



HAL
open science

Étude didactique de l'impact d'un dispositif de formation continue à un enseignement des sciences fondé sur l'investigation

Valérie Munier, Manuel Bächtold, David Cross, Aurélie Chesnais, Céline Lepareur, Karine Molvinger, Marc Gurgand, André Tricot

► To cite this version:

Valérie Munier, Manuel Bächtold, David Cross, Aurélie Chesnais, Céline Lepareur, et al.. Étude didactique de l'impact d'un dispositif de formation continue à un enseignement des sciences fondé sur l'investigation. RDST - Recherches en didactique des sciences et des technologies , 2021, 23, pp.109-136. 10.4000/rdst.3730 . hal-03542056

HAL Id: hal-03542056

<https://hal.science/hal-03542056v1>

Submitted on 25 Jan 2022

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

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

Étude didactique de l'impact d'un dispositif de formation continue à un enseignement des sciences fondé sur l'investigation

Valérie Munier

LIRDEF, université de Montpellier et université Paul Valéry Montpellier 3, France
valerie.munier@umontpellier.fr

Manuel Bächtold

LIRDEF, université de Montpellier et université Paul Valéry Montpellier 3, France
manuel.bachtold@umontpellier.fr

David Cross

LIRDEF, université de Montpellier et université Paul Valéry Montpellier 3, France
david.cross@umontpellier.fr

Aurélie Chesnais

LIRDEF, université de Montpellier et université Paul Valéry Montpellier 3, France
aurelie.chesnais@umontpellier.fr

Céline Lepareur

Haute École pédagogique du canton de Vaud, Suisse
celine.lepareur@hepl.ch

Karine Molvinger

Institut Charles Gerhardt Montpellier, univ. Montpellier, CNRS, ENSCM, Montpellier, France
Karine.Molvinger-Verger@umontpellier.fr

Marc Gurgand

CNRS-Paris School of Economics, France
marc.gurgand@psemail.eu

André Tricot

Université Paul Valéry Montpellier 3, France
andre.tricot@univ-montp3.fr

Cet article présente et discute les principaux résultats d'un projet visant à évaluer l'impact d'un parcours de formation à un enseignement des sciences fondé sur l'investigation, adressé à des enseignants du 1er degré en poste. L'étude porte sur les pratiques des enseignants et sur les apprentissages des élèves, leur motivation pour les sciences et leur vision des sciences. Ce parcours a été élaboré, piloté et mis en œuvre par la fondation « La main à la pâte » dans le cadre de ses *Maisons pour la science*, indépendamment des chercheurs

impliqués dans l'étude de son impact. Il s'agit ici de présenter, d'une part, la manière dont l'équipe de chercheurs, associant didacticiens des sciences, psychologues et économistes de l'éducation, s'est emparée de la demande d'évaluation de l'impact de ce dispositif de formation et, d'autre part, les résultats de l'étude. Nous décrivons tout d'abord le protocole de recherche, associant analyses qualitatives et quantitatives. Nous précisons ensuite les outils théoriques et méthodologiques développés : pour étudier l'évolution des connaissances et capacités des élèves, de leur motivation pour les sciences et de leur vision des sciences ; pour étudier l'évolution des connaissances (notamment didactiques et épistémologiques) et des *pratiques déclarées* des enseignants ; pour caractériser les formations et interpréter les liens entre formation, connaissances et pratiques des enseignants. Puis, nous présentons les résultats des analyses qui montrent un effet très limité du parcours de formation à la fois sur les apprentissages des élèves et sur les pratiques des enseignants. Les analyses qualitatives des formations permettent de proposer des pistes d'explication de ces effets et de questionner les hypothèses qui sous-tendent ce parcours. Enfin, nous proposons des pistes de réflexion sur les modèles de formation des enseignants en sciences.

: évaluation, professionnalisation, connaissances, attitudes, pratiques, école élémentaire, épistémologie

Study of the impact of a training program for in-service primary teachers on inquiry-based science teaching: impact on students/impact on teachers

This paper presents and discusses the main results of a study aimed at evaluating the impact of a training program for in-service primary school teachers on their practices and on the learning of pupils, their motivation regarding science and their view of science. The goal of this program is to develop inquiry-based science teaching in the classrooms. It was developed and managed by the Foundation "La main à la pâte" and implemented within the framework of the "Maisons pour la science," independently of the researchers involved in the study of its impact. In this paper, we present how the team of researchers, associating scholars in science education, psychology and educational economics, tackled the question of evaluating the impact of this training device and the results of the study. We first describe the research protocol, combining qualitative and quantitative analyses. We then specify the theoretical and methodological tools developed: to study the evolution of students' knowledge and skills, their motivation regarding science and their view of science, the evolution of teachers' knowledge (especially in relation to teaching and epistemology) and declared practices; and to characterize the trainings and interpret the links between training, teachers' knowledge and practices. Next, we present the results of the analyses that show a very limited effect of the training program on both students' learning and teachers' practices. The qualitative analyses of the training courses allow us to propose explanations for the limited effects of the training program studied and to

question the hypotheses underlying this program. Finally, we propose avenues for reflection on models of teachers' training in science.

: evaluation, professionalisation, knowledge, attitudes, practice, inquiry science teaching strategies, elementary school, epistemology

Introduction

Dans cet article, nous présentons le bilan du projet de recherche interdisciplinaire FORMSCIENCES¹, associant des chercheurs en didactique des sciences², en psychologie des apprentissages³ et en économie de l'éducation⁴. Il vise à évaluer l'impact d'un parcours de formation continue sur les pratiques des enseignants et, *in fine*, sur les apprentissages des élèves, leur motivation pour les sciences et leur vision des sciences. Le parcours de formation étudié vise à former les enseignants à un enseignement des sciences fondé sur l'investigation, préconisé à l'école élémentaire et dans l'enseignement secondaire en France comme dans de nombreux pays depuis une vingtaine d'année (Boilevin, 2013 ; Calmettes, 2012 ; Coquidé, Fortin & Rumelhard, 2009). Il a été conçu et mis en œuvre par les « Maisons pour la science », liées à la fondation « La main à la pâte ». Ces Maisons sont implantées régionalement au sein des universités et mettent en œuvre des formations continues à destination des enseignants de l'école primaire et du collège. Ces formations sont pour la plupart relativement courtes (de quelques heures à une semaine). La fondation La main à la pâte a souhaité en 2014 mettre en place un parcours plus long de développement professionnel et a sollicité un suivi par la recherche de ses effets : c'est ce suivi qui fait l'objet du projet FORMSCIENCES dont nous présentons ici le bilan. Les chercheurs en charge de l'étude de l'impact du parcours n'ont donc pas été impliqués dans son élaboration. Ce parcours a été mis en œuvre pour la première fois dans les Maisons pour la science d'Auvergne, de Lorraine et du Midi-Pyrénées, implantées dans les universités de Clermont-Ferrand, Lorraine et du PRES de Toulouse à partir de 2015. L'étude a porté sur la première mise en œuvre du parcours dans ces trois Maisons. Il est depuis déployé plus largement dans d'autres Maisons.

Nous présentons tout d'abord le parcours de formation analysé (partie 1), puis le protocole de recherche élaboré (partie 2), associant analyses qualitatives et quantitatives. Dans la partie 3, nous exposons le volet du projet portant sur les effets sur les élèves, qui vise à étudier l'évolution de leurs connaissances et capacités, de leur motivation pour les sciences et de leur vision des sciences. La partie suivante est dédiée au « volet enseignants » du projet (partie 4). Elle comprend une étude quantitative de l'évolution des connaissances, de la vision des sciences et des *pratiques déclarées*⁵ des enseignants (partie 4.1) et des analyses qualitatives (partie 4.2)⁶. Ces dernières s'inscrivent dans une démarche compréhensive. Elles ont pour objectif de caractériser les formations et d'interpréter les liens entre formation, connaissances et pratiques des enseignants pour tenter de comprendre les effets de la formation sur les pratiques des enseignants et les apprentissages des élèves susceptibles d'être mis en évidence par les analyses

¹ Ce projet, piloté par Marc Gurgand, a été financé par l'Agence nationale de la Recherche dans le cadre de la convention ANR-13-APPR-0004-02.

² M. Bächtold, A. Chesnais, D. Cross, C. Lepareur, K. Molvinger et V. Munier.

³ H. Djeriouat et A. Tricot, laboratoire CLLE (Cognition, langue, langage, ergonomie), université de Toulouse.

⁴ S. Bellue, A. Bouguen et M. Gurgand, École d'économie de Paris.

⁵ Nous reviendrons plus loin sur ce que nous appelons ici les « pratiques déclarées ».

⁶ Nous expliciterons plus loin les raisons de ces choix.

quantitatives. Pour ces différentes analyses, nous présentons tout d'abord les éléments de cadrage théorique et les outils méthodologiques développés puis les résultats obtenus. Notons que certains résultats ont été publiés à des étapes intermédiaires de la recherche, nous y ferons référence le cas échéant. Il s'agit ici de rassembler dans un document de synthèse l'ensemble des résultats du projet, en renvoyant le lecteur aux différents textes (articles, rapports) publiés, dans lesquels ces résultats sont présentés de manière plus détaillée, et de les mettre en perspective. Pour cela, nous donnons un aperçu de l'ensemble du projet et nous détaillons davantage, d'une part, les éléments méthodologiques permettant de comprendre la manière dont les résultats ont été obtenus, et ainsi leur portée et leurs limites, et, d'autre part, certains pans de la recherche qui nous semblent les plus pertinents pour alimenter la réflexion sur la formation des enseignants. Ces analyses nous permettent de proposer dans la partie discussion des pistes d'explication des effets limités du parcours de formation étudié et de questionner les hypothèses qui sous-tendent ce parcours, puis de proposer des pistes de réflexion sur les modèles de formation des enseignants en sciences.

1. Description du parcours de formation analysé

Le parcours étudié comprend 80 heures de formation réparties sur deux ans. Il est adressé aux enseignants de l'école primaire de cycle 3⁷ (élèves de 9 à 11 ans). À l'instar des autres formations des Maisons pour la science, il entend « faire évoluer durablement les pratiques d'enseignement des sciences à l'école primaire [en mettant] l'accent sur une vision cohérente des sciences expérimentales et d'observation ainsi que des mathématiques [...] » et, en développant chez les enseignants « une représentation concrète de la science contemporaine, de ses processus de pensée et d'action » (Maisons pour la science, 2018⁸). La stratégie préconisée consiste à mettre les enseignants en « contact direct avec la science et ses acteurs » (*ibid.*). Cela se traduit par le fait que les actions de développement professionnel des Maisons sont construites et conduites par des intervenants issus du monde éducatif et du monde scientifique ou technique. Le parcours est composé de plusieurs modules thématiques d'une ou deux journées et d'un dernier module dédié à la démarche d'investigation (DI). Ces modules de formation sont pris en charge selon les cas par des formateurs ESPE⁹, des enseignants chercheurs en sciences dites « dures » (biologie, physique, mécanique, etc.)¹⁰, des enseignants de l'école élémentaire ou du collège et/ou des responsables de centres ressources. À la suite de certains modules, les enseignants sont accompagnés pour mettre en œuvre dans leurs classes des séquences sur les thématiques travaillées (par exemple, les machines simples, l'astronomie et le bois), soit par le ou les formateurs ayant animé les modules, soit par des étudiants en sciences dans le cadre du

⁷ Le cycle 3 au début de l'étude incluait les classes de CE2, CM1 et CM2. Depuis la réforme des programmes de 2016 le CE2 fait partie du cycle 2.

