste à déterminer si les choix effectués sont pertinents, en matière d'angle de vue, de déplacement de l'observateur d'une part et en termes de mobilisation d'éléments conceptuels relevant de la physique de la lumière et de la relativité restreinte d'autre part. Contrairement aux situations d'enseignement rapportées dans les autres articles de ce dossier, il s'agit d'une étude exploratoire, réalisée hors contexte d'enseignement universitaire et selon la méthode d'entretien instrumenté devant un écran d'ordinateur avec commentaire à voix haute, le chercheur qui présente les vidéos effectuant un guidage faible. Les simulations présentées correspondent à l'enregistrement de séances réalisées dans un environnement immersif virtuel en trois dimensions (un CAVE) mis au point lors du projet EVEILS. Les scènes observées sur l'écran d'ordinateur concernent toutes, le mouvement horizontal sans frottement de deux ou trois palets sur un billard et le point de vue de l'observateur est imposé mais change d'une vidéo à l'autre. Ces vidéos constituent un référent empirique dont la manipulation « est contrainte et limitée » à des relances de la scène, des arrêts sur image. Chaque vidéo correspond à une focalisation sur un aspect particulier (décalage des collisions des palets avec la bande du billard, différence de vitesse d'un palet à l'aller et au retour, etc.), bien que tous les phénomènes sur lesquels l'attention de l'étudiant sera portée, soient visibles dans toutes les vidéos et résultent par ailleurs d'une superposition des effets relevant de la durée de propagation de la lumière et des effets minkowskiens. Les étudiants utilisant la latitude, qui leur est laissée, d'agir sur le référent empirique, les moments de mise en pause sont l'occasion pour certains d'une observation à voix haute suivie d'une relance de la vidéo pour rechercher une cause à l'effet identifié.

Pour les étudiants qui ont su mobiliser des explications pertinentes en lien avec la vision des objets, l'explicitation et l'articulation des éléments conceptuels fournis pour expliquer les phénomènes diminuent au fur et à mesure du visionnage des vidéos. Les auteurs attribuent cela à la nécessité d'effectuer des raisonnements incluant davantage de variables covariantes, et aussi pour des points différents d'un même palet. Ces deux aspects constituent alors les difficultés identifiées par l'étude. L'échec de la passation de la dernière vidéo (aucun étudiant ne parvient à expliquer l'origine des palets floutés) amène les auteurs à repenser les conditions dans lesquelles l'étude a été menée, en proposant que cette vidéo soit passée en premier avec un guidage plus fort de l'intervieweur.

La succession des vidéos dont chacune devait favoriser l'explication d'un phénomène particulier s'apparente à la pré-structuration des tâches proposée par Patricia Marzin-Janvier pour étayer la conception d'un protocole expérimental, puisqu'il s'agissait d'aborder les phénomènes par ordre de complexité croissante, chaque explication pouvant reprendre les mêmes éléments conceptuels que les précédentes mais appliqués à un plus grand nombre de grandeurs.

Conclusion

Le recours au numérique, même s'il présente des avantages considérables (travail sur des objets inaccessibles), comporte néanmoins une forme de limite inhérente à sa constitution car il ne peut traiter ce qui n'a pas été prévu par les concepteurs. Cela signifie que la conception de ces outils doit reposer sur des résultats de recherches antérieures balisant les raisonnements des apprenants pour en anticiper un grand nombre possible et que des études pilotes sont nécessaires pour évaluer l'usage avant d'envisager une dissémination.

Ces évolutions d'ordre technique ouvrent de nombreuses perspectives et des nouvelles possibilités pour l'enseignement et l'apprentissage des sciences et des technologies. En supposant que la question de leur coût et de leur diffusion ne se pose pas, il n'en reste pas moins qu'il faut déterminer les apports spécifiques de chaque dispositif, et les aides ou médiations spécifiques de l'enseignant. Cela renouvelle aussi les possibilités de représentations sémiotiques utilisées et pose de nouvelles questions concernant la coordination de ces champs sémiotiques par les élèves, ce qui est à lui seul un champ de recherche en didactique des sciences.

Dans les articles présentés, il n'est pas question du rôle de l'enseignant lors de la prise en main d'environnements numériques, cela reste un champ de recherche à investir. Isabelle Girault et Cédric D'Ham (2014) suggèrent qu'en classe l'enseignant apporte aussi des aides qui s'ajouteront à celles du tuteur numérique et qu'il en résulterait une synergie bienvenue pour des tâches aussi complexes qu'une conception de protocole expérimental.

