

Démarches d'investigation en sciences : des références épistémologiques questionnées au regard de la science qui se pratique

El Hage, Suzane⁽¹⁾ ; Plé, Elisabeth⁽¹⁾

⁽¹⁾Cérep, URCA- France

Résumé : Un des arguments souvent mis en avant pour promouvoir les démarches d'investigation, est de développer des démarches en classe proches de celles pratiquées par les chercheurs en sciences. Si, pour de multiples raisons, l'identité entre la science qui se pratique et la science qui s'enseigne n'est pas concevable c'est bien en terme d'écart acceptable qu'il faut envisager le problème. Cependant, les analyses des pratiques enseignantes par les chercheurs en didactiques des sciences s'appuient généralement sur des références épistémologiques faisant consensus dans la communauté des didacticiens. Afin de mesurer l'écart entre la science qui se pratique et ces références mobilisées habituellement, nous avons entrepris d'interviewer des chercheurs sur leurs pratiques. Cette contribution est consacrée à la proposition d'une méthodologie d'analyse des discours des chercheurs interviewés. Notre méthodologie consiste à utiliser la modélisation des conceptions de Balacheff pour deux raisons :

- une visée de comparaison de démarches de recherche de chercheurs en mathématiques et en sciences
- un approfondissement à un niveau épistémologique des invariants de ces démarches.

Nos analyses, avec cette méthodologie, montrent que la description d'une démarche de chercheur à un instant « t » par la grille des conceptions permet d'appréhender de manière « fine » cette démarche. En même temps, des nombreuses difficultés ont été rencontrées et nécessitent d'être résolues.

Nous souhaitons ouvrir une discussion sur l'intérêt épistémologique et didactique d'un tel travail méthodologique.

Mots-clés : Démarches d'investigation, épistémologie, conception, sciences, mathématiques.

Introduction

Un des arguments souvent mis en avant pour promouvoir les démarches d'investigation est de développer des démarches en classe qui soient proches de celles pratiquées par les chercheurs en sciences ou en technologie.

D'une manière générale, si l'identité entre la science qui se pratique et la science qui s'enseigne n'est pas concevable (Driver & al, 1994), c'est bien en terme d'écart acceptable qu'il faut envisager le problème. Plusieurs travaux ont tenté de rechercher une minimalisation de ces écarts en définissant des critères épistémologiques (Grandy & Duschl, 2007 ; Albe & Orange, 2010 ; Maurines & Beaufils, 2012). Cependant ces travaux, comme l'ensemble de ceux de la didactique des sciences qui traitent des questions liées aux démarches d'investigation, s'appuient sur des fondements épistémologiques qui font consensus dans la communauté (Bachelard, Dewey, Kuhn, Popper etc...). Le travail de notre équipe (didacticiens des sciences et des mathématiques) vise, à partir du discours que tiennent les chercheurs contemporains sur leurs pratiques, à re-questionner ces critères épistémologiques communément partagés par la communauté des didacticiens.

Les démarches d'investigation en mathématiques et sciences ont des fondements communs, mais aussi des différences (Artigue et Blomhøj, 2013). La présente communication fait état d'une recherche à visée exploratoire. Nous nous limitons ici au

domaine des sciences, et nous proposons une méthode d'analyse des conceptions des chercheurs en sciences.

Constat et problématique

Nous faisons le constat que les références épistémologiques communément convoquées ont été élaborées par leurs auteurs à partir de grands moments de l'histoire des sciences et sont plus liées à ces grands événements qu'à une pratique contextualisée de la science. Examinons quelques références.