⁸ <<https://www.maisons-pour-la-science.org/node/4398>> (consulté le 21 mars 2021).

⁹ Les ESPE (École supérieure du professorat et de l'éducation) étaient, de 2013 à 2019, des composantes universitaires chargées de la formation des enseignants en France. Les formateurs ESPE intervenant dans les parcours étudiés étaient des enseignants du second degré soit en poste à l'ESPE à temps plein soit en poste à temps partagé entre l'ESPE et un établissement scolaire. Notons que les ESPE comprennent également des enseignants chercheurs, notamment en didactique des sciences, mais ces derniers ne sont pas intervenus dans ces parcours.

¹⁰ Que nous appellerons dans la suite « scientifiques ».

dispositif ASTEP¹¹. Ils peuvent également interagir entre eux à distance via un forum. L'organisation de l'une des deux formations ayant fait l'objet d'une analyse qualitative est présentée en tableau 1 à titre d'exemple.

Thème de la session	Durée	Organisation	Formateurs
Machines simples*	6 h en présentiel, 2 h d'accompagnement pédagogique et scientifique, 1 h de préparation avec l'accompagnateur Présence de l'accompagnateur en classe pendant la séquence	Collectif et groupes	Un formateur ESPE et un formateur de terrain + un accompagnateur ASTEP
Lumière/astronomie	12 h en présentiel	Collectif et groupes	Un scientifique et un formateur ESPE
Objets techniques	6 h en présentiel	Collectif et groupes	Un formateur ESPE
Bois	12 h en présentiel + 2 h d'accompagnement pédagogique et scientifique	Collectif et groupes	Un scientifique et un formateur de terrain
DI	3 h	Collectif	Un formateur ESPE et un formateur de terrain

Tableau 1 : description succincte du parcours de formation mis en place dans l'une des Maisons

La plupart des modules de formation comprennent des temps d'apports scientifiques sur les notions en jeu (e.g. biodiversité, mécanique, astronomie), puis des temps lors desquels les enseignants sont mis en situation de vivre des activités proches de celles qui pourraient être proposées aux élèves. Ils disposent ensuite d'un temps plus ou moins long selon les modules pour travailler sur l'adaptation de ces activités à la classe, pouvant aller de quelques minutes à plus d'une heure.

2. Protocole de l'étude

Dans cette partie, nous donnons une vision globale du protocole et des analyses réalisées. L'étude comprend deux volets, le premier centré sur les élèves, le second sur les enseignants. Elle croise une étude qualitative, reposant sur le suivi de quelques enseignants, avec une étude quantitative. Cette dernière repose sur la comparaison statistique d'un groupe test et d'un groupe témoin. Dans deux Maisons le parcours a été déployé en 2015-2016 et 2016-2017 (cohorte 1), dans la troisième la mise en place a été décalée d'un an (cohorte 2). L'étude s'est déroulée sur 3 ans afin d'étudier le dispositif de formation et ses effets à court terme et une année après la fin du parcours. La temporalité des différents recueils est présentée en figure 1 pour la cohorte 1 (il est en partie décalé pour la cohorte 2).

¹¹ Accompagnement en sciences et technologie à l'école primaire.

* déroulement de la journée de formation (à titre d'exemple) : après une première situation visant une remise à niveau disciplinaire, les enseignants sont mis en situation d'élèves pour trouver des techniques permettant d'ordonner les intensités des forces exercées par la Terre sur les objets puis pour étudier les effets de différentes machines simples (plan incliné, poulie, palan et levier).

L'étude quantitative concerne les élèves et les enseignants de trois Maisons pour la science. 134 enseignants de CE2, CM1 et CM2, volontaires pour participer au projet, ont été répartis par tirage au sort en deux groupes : un groupe test qui a suivi la formation et un groupe témoin qui ne l'a pas suivie. Les deux groupes d'enseignants et leurs élèves (2 500 environ chaque année) ont été interrogés en début et en fin d'année pendant deux ans, par le biais de questionnaires développés dans le cadre du projet la seconde année de la formation et l'année qui a suivi la formation. Ces questionnaires sont présentés dans les parties 3.1. (volet élèves) et 4.1.1. (volet enseignants). Ils comprennent uniquement des questions fermées pour les questionnaires élèves et une majorité de questions fermées et quelques questions ouvertes pour les questionnaires enseignants. Des enquêteurs, recrutés dans le cadre du projet, ont testé les élèves via des tablettes sur leurs connaissances et capacités en sciences, leur motivation pour les sciences et leur vision des sciences (VOS)¹². Les enseignants ont été interrogés sur leur formation initiale et leur carrière (Q0), leurs pratiques déclarées d'enseignement des sciences, leurs connaissances sur l'enseignement des sciences et leur VOS. Le questionnaire Q0 a été passé en ligne avant le début de la formation, les autres questionnaires sur tablettes numériques pendant les passations des tests élèves. Ces questionnaires et les raisons de ces choix sont présentés par la suite.

L'étude qualitative est centrée sur les enseignants. Elle a été menée dans deux Maisons. Les formations y ont été filmées intégralement et quatre enseignants ont été suivis dans chaque Maison¹³. Des séquences de sciences ont été filmées dans leurs classes avant la formation, à plusieurs reprises en cours de formation et l'année suivant la fin de la formation. Le corpus pour cette étude qualitative comprend plus de 150 h de vidéos. Des entretiens complémentaires ont également été menés avec trois enseignants à l'issue de la formation.

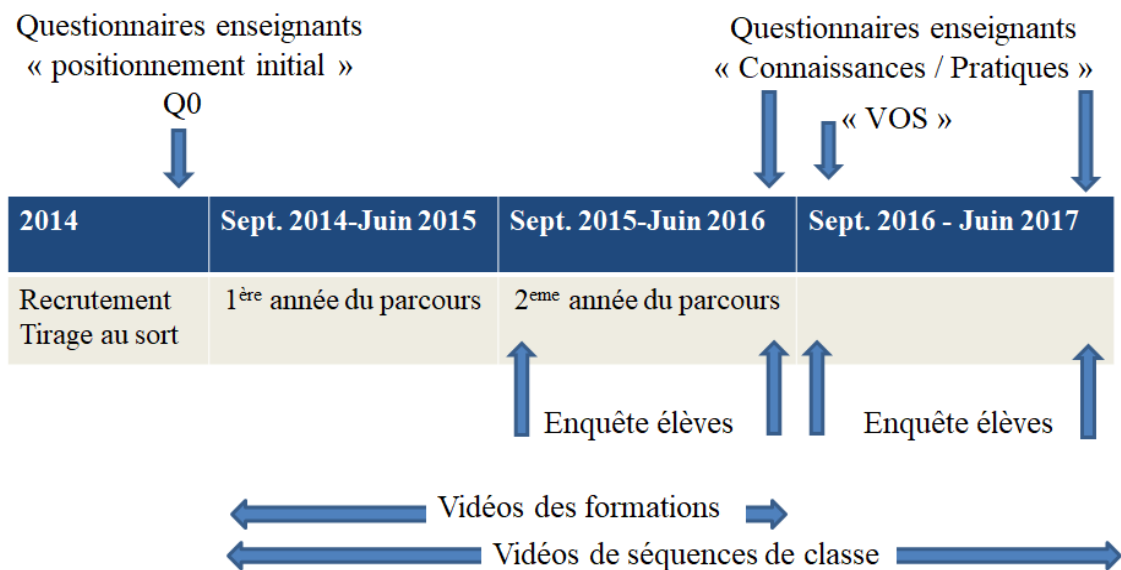


Fig. 1 : protocole de l'étude

¹² Nous justifierons plus loin les raisons de ces choix.

¹³ Deux enseignants sont sortis du protocole de ces analyses au cours de la formation pour des raisons diverses (maladie, désengagement dans la formation).

3. Étude de l'impact de la formation sur les élèves

Concernant les élèves, rappelons que nous avons réalisé une étude quantitative basée sur la comparaison des réponses des élèves dont les enseignants suivaient la formation (groupe test) avec celles d'élèves dont les enseignants ne suivaient pas la formation (groupe témoin). Nous présentons tout d'abord la manière dont nous avons élaboré les différents questionnaires, portant sur les connaissances et capacités en sciences, la motivation pour les sciences et la vision des sciences des élèves, en illustrant notre propos par des exemples pour chaque catégorie de question¹⁴. Nous présentons ensuite les résultats des analyses.

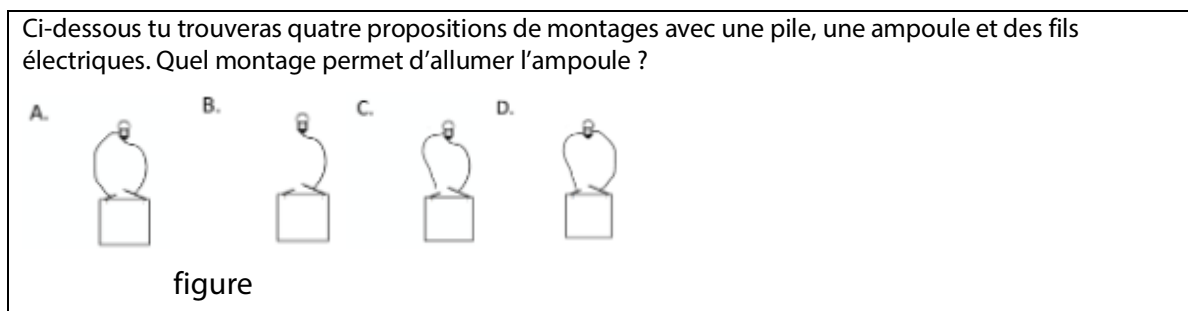
3.1. Élaboration des questionnaires élèves

Pour élaborer les questionnaires élèves, nous avons fait le choix d'utiliser, à chaque fois que cela a été possible, des questions issues de tests standardisés déjà existants, validés statistiquement, dans une perspective d'inscription de ce travail dans la littérature internationale. Pour cela nous nous sommes appuyés sur une étude bibliographique de grande ampleur réalisée par l'un des membres du projet, Hakim Djeriouat (2015).

3.1.1. Connaissances et capacités en sciences

En ce qui concerne les connaissances et capacités en sciences des élèves, nous avons également pris en compte la littérature abondante en didactique des sciences sur les conceptions des élèves pour élaborer des questions originales sur certains sujets, lorsque ces conceptions n'étaient pas prises en charge par les tests standardisés. Ils comprennent des questions sur les connaissances scientifiques visées dans les différents domaines des sciences (physique, sciences de la vie et de la Terre et technologie). Un exemple de question élaborée par l'équipe, portant sur les circuits électriques, est donné dans l'encadré 1. Les questions portent sur l'ensemble des parties des programmes en vigueur au moment de l'étude (MEN, 2008) : le ciel et la Terre, la matière, l'énergie, l'unité et la diversité du vivant, le fonctionnement du vivant, le fonctionnement du corps humain et la santé, les êtres vivants dans leur environnement et les objets techniques.