Que ce soit dans les articles de ce dossier ou dans d'autres études, lors de la mise en œuvre d'expériences réelles, certains choix didactiques de l'enseignant sous-tendus par ses présupposés épistémologiques orientent la séance, pas nécessairement d'une façon attendue par l'institution. La formation épistémologique et didactique des enseignants de sciences est à développer pour qu'ils puissent s'approprier de façon critique et raisonnée de nouvelles séquences, qu'elles intègrent des expériences réelles ou virtuelles. La recherche sur de telles formations est à initier.

Patricia Marzin-Janvier
patricia.marzin@imag.fr

Isabelle Kermen
isabelle.kermen@univ-artois.fr

Bibliographie

ABRAHAM I. & REISS M. J. (2012). Practical work: its effectiveness in primary and secondary schools in England. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 49, n°8, p. 1035-1055.

- BATAILLE X., BEAUVINEAU E., CHEYMOL N., MAS V. & VIGNERON M. (2009a). Un TP de chimie analytique en séquence d'investigation. *L'Actualité chimique*, n°333, p. 42-47.
- BATAILLE X., BEAUVINEAU E., CHEYMO N., MAS V. & VIGNERON M. (2009 b). La démarche d'investigation pour motiver les étudiants. Exemple d'un TP sur la spectroscopie infrarouge. *L'Actualité chimique*, n°334, p. 41-47.
- BEAUFILS D., RICHOUX H. & CAMGUILHEM C. (1999). Savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation d'instruments informatisés dans des activités de travaux pratiques de physique. *Aster*, n°28, p. 131-147.
- BÉCU-ROBINAULT K. (2015) Teaching and learning physics with a tangible user interface. A case study concerning coloured lights. *ESERA conference 2015*, Helsinki 31 août-4 septembre 2015.
- BRUNER J. (1983). *Le développement de l'enfant : savoir-faire, savoir dire*. Paris : Presses universitaires de France.
- CALMETTES B. (2009). Démarche d'investigation en physique. *Spirale*, n°43, p. 139-148.
- CHINN C.A. & MALHOTRA B.A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, n°86, p. 175-218.
- COQUIDÉ M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, n°26, *L'enseignement scientifique vu par les enseignants*, p. 110-132.
- COQUIDÉ M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'HDR, Orsay : université Paris-Sud.
- COQUIDÉ M., FORTIN C. & RUMELHARD G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, n°79, p. 49-76.
- CROSS D. & GRANGEAT M. (2014). Démarches d'investigation : analyse des relations entre contrat et milieu didactiques. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, n°10, p. 155-182.
- D'HAM C., GIRAULT I., MARZIN P. & WAJEMAN C. (2013). LabBook, un environnement informatique, pour l'apprentissage humain. *Conférence, EIAH 2013*.
- DE JONG T., VAN JOOLINGEN W. R., GIEMZA A., GIRAULT I., *et al.* (2010). Learning by creating and exchanging objects: the SCY experience. *British Journal of Educational Technology*, vol. 41, n°6, p. 909-921.
- DOREY S. (2012). *Les logiciels de visualisation moléculaire dans l'enseignement*

des sciences de la vie : conceptions et usages. Thèse de doctorat, Cachan : ENS Cachan.