Encadré 1 : question portant sur les connaissances des élèves



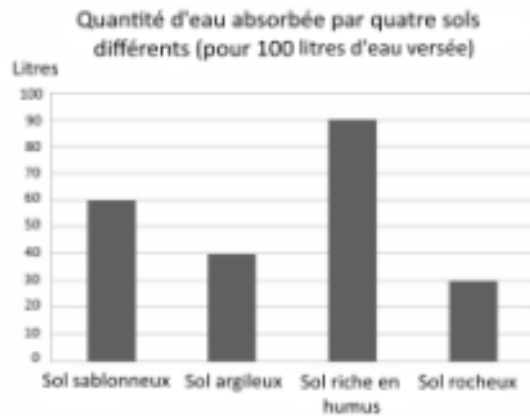
Les questionnaires visent également à évaluer le niveau de maîtrise de certaines capacités spécifiques liées à la DI que nous avons classées en deux catégories : « Maîtrise de procédures d'investigation » et « Construction d'un raisonnement à partir d'informations présentées dans un document scientifique ». Ci-dessous sont donnés deux exemples de questions portant sur deux capacités : lecture de graphique et isolement des variables, issues de deux

¹⁴ L'ensemble des questionnaires sont disponibles sur demande aux auteurs et seront mis en ligne. Notons que des modifications mineures des questionnaires ont été réalisées au cours de l'étude pour clarifier certaines formulations.

tests standardisés (Criterion-referenced competency test CRCT, Géorgie¹⁵ pour la première, et Projet 2061 de l'American Association for the Advancement of Science, USA¹⁶, pour la seconde).

Encadré 2 : questions portant sur la lecture de graphique et l'isolement des variables

Guillaume veut choisir une bonne terre pour préparer son pot de fleur. Pour ça il veut choisir le type de terre qui restera le plus humide après arrosage. Il teste quatre types de terre (quatre sols) et obtient les résultats qui sont décrits par le diagramme présenté ci-dessous.



Diagramme

D'après le diagramme combien de litres d'eau un sol sablonneux est-il capable d'absorber ?

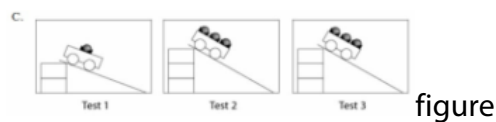
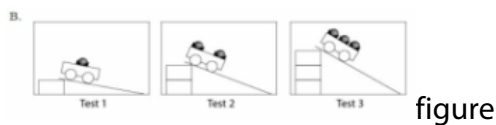
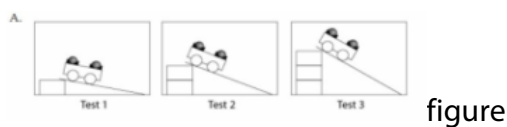
- A. 30 litres
- B. 40 litres
- C. 60 litres
- D. 90 litres

Quel sol Guillaume doit-il choisir pour préparer son pot de fleur ?

- A. Le sol sablonneux
- B. Le sol argileux
- C. Le sol riche en humus
- D. Le sol rocheux

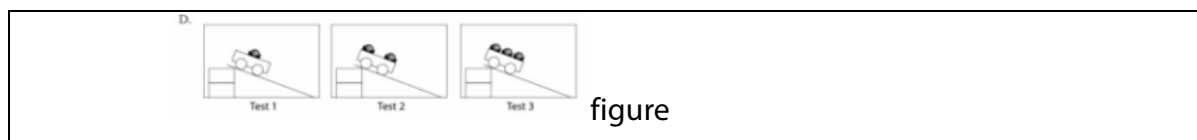
*

Un camarade veut faire une expérience pour tester une idée. L'idée est que plus une voiture est lourde, plus vite elle descendra une rampe. Pour cela ton camarade peut changer la masse de la voiture en ajoutant des billes (une bille, deux billes ou trois billes) et il peut aussi changer la hauteur de la rampe en ajoutant des étages (1 étage, 2 étages, 3 étages). Pour tester son idée, ton camarade hésite entre ces quatre possibilités. Que lui conseilles-tu de choisir entre les solutions A, B, C ou D ?



¹⁵ <http://www.gadoe.org/Curriculum-Instruction-and-Assessment/Assessment/Pages/CRCT.aspx>

¹⁶ <http://assessment.aaas.org/topics>



3.1.2. Motivation pour les sciences

Une autre partie du questionnaire élèves portait sur la motivation des élèves pour les sciences, dont le développement est un enjeu affiché du parcours et de la fondation La main à la pâte plus généralement. En lien avec les sciences, on peut conceptualiser la motivation des élèves comme renvoyant à des représentations sur les sciences, des affects liés à ces représentations et des comportements vis-à-vis des sciences qui découlent de ces affects. Certains auteurs parlent ainsi plutôt d'« attitudes envers les sciences » pour embrasser ces différents aspects de la motivation. Dans notre questionnaire, nous nous sommes largement inspirés de l'outil développé par Kind, Jones et Barmby (2007) sur les attitudes envers les sciences, qui décompose ce concept en sept dimensions : trois dimensions, « apprendre les sciences à l'école », « travail pratique en sciences » et « les sciences à l'extérieur de l'école », permettent d'examiner les attitudes des élèves envers les activités d'apprentissage des sciences dans différents contextes (dans la classe et en dehors de la classe) ; la dimension « importance des sciences » permet d'étudier les représentations des élèves concernant la valeur des sciences en général ; la dimension « estime de soi en sciences » porte sur les capacités que les élèves s'attribuent concernant les activités de sciences à l'école ; la dimension « participation future aux sciences » renseigne sur les attitudes des élèves concernant un engagement futur dans le domaine des sciences ; et une dimension « attitude générale vis-à-vis de l'école » que nous n'avons pas considérée dans notre questionnaire car non spécifique aux sciences.

En encadré 3, nous présentons quatre exemples de questions. La première relève de la dimension « travail pratique en sciences », la seconde de la dimension « les sciences à l'extérieur de l'école », la troisième de la dimension « estime de soi en sciences » et la quatrième de la dimension « participation future aux sciences ». Pour chaque item, les élèves devaient se positionner sur une échelle de Likert en 5 points (de « tout à fait d'accord » à « pas du tout d'accord »).

Encadré 3 : exemples de questions portant sur la motivation des élèves pour les sciences

- Je préfère apprendre les sciences en faisant des expériences ;
- J'aime lire des magazines et des livres de sciences ;
- Je me débrouille bien en sciences ;
- Plus tard, j'ai l'intention de faire des études de sciences (physique, médecine, ingénieur, etc.).

3.1.3. Vision des sciences

Enfin une partie du questionnaire portait sur la vision des sciences des élèves, en lien avec un objectif affiché de La main à la pâte et des Maisons pour la science de développement d'« une vision cohérente des sciences » et de l'« esprit scientifique » des élèves. Les questions soumises aux élèves renvoient à des points d'épistémologie consensuels, identifiés dans la littérature relevant de ce qui est communément appelé « Nature of Science ». Pour limiter la longueur du questionnaire, nous avons restreint le nombre de points d'épistémologie retenus. Nous avons choisi des points jugés accessibles pour des élèves du cycle 3 et relevant à la fois de la nature des connaissances scientifiques et de la nature des pratiques scientifiques, sans distinction entre les

deux, pour les raisons qui seront développées dans la partie 4.1.1. Ainsi, nous ne reprenons pas la séparation tranchée préconisée par Lederman *et al.* (2002, 2014) et nous adoptons une approche qui considère ces deux aspects des sciences comme étant intimement liés, dans la ligne de Clough (2011) ou Hodson (2014). Le point d'épistémologie principal que nous avons retenu est l'ancrage empirique des sciences, c'est-à-dire l'idée que les sciences se distinguent des autres pratiques humaines par l'importance de l'expérience ou de l'observation dans la constitution et la validation des assertions scientifiques. Nous avons décliné ce point en plusieurs questions en lien respectivement avec :

- la nature scientifique ou non d'une question en fonction de la possibilité d'y « répondre par une démarche scientifique » ;
- le rôle du protocole expérimental ;
- la reproductibilité des résultats et le rôle des instruments.

Un second point d'épistémologie portait sur le rôle des modèles en sciences. Le troisième et dernier point concernait la distinction entre fait et opinion pour une série d'assertions du type « L'eau gèle quand on la met au congélateur » ou « Le jus d'orange a un meilleur goût que le jus de pomme ». Ci-dessous un exemple de question, élaborée par l'équipe, portant sur l'ancrage empirique des sciences :

Encadré 4 : questions portant sur l'ancrage empirique des sciences

Deux élèves veulent savoir lequel des deux a la trousse la plus lourde. Ils soupèsent les deux troussees et ils ne sont pas d'accord. Comment peuvent-ils faire pour être sûrs de leur conclusion ?

- A. Ils demandent au maître ou à la maîtresse ;
- B. Ils demandent à d'autres élèves de soupeser les troussees et prennent l'avis du plus grand nombre ;
- C. Ils soupèsent à nouveau les deux troussees en changeant de main ;
- D. Ils utilisent une balance.

3.1.4. Validation des questionnaires

Ces questionnaires ont été discutés collectivement au sein de l'équipe puis présentés à l'équipe de direction de La main à la Pâte, ce qui a conduit à plusieurs ajustements et à la suppression et à l'ajout de certaines questions. Par exemple, nous avons ainsi ajouté l'item « J'aime démonter mes jouets pour essayer de comprendre comment ils fonctionnent. » dans la partie sur la motivation pour les sciences. Ces questionnaires ont été testés auprès de 500 élèves « hors protocole » dans l'académie de Toulouse pour sélectionner les items les plus pertinents par l'équipe des psychologues du développement (Hakim Djeriouat et André Tricot) : ces tests nous ont permis de nous assurer du fait que les questions étaient bien compréhensibles pour les élèves (Djeriouat, 2015) et dans certains cas de les reformuler légèrement, et de valider statistiquement les items. Nous avons également supprimé certaines questions qui n'étaient pas discriminantes ou au contraire trop difficiles. La durée de passation du questionnaire était limitée à 45 minutes (la plupart des élèves avaient fini avant la fin). Certaines questions étaient posées à tous les niveaux de classe, d'autres seulement à certains niveaux.

3.2. Résultats de l'étude des effets sur les élèves

Dans cette partie, nous présenterons les principaux résultats des analyses statistiques, réalisées par les chercheurs en économie de l'éducation (S. Bellue, A. Bouguen et M. Gurgand) sans

entrer dans les détails de ces analyses. Pour le lecteur souhaitant davantage de précisions sur la méthodologie et les résultats (e.g. les tableaux statistiques que nous ne présentons pas ici), nous renvoyons à l'article Bellue *et al.*¹⁷.

Pour chacune des dimensions testées (connaissances et capacités en sciences, motivation pour les sciences et vision des sciences), un indice a été construit et validé. Les analyses reposent sur la comparaison statistique des performances des élèves des classes test et témoin à la fin de la deuxième année du parcours et de l'année suivant la fin du parcours, l'équivalence des groupes ayant été vérifiée en début de deuxième année (comparaison de moyennes à l'aide d'un test de Student). Les analyses ne sont donc pas menées question par question mais sur des groupements de questions : « connaissances », « capacités », « motivation » et « vision des sciences »¹⁸.

Ces analyses montrent un effet, assez limité, sur les connaissances des élèves la seconde année du parcours, qui disparaît l'année suivante. En revanche, nous n'observons pas de différence significative entre les groupes test et témoin concernant les capacités des élèves, ni à la fin de la formation ni l'année suivante, ni sur leur vision des sciences. En ce qui concerne la motivation des élèves, nous observons, lors de la seconde année du parcours, une légère baisse non significative, et lors de l'année suivante, à nouveau une légère baisse, mais qui est cette fois significative. Cette baisse est globale et concerne les différentes sous-dimensions de la motivation prises ensemble.

La comparaison des groupes tests et témoin ne permet donc pas de mettre en évidence d'effet significatif du parcours de formation sur les performances des élèves, qu'il s'agisse des connaissances, des capacités ou de leur vision des sciences, voire même un effet négatif sur leur motivation pour les sciences.

4. Étude de l'impact de la formation sur les pratiques des enseignants

4.1. Étude quantitative

Dans cette partie, nous présentons tout d'abord notre arrière-plan théorique et la méthode employée pour élaborer les questionnaires à destination des enseignants, arrière-plan qui soutient également les analyses qualitatives présentées dans la partie 4.2. Pour chaque catégorie de questions, nous donnons un ou plusieurs exemples pour illustrer notre propos¹⁹.

4.1.1. Élaboration des questionnaires enseignants

Outre des questions sur leur parcours professionnel avant le début de la formation et leur appréciation de celle-ci pendant et un an après la fin de la formation²⁰, les questionnaires

¹⁷ Bellue S., Bouguena A., Gurgand M., Munier V. & Tricot A., Teacher Training Program, Teacher Practices and Student Performance in Science: Evidence from a Randomized Study in French Primary Schools, article soumis.

¹⁸ Les résultats pour chaque question seront disponibles sur demande aux auteurs.

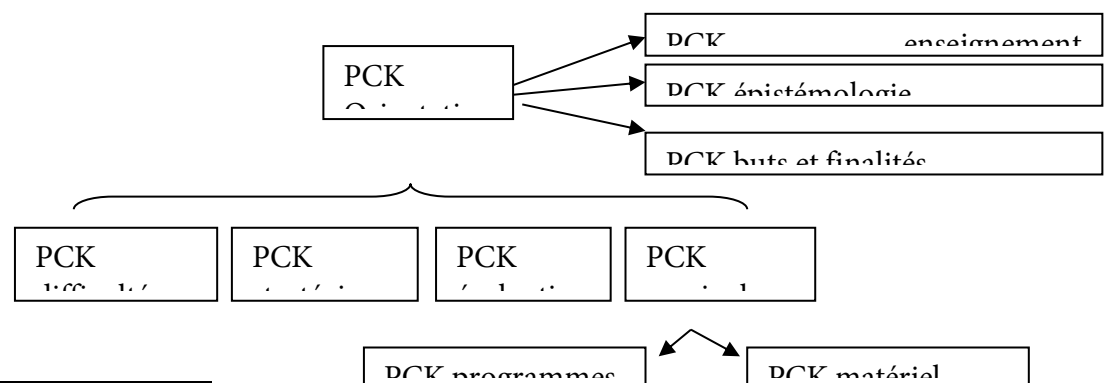
¹⁹ Les questionnaires sont disponibles sur demande aux auteurs. Notons que des modifications mineures des questionnaires ont été réalisées au cours de l'étude pour clarifier certaines formulations.

²⁰ Appréciation générale ou des différentes modalités (séances en présentiel, accompagnement, forum, etc.).

enseignants comportaient plusieurs parties portant sur leurs connaissances, sur leurs pratiques et sur leur vision des sciences, en lien avec les objectifs du parcours. Ils ont été conçus par les didacticiens des sciences. Selon les phases de la recherche, les différentes parties des questionnaires ont été passées simultanément ou non (cf. protocole général de la recherche, figure 1). Les questions sur les pratiques et sur les connaissances ont systématiquement été posées conjointement. Des questions portant de manière assez factuelle sur les séquences de sciences menées dans l'année (temps moyen dédié chaque semaine à l'enseignement des sciences, thèmes du programme traités, nombre de séances, présence ou non de manipulations pour chaque thème, etc.) ont également été posées à différents moments, nous ne les développerons pas ici²¹.

4.1.1.1. Connaissances des enseignants

Sur le plan théorique, nous sommes partis de l'hypothèse, largement partagée, que les pratiques enseignantes mettent en jeu des connaissances, notamment des connaissances didactiques, susceptibles d'avoir un effet sur les apprentissages disciplinaires des élèves (Van Driel, Verloop & De Vos, 1998). Nous avons donc mobilisé le cadre des *Pedagogical Content Knowledge*, appelées dans la suite « PCK » (Shulman, 1986). Nous faisons l'hypothèse d'une part que ces PCK sont un des déterminants des pratiques, nous y reviendrons plus loin, d'autre part qu'une formation implique le développement des connaissances des enseignants. Certains chercheurs considèrent même qu'un programme de développement professionnel doit se donner pour objectif explicite de développer des PCK (Fernandez, 2014), cela n'est pas le cas dans le parcours étudié²². Pour caractériser ces PCK, nous avons utilisé le modèle de Magnusson (Magnusson, Krajcik & Borko, 1999) complété avec les travaux de Friedrichsen, Van Driel et Abell (2011). Cela nous a amenés à considérer les composantes de PCK suivantes, présentées dans la figure 2 : connaissances sur les difficultés des élèves, sur les stratégies d'enseignement, sur l'évaluation, sur le curriculum (en distinguant ce qui relève des programmes et du matériel), ces quatre composantes étant chapeautées par une composante « orientation pour l'enseignement des sciences », comprenant les conceptions sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences, sur la nature des sciences (ce qui renvoie à l'épistémologie) et sur les buts et finalités de l'enseignement des sciences. Nous nous sommes appuyés sur cette catégorisation pour élaborer les questionnaires à destination des enseignants et pour les analyses qualitatives des formations et des séances de classe.



²¹ Elles ont été associées aux différents questionnaires selon les années avec des passations soit à la fin de l'année scolaire en jeu, soit au tout début de l'année suivante.

²² Le seul objectif explicite par la direction de la fondation que l'on pourrait formuler en termes de « connaissances professionnelles » des enseignants est le développement de leur vision des sciences.

Fig. 2 : catégorisation des PCK retenue pour les analyses

Bien que cela n'en soit pas un objectif explicite, il s'agissait ici de voir si la formation conduisait, bien que cela n'en soit pas un objectif explicite, à un développement des PCK des enseignants, dans la mesure où nous considérons qu'une évolution des pratiques est nécessairement associée²³ à une évolution des connaissances. À cette fin, nous nous sommes basés sur les catégories de PCK présentées ci-dessus pour élaborer des questions portant sur chacune de ces catégories. Ces questions portaient sur les orientations pour l'enseignement des sciences (voir par exemple la question ci-dessous portant sur les buts et finalités de l'enseignement des sciences, encadré 5), sur les difficultés des élèves (avec par exemple des questions sur les conceptions), sur l'évaluation et sur les stratégies, en ciblant ces dernières questions sur la DI avec notamment des questions sur les différents modes d'investigation, l'élaboration des problèmes à investiguer, l'émission et la prise en compte des hypothèses, l'institutionnalisation, la modélisation, et les liens sciences-société (voir l'exemple dans l'encadré 6 sur le rôle du problème). En ce qui concerne les PCK épistémologie, elles ont été évaluées dans un volet indépendant du questionnaire portant sur la vision des sciences (voir plus bas).

Encadré 5 : question sur les buts et finalités de l'enseignement des sciences

Différentes finalités peuvent être attribuées à la mise en œuvre de démarches d'investigation en classe. Quelle importance accordez-vous à chacune des finalités suivantes ?

- déconstruire des connaissances initiales erronées ;
- développer l'autonomie des élève ;
- développer des connaissances sur la démarche d'investigation ;
- développer leur capacité à mettre en œuvre une démarche scientifique ;
- développer la vision des sciences des élèves.

Les enseignants devaient classer chacune de ces finalités sur une échelle d'importance : très important, important, moyennement important, pas important, je ne sais pas.

Encadré 6 : question sur les buts et finalités de l'enseignement des sciences

Parmi les rôles possibles du problème dans une séquence de sciences, indiquez ceux qui vous paraissent importants ou pas :

- introduire un sujet d'étude ;
- motiver les élèves ;
- justifier la mise en œuvre d'une investigation ;
- justifier l'élaboration d'un protocole ;
- guider la mise en œuvre d'une démarche ;
- donner sens aux investigations ;
- impliquer les élèves dans la construction de leurs connaissances

Les enseignants devaient classer chacun de ces rôles possibles du problème sur une échelle d'importance : très important, important, moyennement important, pas important, je ne sais pas.

Ce volet du questionnaire comportait quasi exclusivement des questions fermées, du fait du nombre élevé de questions et d'enseignants interrogés (134), et du temps limité qui pouvait leur être alloué pour répondre (les questionnaires étaient complétés par les enseignants pendant les

²³ Nous ne présumons pas ici d'un lien de causalité entre évolution des pratiques et des connaissances dans un sens ou dans un autre.

passations élèves, de manière à nous assurer des conditions individuelles de passation et à avoir un taux de réponse au questionnaire de près de 100 %). Quelques questions ouvertes portaient sur les connaissances des enseignants sur les conceptions des élèves, elles ont fait l'objet d'un travail spécifique qui ne sera pas développé ici (Cross *et al.*, 2019). L'échelle de réponse était une échelle d'importance avec quatre modalités, pour obliger les enseignants à se positionner, allant de très important à pas important, avec également une modalité « Je ne sais pas ».

4.1.1.2. Pratiques déclarées

Ce volet du questionnaire portait sur ce que nous appelons ici les « pratiques déclarées » des enseignants. Ces questions ne nous renseignent pas directement sur les pratiques des enseignants, les pratiques étant contextualisées et donc dépendantes des situations. En effet, nous considérons que les pratiques ont un caractère spécifique, même si certains aspects peuvent être génériques, et qu'une étude des pratiques nécessite d'analyser la situation à partir de traces de l'activité (observation à l'aide d'enregistrements vidéo par exemple), ce que nous avons fait dans la partie « analyses qualitatives » de cette étude. En les interrogeant dans cette partie de l'étude sur leurs pratiques par voie de questionnaires, les enseignants donnent à voir un ensemble d'éléments : ce qu'ils pensent pouvoir rendre public de leurs pratiques ou de leur vision du métier, ce qui est souhaitable, ce qui peut constituer de bonnes pratiques, etc. Pour une discussion plus détaillée concernant notre positionnement sur les pratiques « déclarées » et les pratiques « effectives », nous renvoyons à l'article de Cross *et al.* (2019).