- DOREY S., BLONDEL F.M. & BRUILLARD É. (2013). Common uses of molecular visualization software in secondary school: reaching a saturation point. In R. McBride & M. Searson (éd.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2013*, Chesapeake : Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), p. 3122-3130.
- ETKINA E., KARELINA A., RUIBAL-VILLASENOR M., ROSENGRANT D., JORDAN R. & HMELO-SILVER C. E. (2010). Design and reflection help students develop scientific abilities: learning in introductory physics laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, n°19, p. 54-98.
- FLAVELL J. H. (1987). Speculations about the nature and development of metacognition. In R. H. Weinart & F. E. Kluwe (éd.), *Metacognition, Motivation and Understanding*, Hillsdale : Lawrence Erlbaum.
- GIRAULT I. & D'HAM C. (2014). Scaffolding a Complex Task of Experimental Design in Chemistry with a Computer Environment. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 23, n°4, p. 514-526.
- GIRAULT I. & D'HAM C., NEY M., SANCHEZ É. & WAJEMAN C. (2012). Characterizing the experimental procedure in science laboratories: a preliminary step toward students experimental design. *International Journal of Science Education*, vol. 34, n°6, p. 825-854.
- HAURAT S. (2015) Une activité expérimentale d'investigation en trois séances pour découvrir les titrages acido-basiques. *L'Actualité chimique*, n°392, p. 29-32.
- HEINRICH L. & BENASKAR M. (2014) Titrages acido-basiques en TP d'investigation. *L'Actualité chimique*, n°384, p. 38-45.
- KERMEN I. & BARROSO M. T. (2013). Activité ordinaire d'une enseignante de chimie en classe de terminale. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, n°8, p. 91-114.
- KERMEN I. & COLIN P. (2014). Comparaison de l'activité de trois enseignantes lors d'une séance sur les piles en classe de terminale. In *8^e rencontres scientifiques de l'ARDIST*, Marseille, vol. 18, n°2, p. 115-123.
- LARCHER C. & GOFFARD M. (2004). *L'expérimental dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes*. Paris : INRP.
- LE MARÉCHAL J.-F. & BÉCU-ROBINAULT K. (2006). La simulation en chimie au sein du projet Microméga®. *Aster*, n°43, p. 81-108.
- LINN M. C. & BAT-SHEVA E. (2011). *Science Learning and Instruction: Taking*

- Advantage of Technology to Promote Knowledge Integration*. Londres : Routledge.
- MARZIN-JANVIER P. (2013). *Comment donner du sens aux activités expérimentales?* Mémoire HDR, Grenoble : université Joseph-Fourier.
- MARZIN P. & DE VRIES E. (2013). Students' design of biometric procedures in biology in upper secondary school. *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 23, n°2, p. 361-376.
- MILLAR R. (2004). *The role of practical work in the teaching and learning of science. High school science laboratories: Role and vision*. Washington : National academy of sciences.
- MONOD-ANSALDI R. & PRIEUR M. (2011). Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie. *Rapport d'enquête*, Lyon : ENS de Lyon, IFÉ, 151 p.
- MORGE L. & BOILEVIN J.-M. (2007). *Séquences d'investigation: physique-chimie : au collège et au lycée*. Clermont-Ferrand : SCEREN-CRDP Auvergne.
- RIOPEL M., RAÏCHE G., POTVIN P., FOURNIER F. & NONNON P. (2006). Une approche intégrée de la modélisation scientifique assistée par l'ordinateur. *Aster*, n°43, p. 57-79.
- 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*. Commission européenne, direction de la recherche, 22 p.
- SAAVEDRA R., MARZIN P. & GIRAULT I. (2013a). Étude de l'évolution des conceptions sur la génétique et analyse de la problématisation chez des élèves de troisième impliqués dans une situation d'investigation policière. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, n°7, p. 77-106.
- SANCHEZ E., MONOD-ANSALDI R., DEVALLOIS D. & MARZIN P. (2010). Concevoir des protocoles expérimentaux en sciences de la vie et de la Terre. Deux expérimentations en classe de terminale. *Biologie géologie*, n°1, p. 135-147.
- SÉJOURNÉ A. (2003). Éléments théoriques pour la conception d'un hypermedia en sciences physiques et pour l'analyse de l'activité des élèves : le cas des phénomènes sonores. *Didaskalia*, n°23, p. 65-99.
- SÉRÉ M.-G. (2002). Towards renewed research questions from the outcomes of the European project labwork in science education. *Science Education*, n°86, p. 624-644.
- TIBERGHIEEN A., VEILLARD L., LE MARÉCHAL J.-F., BUTY C. MILLAR R. (2001). An ana-

lysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, vol. 85, n°5, p. 483-508.

TRIQUET É. & GUILLAUD J.-C. (2011). Démarches scientifiques et démarches d'investigation : point de vue d'enseignants stagiaires de l'IUFM. In M. Grangeat (éd.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*, Lyon : ENS de Lyon, p. 63-76.

VENTURINI P., CALMETTES B., AMADE-ESCOT C. & TERRISSE A. (2007). Analyse didactique des pratiques d'enseignement de la physique d'une professeure expérimentée. *Aster*, n°45, p. 211-234.

VENTURINI P. & TIBERGHIE A. (2013). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège. *Revue française de pédagogie*, n°180, p. 95-120.

ZION M. & SADEH I. (2007). Curiosity and open inquiry learning. *Journal of Biological Education*, vol. 41, n°4, p. 162-168.