Dans cette partie du questionnaire, les enseignants ont été interrogés sur leur ressenti concernant leurs pratiques de l'enseignement des sciences, sur les difficultés qu'ils peuvent éprouver dans la mise en œuvre des DI, puis sur la manière dont ils gèrent différentes phases de la DI (problématisation, émission d'hypothèses, débat et argumentation, institutionnalisation). Ils ont également été interrogés sur le travail qu'ils mènent (ou pas) sur les modèles, les liens sciences-société, les conceptions, et enfin sur leurs pratiques d'évaluation. Pour construire ces questions sur les pratiques, nous nous sommes inspirés d'un ensemble de travaux en didactique des sciences sur la DI telle qu'elle est envisagée dans le contexte français (Boilevin, 2013 ; Calmettes, 2012 ; Cariou, 2011 ; Coquidé, Fortin & Rumelhard, 2009 ; Fabre & Orange, 1997 ; Grangeat, 2013 ; Marlot & Morge, 2015 ; Monod-Ansaldi & Prieur, 2011). Cette partie du questionnaire comportait quasi exclusivement des questions fermées, pour les mêmes raisons que pour la partie « connaissances », ces deux questionnaires étant passés simultanément. L'échelle de réponse est ici une échelle de fréquence avec quatre modalités : systématiquement, souvent, parfois et jamais. Ci-dessous, nous donnons un exemple de question portant sur la manière dont les enseignants prennent en compte les conceptions des élèves (encadré 7).

Encadré 7 : question portant sur le travail mené en classe sur les conceptions des élèves

Au cours de cette année scolaire avez-vous mené un travail sur les conceptions des élèves :

- à travers une confrontation des conceptions des élèves ;
- en leur donnant le statut d'hypothèses à tester ;
- en les confrontant aux résultats des investigations ;
- en les rediscutant lors de la phase de bilan ;
- en amenant chaque élève à revenir sur ses conceptions initiales.

Les enseignants devaient classer ces modalités de travail sur une échelle de fréquence : systématiquement, souvent, parfois, jamais.

4.1.1.3. Vision des sciences

Une partie de l'étude concernait plus spécifiquement la vision des sciences des enseignants, dans la mesure où il s'agit d'un élément mis en avant par La main à la pâte. Pour évaluer l'impact de la formation sur la vision des sciences, nous avons construit un questionnaire spécifique en nous appuyant sur la littérature (Bächtold, Cross, & Munier, 2019). Les questionnaires VNOS et VASI (Lederman *et al.*, 2002, 2014), conçus pour évaluer la vision des élèves ou des enseignants respectivement sur la nature des connaissances scientifiques et sur les pratiques scientifiques, constituent des instruments de référence qui ont été validés et utilisés dans de nombreuses études, c'est pourquoi nous les avons choisis comme point de départ. Cependant, si on les considère avec attention, il apparaît que les deux ensembles de points d'épistémologie qui sont en jeu dans ces deux questionnaires se recouvrent partiellement. Par exemple, VNOS et VASI portent tous deux sur l'ancrage empirique des sciences, sur la charge théorique des données ou encore sur le mythe de la méthode scientifique unique. Sur le plan théorique, ce recouvrement montre la difficulté à distinguer de façon tranchée les points d'épistémologie qui relèvent du statut des connaissances stabilisées et ceux qui relèvent des processus de construction de ces connaissances. En outre, le choix des points d'épistémologie opéré pour le questionnaire VNOS a fait l'objet de plusieurs objections (Allchin, 2011 ; Hodson, 2014 ; Matthews, 2012) : certains de ces points sont débattus dans le champ de l'épistémologie (par exemple, la distinction entre théories scientifiques et lois), d'autres apparaissent trop subtils ou non essentiels dans le contexte scolaire (par exemple, la distinction entre *scientific data* et *scientific evidence*²⁴) et à l'inverse, certains points d'épistémologie jugés importants par certains épistémologues ne sont pas pris en compte (par exemple, le statut des modèles). Pour ces différentes raisons, nous avons développé un questionnaire original, appelé VOS (pour « *View Of Science* »), qui reprend une partie des points d'épistémologie de VNOS et VASI et qui en intègre de nouveaux. L'ensemble des points retenus figure dans le tableau 2. Les neuf premiers points sont considérés comme consensuels en épistémologie des sciences, les deux derniers font l'objet de controverses (VOS10 et VOS11).

VOS1	Les connaissances scientifiques sont ancrées empiriquement
VOS2	Il n'existe pas de méthode scientifique unique
VOS3	Les investigations scientifiques sont motivées et guidées par des questions et des problèmes
VOS4	Les connaissances scientifiques sont toujours provisoires
VOS5	Les sciences interagissent avec le contexte socio-économique et culturel
VOS6	Les données empiriques sur lesquelles se basent les connaissances scientifiques sont toujours chargées de théorie
VOS7	Les modèles construits par les scientifiques sont distincts de la réalité empirique
VOS8	Les erreurs peuvent jouer un rôle constructif dans le développement des sciences
VOS9	Les interactions entre les scientifiques contribuent activement à la construction et la validation des connaissances scientifiques
VOS10	Réalisme <i>versus</i> instrumentalisme concernant le rôle des modèles
VOS11	Relativisme ou rejet du relativisme concernant l'influence du contexte socio-économique et culturel sur la construction des connaissances scientifiques

Tableau 2 : Les points d'épistémologie étudiés dans le cadre du questionnaire VOS (ou Q2)

Cette partie du questionnaire a été construite en fonction des deux contraintes liées à notre protocole de recherche pour la partie quantitative : le nombre élevé d'enseignants interrogés

²⁴ Données scientifiques et preuves scientifiques.

(134) et le temps limité qui pouvait leur être alloué pour y répondre (entre 20 et 30 minutes). Nous avons ainsi combiné des questions fermées et ouvertes. Les questions ouvertes donnent l'occasion aux enseignants de répondre de façon libre sur des exemples concrets et permettent en principe d'accéder à une compréhension plus en profondeur de leur vision des sciences. Les questions fermées, quant à elles, garantissent un meilleur taux de réponse et sont plus simples à analyser. Soulignons que les nombreuses études dans le domaine ont mis en lumière des conceptions récurrentes chez les enseignants que nous avons pu traduire dans les réponses proposées aux questions fermées, évitant ainsi des réponses qui seraient imaginées *a priori* par le chercheur expert en épistémologie et qui ne feraient pas sens pour les enseignants. Par exemple dans une question fermée sur le géocentrisme et l'héliocentrisme, une réponse proposée (« La description géocentrique n'est qu'un modèle alors que la description héliocentrique est conforme à la réalité ») équivaut à ne pas admettre que toute représentation de la réalité, qu'elle soit validée ou non, est nécessairement une modélisation de cette réalité. Par ailleurs, nous avons inclus des questions générales et des questions liées à des contextes spécifiques (sur l'atomisme et sur le système Terre-Soleil). Chaque question est pensée pour apporter des informations sur la vision des enseignants concernant plusieurs points d'épistémologie. Inversement, la vision des enseignants sur chaque point d'épistémologie est évaluée par le biais de plusieurs questions.

Le questionnaire ainsi construit comporte 9 questions, dont certaines sont composées de plusieurs sous-questions. À titre d'exemple, voici une question qui apporte des informations sur VOS1, VOS4 et VOS7 :

Encadré 8 : exemple de question ouverte issue du questionnaire VOS

Une description de la matière comme étant constituée d'atomes avait été proposée par certains philosophes de la Grèce antique. Elle a ensuite été abandonnée pendant plusieurs siècles. Une description en termes d'atomes a finalement été adoptée par les scientifiques au début du XX^e siècle.

Quelles sont les raisons possibles, selon vous, qui peuvent expliquer que cette description ait été acceptée au début du XX^e siècle ? Notons qu'il n'est pas nécessaire pour répondre à cette question d'avoir des connaissances scientifiques et/ou historiques sur le sujet.

Sur chaque point d'épistémologie, nous avons développé une échelle d'expertise. Les enseignants ont été catégorisés comme étant « novices », « plutôt novices », « plutôt experts », « experts » ou « avec une expertise différente selon le contexte ». Cette catégorisation repose sur une méthode de codage impliquant une combinaison d'informations issues de plusieurs réponses.

Pour valider le questionnaire, nous avons procédé en deux étapes : premièrement, en discutant l'ensemble des questions avec des enseignants du primaire (3 enseignants expérimentés et 24 stagiaires), ce qui a permis de vérifier la compréhension des termes et du sens général des questions et a conduit à quelques ajustements ; deuxièmement, en soumettant le questionnaire à 10 experts en épistémologie, ce qui a permis de vérifier la validité de notre échelle de codage novice-expert. En revanche, nous n'avons pas cherché à satisfaire un critère de cohérence interne entre les questions apportant des informations sur un même point d'épistémologie, afin de laisser ouverte la possibilité que les enseignants se positionnent différemment sur un même point en fonction du contexte, ce qui est d'ailleurs ressorti comme un résultat de cette étude (Bächtold *et al.*, 2019).

4.1.2. Résultats concernant les effets sur les enseignants

Dans cette partie, nous présenterons les principaux résultats des analyses quantitatives, réalisées par les chercheurs en économie de l'éducation, sans rentrer dans les détails des analyses statistiques, comme dans le cas des questionnaires élèves. Pour le lecteur souhaitant davantage de précisions sur la méthodologie et les résultats, nous renvoyons également à l'article Bellue *et al.* (soumis).

Concernant les parties connaissances et pratiques, les analyses reposent sur la comparaison statistique des réponses des enseignants tests et témoins à la fin de la deuxième année du parcours et de l'année suivant la fin du parcours (comparaison de moyennes à l'aide d'un test de Student). Comme pour les questionnaires élèves, les analyses ne sont pas menées question par question mais portent sur des indices, validés statistiquement, construits en regroupant plusieurs questions²⁵ :

- pratiques concernant le problème ;
- connaissances sur le problème ;
- connaissances sur les hypothèses ;
- connaissances sur le lien modèle réalité ;
- prise en compte des conceptions des élèves ;
- pratiques d'évaluation en sciences ;
- connaissances sur l'évaluation en sciences.

Pour la partie VOS, cette comparaison statistique a été réalisée une seule fois au début de l'année suivant la fin du parcours de formation, en utilisant la catégorisation des réponses évoquée plus haut (4.1.1.).

La comparaison statistique des réponses des enseignants des groupes test et témoin montre très peu d'effets de la formation sur les dimensions étudiées au seuil choisi ($p < 0,05$). En ce qui concerne les pratiques déclarées, les enseignants tests déclarent faire davantage manipuler les élèves et construire plus de séquences autour d'un problème que les enseignants du groupe témoin l'année 2 mais cette différence n'est plus significative l'année qui suit la formation. La seule différence significative durable entre les enseignants des deux groupes concerne le temps hebdomadaire d'enseignement des sciences qui est légèrement supérieur pour le groupe test. Les analyses ne permettent pas de mettre en évidence de différence significative concernant les autres éléments concernant les pratiques, ni sur les connaissances sur l'enseignement des sciences et sur la vision des sciences des enseignants.

Notons que les scores plus élevés pour les connaissances des élèves la deuxième année de la formation pourraient être mis en relation avec le temps hebdomadaire d'enseignement des sciences un peu plus important (si les élèves font environ une séquence supplémentaire de sciences dans l'année, il n'est pas surprenant que leurs connaissances soient un peu plus importantes en fin d'année), mais cet effet sur les connaissances ne perdure pas l'année suivante.

Les analyses quantitatives montrent donc des effets très limités du parcours de formation, pour les élèves comme pour les enseignants. En revanche, les enseignants se déclarent très satisfaits de la formation. Par exemple, ils sont 77 % à ne pas être d'accord avec l'affirmation « Je ne me

²⁵ Les résultats pour chaque question seront disponibles sur demande aux auteurs.

sens pas encore prêt à concevoir des séquences par moi-même »²⁶ et ils sont 87 % à se déclarer plutôt ou tout à fait satisfaits de la formation.

4.2. Étude qualitative

Cette étude vise à décrire et analyser les formations pour tenter d'expliquer leurs effets limités sur les connaissances (didactiques et épistémologiques) ainsi que sur les pratiques des enseignants et sur les apprentissages des élèves.

4.2.1. Analyses des formations

Pour étudier l'impact du parcours de formation sur les connaissances et les pratiques des enseignants, nous avons considéré qu'il était nécessaire non seulement d'identifier les PCK en jeu dans la formation mais également de penser leur potentiel d'action sur les pratiques. Pour cela, nous avons articulé le modèle des PCK avec celui de la théorie de l'activité (Engeström, 1999), dans la continuité du travail présenté lors des journées de l'ARDIST 2018 (Lepareur *et al.*, 2018). Sur le plan méthodologique, les vidéos des formations ont été intégralement transcrites puis nous avons identifié systématiquement, dans un échantillon de trois modules de formations, les épisodes de PCK, c'est-à-dire les interventions, des formateurs ou des enseignants, dans lesquelles des PCK étaient explicitées. Pour caractériser ces PCK, nous avons utilisé la catégorisation présentée plus haut. Ces PCK ont ensuite été analysées pour tenter de caractériser leur potentiel d'action sur les pratiques. Pour cela, nous avons distingué les PCK renvoyant à un contenu spécifique (par exemple, en mécanique ou en électricité) et les PCK concernant plus généralement l'enseignement des sciences. De plus, nous avons différencié des PCK « non opérationnalisées » et « opérationnalisées », respectivement sans et en lien avec l'activité de l'enseignant en classe. Des extraits d'interventions de formateurs correspondant à des PCK codées selon ces deux critères sont donnés dans l'encadré 9.

Encadré 9 : exemples de codage de PCK

Exemple d'intervention d'un formateur correspondant à une PCK **non opérationnalisée** concernant **l'enseignement des sciences de manière générale**.

Bon je continue sur l'articulation avec la démarche d'investigation, l'idée c'était aussi d'organiser des phases de formulation dans un débat collectif, on en a déjà parlé, ça rejoint ce que je dis là aussi, les moments d'échanges, la question du débat dans l'investigation elle est relativement importante, c'est-à-dire qu'il s'agit à un moment donné qu'on puisse confronter les différents points de vue alors au début on va évidemment permettre les échanges pour que de l'interaction entre les individus puisse émerger les questions qui sont productives mais il y a bien aussi des moments quand les élèves font des hypothèses, par exemple qu'ils proposent des protocoles expérimentaux [...].

Exemple d'intervention d'un formateur correspondant à une PCK **opérationnalisée** (le formateur propose une manière de faire vivre cette stratégie en classe, cf. passage en gras) renvoyant à un **contenu spécifique** (ici l'effet d'un plan incliné, cf. passage souligné).

*Nous le propos c'est de se dire quand même **dans la classe il va falloir structurer des choses, stabiliser des choses dans la classe, récupérer une partie des productions des élèves pour pouvoir en discuter et se mettre d'accord au moins sur ce qu'on vient de dire là [...]** ce qui nous invite à faire évoluer le questionnement, se dire bon ben qu'est-ce qui favorise, qu'est-ce*

²⁶ L'échelle d'accord sur laquelle ils devaient se positionner était « non pas du tout, non pas tout à fait, oui plutôt, oui tout à fait d'accord ».

qui facilite, quels sont les paramètres du dispositif c'est-à-dire qu'est-ce qu'on peut changer sur le plan incliné pour finalement minimiser encore l'effort [...].

Les épisodes de PCK ont été codés et analysés systématiquement à l'aide du logiciel Transana. Des analyses statistiques ont permis de caractériser les trois modules de formation, sur la base de ce codage, et d'obtenir une cartographie de ces formations. Sans rentrer dans le détail des analyses, nous en retenons ici quelques faits saillants et nous montrons comment ils permettent de comprendre l'effet très limité des formations étudiées sur les pratiques, les connaissances et la vision des sciences des enseignants.

Certaines PCK, identifiées par la recherche comme particulièrement déterminantes des pratiques, sont très peu (voire pas) présentes dans les formations (PCK curriculum, buts et finalités et évaluation). Le fait notamment qu'il n'y ait pas de connaissances sur l'évaluation ne permet pas de doter les enseignants d'outils de diagnostic. Si des PCK sont bien en jeu dans les formations, plus de la moitié sont isolées, peu articulées, alors que la littérature montre l'importance de leur articulation, entre elles et avec d'autres types de connaissances, pour permettre une mise en œuvre efficace (Van Driel, Verloop & De Vos, 1998 ; Park & Chen, 2012). De plus, elles ne sont pas institutionnalisées (sauf cas particulier). Enfin, la majorité des épisodes de PCK intègre la composante stratégie, mais il s'agit essentiellement des stratégies des formateurs et elles sont présentées comme étant « les bonnes ». Quand les enseignants apportent des exemples issus de leurs pratiques, ils sont parfois discutés, la plupart du temps ignorés, et plus de la moitié des PCK ne sont pas opérationnalisées, c'est-à-dire sans lien avec l'activité de l'enseignant en classe. La question des modalités de mise en œuvre concrète des situations proposées dans les formations est ainsi majoritairement à la charge des enseignants. De façon plus globale, les analyses montrent que les deux parcours analysés sont organisés essentiellement en termes de transmission de situations de classe et ne sont pas structurés en termes de développement de connaissances professionnelles : les formations sont organisées par domaine scientifique (SVT, physique et technologie) et par thème (machines, bois, etc.) et on ne peut pas identifier de progression et de répartition des PCK qui feraient apparaître une logique de développement de ces connaissances.

En ce qui concerne plus spécifiquement la vision des sciences des enseignants, les analyses qualitatives des formations nous permettent de proposer plusieurs éléments d'explication : d'une part, les scientifiques qui interviennent dans les formations donnent parfois à voir leurs pratiques scientifiques et leur méthodologie (par exemple, un protocole expérimental pour identifier les facteurs favorisant la décomposition des feuilles dans une rivière), mais cela n'est pas systématique ; d'autre part, les questions épistémologiques sont très peu discutées explicitement (par exemple, le protocole sur la décomposition des feuilles repose sur un isolement des variables sans que cela soit expliqué par le scientifique présentant l'expérience) et la manière de les aborder en classe est rarement abordée. Or la littérature pointe la complexité du lien entre la vision des sciences des enseignants et leurs pratiques et la nécessité d'inclure des éléments explicites d'épistémologie dans les formations pour développer leur vision des sciences (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002).

4.2.2. Résultats concernant les pratiques des enseignants

Nous avons étudié, quand cela a été possible, les mises en œuvre par plusieurs enseignants des situations travaillées lors des modules de formation, de manière à analyser et à comparer leur appropriation de ces situations. Nous avons également étudié, chez trois enseignants, les mises en œuvre d'une même séquence, avant et après la formation.

4.2.2.1. Étude comparée de la mise en œuvre de séquences travaillées en formation par plusieurs enseignants

Trois études ont pu être menées, de manière plus ou moins poussée. Les autres modules de formation n'ont pas donné lieu à une mise en œuvre en classes des situations travaillées en formation, soit parce que les progressions des enseignants ne le permettaient pas (sujets déjà traités plus tôt dans l'année par exemple), soit parce que ces sujets ne correspondaient pas au niveau de classe des enseignants (phases de la Lune : sujet non adapté à des classes de CE2), soit parce que ces derniers ne souhaitaient pas les mettre en œuvre pour différentes raisons.

L'étude détaillée des mises en œuvre d'une situation travaillée en formation par trois enseignantes est présentée dans l'article de Chesnais, Cross et Munier (2017). Dans cette étude, nous avons utilisé le cadre des PCK présenté ci-dessus en croisant un point de vue interne et un point de vue externe, c'est-à-dire en étudiant les pratiques, d'une part, en référence aux objectifs de la formation et, d'autre part, sur la base de critères issus des résultats de la recherche en didactique des sciences. Nous avons identifié des connaissances visées par la formation (par exemple des PCK explicitées par les formateurs ou faisant l'objet de situations de formation proposées aux enseignants) et nous en avons cherché des traces dans les situations mises en œuvre par les enseignants en classe. Nous avons également analysé la mise en œuvre de ces situations par les enseignants dans leurs classes en termes de PCK puis nous sommes remontés à la formation pour y chercher des éléments permettant d'expliquer nos observations. Enfin nous avons choisi des éléments dont notre arrière-plan didactique nous permet de dire qu'ils sont déterminants pour les apprentissages des élèves et qui pourraient, voire devraient faire partie de ce qui est visé, et nous avons tenté de mettre en relation ce qui est fait dans les séquences et ce qui a été travaillé en formation sur ce point (par exemple l'émission d'hypothèses). Nos analyses montrent une grande variabilité dans les mises en œuvre, avec des adaptations des activités proposées en formation parfois non pertinentes en termes de potentiel d'apprentissage. Par exemple, lorsque les enseignantes sont amenées à adapter la consigne qui leur a été donnée en formation « ordonner les intensités des forces exercées par la Terre sur plusieurs objets », qui n'est pas utilisable telle quelle avec des élèves et dont l'adaptation n'a pas été discutée, une des enseignantes demande aux élèves de classer les objets selon l'effort nécessaire pour les soulever, les deux autres de « classer les 4 objets du plus léger au plus lourd ». Ces consignes, même si elles aboutissent au même classement, n'ont pas du tout les mêmes implications, ni en termes de savoirs en jeu ni pour la suite de la séquence, la dernière conduisant les élèves à proposer le recours à une balance, alors que l'objectif de cette activité est d'amener les élèves à trouver des moyens de comparer l'intensité de forces, et de ce fait elles « dénaturent » l'activité.

L'analyse des séquences menées suite aux deux autres modules de formation (sur le bois et la biodiversité) montre également des mises en œuvre très différentes selon les enseignants, qui se heurtent à des difficultés qui ne sont pas anticipées dans la formation. Il apparaît également que les situations d'enseignement proposées ne tiennent pas toujours compte des réalités de la classe et des contraintes des enseignants. Par exemple, dans une formation sur la biodiversité, le scientifique qui est intervenu a proposé aux enseignants une investigation à mener avec leurs élèves sur la décomposition des feuilles dans les rivières, qui nécessitait des sorties régulières dans une rivière ayant un débit suffisamment important pour suivre l'évolution de la décomposition des feuilles, sans prendre en considération la complexité de l'organisation de sorties scolaires et le problème de la proximité d'une rivière permettant cette investigation.

Notons par ailleurs que si les situations travaillées en formation sont effectivement mises en œuvre dans les classes lorsque les enseignants sont accompagnés, elles ne sont pas reconduites les années suivantes.

4.2.2.2. Étude comparée de la mise en œuvre de séquences avant et après la formation

Nous avons également filmé, chaque fois que cela a été possible, des séquences portant sur le même thème avant et après la formation. Cela a pu être fait avec trois des enseignants suivis (deux dans une des Maisons suivie et un dans l'autre), les autres n'ayant pas pu remettre en œuvre les séquences filmées avant formation, notamment du fait d'un changement de programme survenu pendant l'étude (avant la formation nous avons par exemple filmé des séquences sur la digestion et la circulation sanguine, ces sujets n'étant plus traités de la même manière dans les programmes). Les analyses de ces séances, notamment en ce qui concerne la mise en œuvre de démarches d'investigation (e.g. présence ou non des différentes phases caractéristiques de la DI²⁷, articulation de ces phases, discours sur la démarche), montrent peu d'évolution et/ou des évolutions dont nous faisons l'hypothèse qu'elles ne sont pas nécessairement pertinentes en termes d'apprentissages, par exemple une diminution du nombre de manipulations des élèves ou des problèmes de cohérence des séquences.

Ces différentes analyses des pratiques des enseignants (analyses de la mise en œuvre par plusieurs enseignants de situations vécues en formation et analyses de l'évolution des mises en œuvre d'une même séquence avant et après formation) montrent que les conditions de formation ne suffisent donc pas à garantir un effet « positif » uniforme et déterminant sur les pratiques des enseignants. Elles montrent d'une façon générale des effets limités de la formation, confirmant ainsi les résultats de l'étude quantitative. Notons que les enseignants interviewés plus d'un an après la fin de la formation considèrent eux-mêmes que le parcours n'a pas ou peu fait évoluer leurs pratiques.

5. Discussion

Nous revenons tout d'abord sur les résultats de l'étude avant de discuter des modèles de formation des enseignants.

Les résultats des études quantitative et qualitative montrent, un an après la fin de la formation, des effets limités de la formation sur les connaissances et les pratiques des enseignants et sur les apprentissages des élèves. Certes, comme dans toute évaluation, on peut questionner la pertinence des outils développés (questionnaires, grilles d'analyse, etc.), ces outils pouvant ne pas être suffisamment fins pour détecter des effets s'ils sont trop ténus. Cependant, ces résultats sont cohérents avec la littérature qui montre que les programmes de formation des enseignants mis en œuvre à grande échelle n'ont le plus souvent pas d'effet détectable ni sur les pratiques des enseignants ni sur les performances des élèves (Fryer, 2017). Notons par ailleurs que les enseignants engagés dans le protocole enseignaient davantage les sciences et faisaient davantage manipuler les élèves que la moyenne, ce qui peut limiter les marges de progression. De plus, le projet a porté sur la première mise en œuvre du parcours, et il est possible que les effets de ce type de formation puissent évoluer en fonction de la « maturité » de celle-ci. Enfin, l'une des limites de ce travail est que nous ne pouvons pas conclure sur d'éventuels effets à plus

²⁷ Il ne s'agit pas ici de comparer ce que font les enseignants avec un canevas figé de la DI tel qu'on peut le trouver dans certains textes officiels (par exemple dans les programmes du collège publiés dans le *BOEN* spécial n° 6 du 28 août 2008), mais en référence avec les phases que la littérature en didactique considère comme constitutives d'une DI : appropriation d'un problème par les élèves, émission d'hypothèse quand cela est pertinent au vu du problème retenu, investigation par les élèves pouvant prendre différentes formes (expérimentation, modélisation, recherche documentaire etc.), structuration des connaissances (au sens large).

long terme, du fait de la temporalité du projet, même si nos analyses ne laissent pas présager de telles évolutions.

Au-delà des résultats concernant l'impact de ce parcours de formation, qui faisait l'objet du projet FORMSCIENCES, cette étude nous a amenés à développer une réflexion théorique et des outils méthodologiques permettant de caractériser une formation et d'étudier ses effets sur les pratiques enseignantes. Les analyses réalisées nous ont permis de formuler des hypothèses pour expliquer les effets limités du parcours étudié et nous amènent dans cette discussion à questionner certains de ses présupposés, qui ne semblent pas efficaces du point de vue de l'évolution des connaissances et des pratiques des enseignants :

- le fait que l'intervention de chercheurs en sciences dites « dures » (physique, biologie, etc.) suffise pour développer la vision des sciences des enseignants et l'influence de cette vision des sciences sur leurs pratiques ;
- -le fait de penser les formations en termes de transmission de situations, sans prise en compte des pratiques effectives des enseignants ;
- le fait de penser l'évolution des connaissances ou des pratiques des enseignants seulement au niveau des enseignants, et pas également au niveau des équipes ou établissements.

Plus généralement, cela pose la question de l'ingénierie de formation qui préside à l'organisation du parcours et du modèle de formation qui le sous-tend. Ici le modèle de formation implicite semble être celui d'une formation par homologie (Houdement & Kuzniak, 1996), c'est-à-dire basée sur l'imitation, l'enseignant devant mettre en place en classe des situations inspirées de celles qu'il a pu vivre en formation, avec ajout de PCK « au fil de l'eau » : les PCK sont apportées par les formateurs au fil de la formation mais elles ne font pas l'objet de situations de formation visant leur construction ni d'une institutionnalisation. Cela nous amène à considérer que la formation n'est pas sous-tendue par un modèle de construction de ces PCK par les enseignants. Il semble ainsi y avoir une contradiction entre le modèle de l'apprentissage des élèves mis en avant par La main à la pâte et celui qui semble sous-tendre le parcours de formation pour les enseignants, la reconstruction de la logique sous-jacente à l'activité du point de vue didactique étant à la charge des enseignants. Ce modèle de formation est également en « rupture » avec les modèles qui se développent dans les recherches en didactique avec les ingénieries didactiques de seconde génération (Perrin-Glorian & Bellemain, 2016), de type coopératives (Sensevy, 2011), ou encore dans les recherches qui considèrent qu'il faut penser en termes d'enrichissement plutôt que de transformation des pratiques, travailler avec les enseignants, partir de leurs pratiques, donnant ainsi une place centrale aux pratiques des enseignants (voir par exemple Robert & Vivier, 2013). Il ne s'inscrit pas non plus dans les courants de recherche qui considèrent que le changement des pratiques d'enseignement nécessite une objectivation des pratiques (par exemple le modèle du praticien réflexif de Schön, 1993). Dans la formation étudiée, tout se passe comme si les formations ne visaient qu'à enrichir ou compléter les connaissances disciplinaires des enseignants et à leur proposer des situations « clé en main » sans chercher à développer de manière structurée des connaissances liées à la mise en œuvre en classe, qu'il s'agisse de connaissances didactiques ou de connaissances pédagogiques générales. Ainsi cette formation continue semble être essentiellement conçue comme l'association d'une formation disciplinaire et de l'apport de situations utilisables en classe, comme si le transfert à la classe de ces situations ne nécessitait pas une prise en charge explicite dans la mesure où la formation s'adresse à des enseignants ayant plusieurs années d'expérience. Plusieurs remarques des formateurs vont d'ailleurs dans

ce sens (« vous êtes des experts », « je ne vous apprend rien ») lorsqu'ils parlent du transfert à la classe, les formateurs semblant considérer que l'adaptation de l'activité vécue en formation à la classe est « facile » pour des enseignants expérimentés et n'a pas besoin d'être prise en charge par la formation.

Ajoutons que les recherches sur la DI montrent que la manière dont les enseignants « devraient » mettre en œuvre cette approche de l'enseignement pour favoriser les apprentissages des élèves est loin d'être évidente. Les données de PISA 2015 analysées de façon globale semblent montrer que la DI serait moins efficace qu'un enseignement dirigé (Cairns & Areepattamannil, 2019). Cependant ce résultat s'inverse si l'on considère les cas où la DI est mise en œuvre avec un guidage de l'enseignant, par contraste avec une DI sans guidage (Aditomo & Klieme, 2020). Au-delà de cette question du guidage, plusieurs études pointent toute la complexité du rôle de l'enseignant dans le cadre des DI. Il apparaît ainsi que les manières de s'approprier la DI et de la mettre en œuvre sont très variables selon les enseignants (Blanchard, Southerland & Granger, 2009 ; Crawford, 2007) et que former les enseignants à ce type de démarche ne peut se limiter à leur transmettre des situations de classe. Ces recherches nous conduisent à penser qu'il est d'autant plus essentiel dans une formation à la DI d'accorder une place centrale aux pratiques des enseignants, ce qui n'est pas le cas dans la formation que nous avons étudiée.

De plus, penser un changement des pratiques seulement au niveau des enseignants revient à ne pas prendre en compte le fait que le travail de l'enseignant est avant tout un travail collectif (Grangeat *et al.*, 2009 ; Grangeat, 2011) et que ces pratiques sont en partie déterminées par des contraintes institutionnelles à une échelle plus large que celle de la classe. Les changements de pratique et de connaissances d'un enseignant, si l'on veut qu'ils soient pérennes, nécessitent un ajustement des pratiques des autres enseignants de l'établissement dans lequel exerce l'enseignant. Ceci est d'autant plus vrai que les programmes français de l'école primaire et secondaire inférieur sont organisés par cycles. Ainsi, contrairement au parcours de formation tel qu'il est organisé ici, certains projets de recherche, dans lesquels les chercheurs sont impliqués dans la conception des dispositifs étudiés, prennent en charge cette dimension du travail des enseignants pour faire évoluer les pratiques ou les connaissances. C'était le cas du Lieu d'éducation associé EvaCoDICE²⁸ qui a associé tous les enseignants des disciplines scientifiques de deux collèges, les enseignants du cycle 3 des écoles primaires du bassin lié aux deux collèges en question, les directeurs d'établissement et les IEN et IPR concernés.

Enfin, si beaucoup d'études considèrent que les objectifs d'une formation sont, entre autres, de développer les PCK des enseignants, la question de comment les développer de manière à faire évoluer les pratiques, qui est liée à la manière dont on envisage les liens entre PCK et pratiques, ne sont pas toujours explicites dans la littérature sur les PCK. Or notre étude montre bien que la question de la transférabilité de l'activité en formation à la classe est complexe. Il ne suffit pas de travailler/construire des « connaissances » en formation, il faut penser leur opérationnalisation et l'adaptation des situations vécues à la classe. Le croisement avec la théorie de l'activité que nous avons proposé (Lepareur *et al.*, 2018) nous semble une piste pertinente pour comprendre ce qui se joue en formation et en classe. De façon plus générale, se pose ici la question des liens entre les connaissances et les pratiques des enseignants. Comme le soulignent Crahay *et al.* (2010), cette question oppose des points de vue divergents : selon certains chercheurs, les croyances influencent les pratiques ; à l'opposé, d'autres doutent de l'existence même de liens entre croyances et pratiques ; d'autres encore, suivant un point de vue intermédiaire, estiment que des liens existent mais sous certaines conditions. Dans le cas

²⁸ <<http://ife.ens-lyon.fr/lea/le-reseau/anciens-lea/evacodice>>.

plus spécifique de connaissances et de pratiques qui portent sur l'enseignement des sciences, on retrouve également divers points de vue étayés par des études empiriques. Ainsi, par exemple, Mansour (2013) relève une « cohérence » entre les pratiques d'enseignement des sciences et les « croyances théoriques » chez certains enseignants et une « incohérence » chez d'autres, et attribue les incohérences à des contraintes liées à la « complexité de la vie de la classe ». Dans une autre étude portant spécifiquement sur la DI, Crawford (2007) met en évidence la diversité des pratiques d'enseignants formés dans un même programme et explique cette diversité par l'influence d'un « ensemble complexe de croyances personnelles » que chaque enseignant se forge, ces croyances personnelles n'étant pas nécessairement identiques aux connaissances théoriques délivrées dans une formation. Enfin les derniers modèles de PCK mettent l'accent sur l'intrication très forte entre le versant « connaissances » et le versant actionnel des pratiques enseignantes (Gess-Newsome, 2015 ; Park & Oliver, 2008). Les PCK relèvent à la fois de ce que l'enseignant « sait » mais également de ce qu'il fait. Dans cette perspective les questions qui se posent ne sont plus de savoir s'il existe une relation entre connaissances et pratiques, mais de rendre compte de l'organisation des connaissances en fonction du contexte d'enseignement.

Au-delà des recherches qui interrogent les liens PCK/pratiques, de nombreuses recherches en didactique des sciences s'intéressent aux pratiques des enseignants. Elles s'inscrivent dans différents courants de recherche et reposent sur différents modèles de l'enseignant (pour une synthèse voir Bächtold, Boilevin & Calmettes, 2017). Croiser la réflexion didactique sur ces modèles de l'enseignant et les modèles de formation nous semble une piste pertinente pour poursuivre les réflexions amorcées ici sur la question de l'impact des formations sur les pratiques, question essentielle notamment dans le contexte actuel d'évolution de la formation des enseignants.

Bibliographie

- ADITOMO A. & KLIEME E. (2020). Forms of inquiry-based science instruction and their relations with learning outcomes: evidence from high and low performing education systems. *International Journal of Science Education*, vol. 42, n° 4, p. 504-525.
- ALLCHIN D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, vol. 95, n° 3, p. 518-542.
- BÄCHTOLD M., BOILEVIN J.-M. & CALMETTES B. (éd.) (2017). *La pratique de l'enseignant en sciences : comment l'analyser et la modéliser ?* Louvain : Presses universitaires de Louvain.
- BÄCHTOLD M., CROSS D. & MUNIER V. (2019). How to Assess and Categorize Teachers' Views of Science? Two Methodological Issues. *Research in Science Education*. [doi:10.1007/s11165-019-09904-x](https://doi.org/10.1007/s11165-019-09904-x).
- BLANCHARD M., SOUTHERLAND S. A. & GRANGER D. E. (2009). No silver bullet for inquiry: Making sense of teacher change following an inquiry-based research experience for teachers. *Science Education*, vol. 93, n° 2, p. 322-360.
- BOILEVIN J.M. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants, regards didactiques*. Bruxelles : De Boeck.
- CAIRNS D. & AREEPATTAMANNIL S. (2019). Exploring the relations of inquiry-based teaching to science achievement and dispositions in 54 Countries. *Research in Science Education*, n° 49, p. 1-23.

- CALMETTES B. (2012). *Didactique des sciences et démarches d'investigation, références, représentations, pratiques et formation*. Paris : L'Harmattan.
- CARIOU J.-Y. (2011). Histoire des démarches en sciences et épistémologie scolaire. *Recherches en didactique des sciences et des technologies (RDST)*, n° 3, p. 83-106.
- CHESNAIS A., CROSS D. & MUNIER V. (2017). Étudier l'effet de formations sur les pratiques en termes de connaissances : réflexion sur les liens entre connaissances et pratiques. *Recherches en didactique des sciences et des technologies (RDST)*, n° 15, p. 97-132.
- CLOUGH M. (2011). Teaching and assessing the nature of science: how to effectively incorporate the nature of science in your classroom. *The Science Teacher*, vol. 78, n° 6, p. 56-60.
- COQUIDÉ M., FORTIN C. & RUMELHARD G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, n° 49, p. 51-78.
- CRAYAY M., WANLON P., LADURON I. & ISSAIEVA E. (2010). Fonctions, structuration et évolution des croyances (et connaissances) des enseignants. *Revue française de pédagogie*, n° 172, p. 85-129.
- CRAWFORD B. A. (2007). Learning to teach science in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, n° 44, p. 613-642.
- CROSS D., FARGE S., LEPAREUR C. & MUNIER V. (2019). Approcher les représentations socio-professionnelles des enseignants sur la notion de conception à partir de questions ouvertes : apport de la linguistique et implications méthodologiques. *Recherches en didactique des sciences et des technologies (RDST)*, n° 20, p. 61-85.
- DJERIOUAT H. (2015). *Comment évaluer des connaissances scientifiques des élèves ? Analyse de l'existant. Validation du questionnaire d'évaluation des connaissances et attitudes vis à vis de la science*. Rapports non publiés.
- ENGESTRÖM Y. (1999). Activity Theory and transformation. In Y. Engeström, R. Miettinen & R.-L. Punamäki (éd.), *Perspectives on Activity Theory*, Cambridge : Cambridge University Press, p. 19-38.
- FABRE M. & ORANGE C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, n° 24, p. 37-57.
- FERNANDEZ C. (2014). Knowledge base for teaching and pedagogical content knowledge (PCK): Some useful models implications for teachers' training. *Problems of education in the 21st century*, n° 60, p. 79-100.
- FRIEDRICHSEN P., VAN DRIEL J. H. & ABELL S. K. (2011). Taking a closer look at science teaching orientations. *Science Education*, vol. 95, n° 2, p. 358-376.
- FRYER R. G. Jr (2017). The production of human capital in developed countries: Evidence from 196 randomized field experiments. In E. Duflo & A. Banerjee (éd.), *Handbook of economic field experiments*, vol. 2, Amsterdam, Elsevier, p. 95-322.
- GESS-NEWSOME J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. In *Re-examining*

Pedagogical Content Knowledge in Science Education, New York : Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315735665>.

- GRANGEAT M. (2011). Le travail collectif enseignant : éléments de modélisation du développement professionnel. In M. Grangeat (dir.) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*, Lyon : INRP, p. 76-100
- GRANGEAT M. (éd.) (2013). *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation*. Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.
- GRANGEAT M., ROGALSKI J., LIMA L. & GRAY P. (2009). Comprendre le travail collectif enseignant : effets du contexte de l'activité sur les conceptualisations des acteurs. *Revue suisse des sciences de l'éducation*, vol. 31, n° 1, p. 151-168.
- HODSON D. (2014). Nature of science in the science curriculum: origin, development, implications and shifting emphases. In M. Matthews (éd.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, Berlin : Springer, p. 911-970.
- HOUEMENT C. & KUZNIAK A. (1996). Autour des stratégies utilisées pour former les maîtres du premier degré en mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 16, n° 3, p. 289-322.
- KHISHFE R. & ABD-EL-KHALICK F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 39, n° 7, p. 551-578.
- KIND P., JONES K. & BARMY P. (2007). Developing Attitudes towards Science Measures. *International Journal of Science Education*, vol. 29, n° 7, p. 871-893.
- LEDERMAN N., ABD-EL-KHALICK F., BELLE R. & SCHWARTZ R. (2002). Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 39, n° 6, p. 497-521.
- LEDERMAN J., LEDERMAN N., BARTOS S., BARTELS S., MEYER A. & SCHWARTZ R. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry: the views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 51, n° 1, p. 65-83.
- LEPAREUR C., CROSS D. & MUNIER V. (2018). Cadres conceptuels et méthodologiques pour l'analyse de corpus de formation. Élaboration d'une grille d'analyse. 10^e rencontres de l'ARDIST, Saint-Malo, 27-30 mars 2018.
- MAGNUSSON S., KRAJCIK J. & BORKO H. (1999). Nature, sources and development of Pedagogical Content Knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (éd.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education*, Dordrecht : Kluwer, p. 95-132.
- MANSOUR N. (2013). Consistencies and inconsistencies between science teachers' beliefs and practices. *International Journal of Science Education*, vol. 35, n° 7, p. 1230-1275.
- MARLOT C. & MORGE L. (2015). Des normes professionnelles à caractère doxique aux difficultés de mise en œuvre de séquences d'investigation en classe de sciences : comprendre les déterminations de l'action. *Recherches en éducation*, n° 2, p. 123-137.

- MATTHEWS M. (2012). Changing the focus: from nature of science (NOS) to features of science (FOS). In M. Khine (éd.), *Advances in nature of science research: concepts and methodologies*, Dordrecht : Springer, p. 3-26.
- MONOD-ANSALDI R. & PRIEUR M. (coord.) (2011). *Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie*. Rapport d'enquête IFÉ, ENS de Lyon.
- PARK S. & CHEN Y. C. (2012). Mapping out the integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK): examples from high school biology classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 49, n° 7, p. 922-941.
- PARK S. & OLIVER J. S. (2008). Revisiting the conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK) : PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, vol. 38, n° 3, p. 261-284.
- PERRIN-GLORIAN M.-J. & BELLEMAIN P. M. B. (2016). L'ingénierie didactique entre recherche et ressource pour l'enseignement et la formation des maîtres. In *I Seminario Latino-Americano de Didactica da Matematica-LADIMA*, p. 1-51.
- ROBERT A. & VIVIER L. (2013). Analyser des vidéos sur les pratiques des enseignants du second degré en mathématiques : des utilisations contrastées en recherche en didactique et en formation de formateurs – quelle transposition ?, *Éducation et didactique*, vol. 7, n° 2, p. 115-144.
- SCHÖN D.A. (1993). *Le praticien réflexif. À la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal : Éditions Logiques.
- SENSEVY G. (2011). *Le sens du savoir : éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles : De Boeck.
- SHULMAN L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, vol. 15, n° 4, p. 4-14.
- VAN DRIEL J.H., VERLOOP N. & DE VOS W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 35, n° 6, p. 673-695.