Bachelard (1938, 1940) apparaît comme une référence incontournable dans la plupart des travaux de didactiques des sciences pour fonder la notion *d'obstacles épistémologiques* ou en encore de *rupture épistémologique*, références souvent convoquées dès lors qu'il s'agit de questionner la notion de *problème*, centrale dans les démarches d'investigation. Cependant les travaux de Bachelard se développent dans un contexte historique particulier correspondant aux grands bouleversements de la physique du début du vingtième siècle, avec, pour ne citer que cet exemple, le développement de la théorie de la relativité et la remise en question de la physique newtonienne. L'influence psychologique, voire psychanalytique est grande chez Bachelard, la faisant à n'en pas douter une référence intéressante pour l'éducation (Fabre, 1995). Cependant, le courant sociologique d'une approche des sciences (Lecourt, 1974; Bensaude-Vincent, 2003) souligne la limite de l'épistémologie bachelardienne qui ne prendrait en compte qu'un fonctionnement idéal de la cité scientifique avec des « *esprits bien formés, purifiés, aseptisés, vidés de toute trace d'opinion, d'intérêts, d'affectivité* » (Bensaude-Vincent, 2003).

Si Canguilhem (1981) poursuit le travail de Bachelard dans le domaine des sciences de la vie, en mettant l'accent sur l'importance de valeurs sociologiques et politiques, c'est en partie en s'appuyant également sur des références historiques du dix neuvième siècle. L'influence historique est également grande dans la pensée de Kuhn (1962) même s'il est un des premiers à prendre en compte, comme le souligne Soler (2009), la dimension pratique des sciences. Enfin, c'est aussi en s'appuyant sur des exemples issus de grands débats historiques que Popper (1973) définit la méthodologie falsificationniste. Il s'appuie en particulier sur la théorie de l'électron élaborée par Lorentz au début du vingtième siècle qui présuppose la notion d'éther; celui-ci préférant adjoindre une hypothèse *ad hoc* que de renoncer à sa théorie.

L'image de la science véhiculée par ces références ne prend pas en compte la dynamique des pratiques scientifiques, même si, comme le souligne Soler (2009), on assiste depuis peu à un « tournant pratique ». Notre recherche en cours a plusieurs visées :

- Questionner les fondements épistémologiques cités dans les articles de didactiques des sciences portant sur les démarches d'investigation (depuis 2009). Les questions qui en découlent sont : Quelles références cités dans les articles de didactiques des sciences (épistémologues, didacticiens, philosophes...)? Quels objets didactiques sont choisis pour questionner les démarches d'investigation ? Quelles images de la science ces références renvoient-elles ?
- Modéliser les conceptions des chercheurs en sciences et en mathématiques aujourd'hui sur leur démarche de recherche ?
- Comparer les conceptions des chercheurs contemporains sur la pratique des sciences avec celles issues des références classiques afin de mesurer la distance (et surtout où se situe cette distance) entre les conceptions utilisées en didactique aujourd'hui et les pratiques déclarées des chercheurs.

Dans la présente communication nous focalisons sur la deuxième visée. Pour entreprendre cette comparaison, il est nécessaire de modéliser les conceptions des chercheurs contemporains. C'est cette question qui est ici examinée.

Méthodologie de recueil et d'analyse des données

Nous avons choisi de procéder par entretiens semi-directifs pour accéder aux pratiques et aux activités actuelles des chercheurs pour la production du savoir savant. Nous avons ainsi interviewé 20 enseignants-chercheurs issus de différents laboratoires en France (10 en mathématiques et 10 en sciences de la matière).

L'entretien est structuré en deux parties : une première partie porte sur la pratique et la deuxième, sur l'enseignement. Les caractéristiques des démarches d'investigation pour l'enseignement sont prises comme références pour le questionnement de la première partie. Nous nous intéressons ici aux réponses données à cette première partie qui vise en particulier à questionner, les démarches mises en jeu (une place particulière est faite à la notion de problème et d'hypothèse), la notion de preuve pour établir les résultats, la place des écrits dans le quotidien de la recherche, les modalités de recherche mises en place, la nature et le rôle des interactions entre pairs, et référence épistémologique.

La durée de l'entretien varie entre 45 et 80 minutes selon la personne interviewée. L'ensemble des entretiens est transcrit et analysé avec la même grille afin de modéliser les conceptions des chercheurs.

Pour analyser les entretiens transcrits, nous avons mobilisé le modèle proposé par Balacheff qui permet de modéliser ce que nous appelons des conceptions "dominantes" chez les chercheurs interrogés. Ce modèle issu de la didactique des mathématiques a fait ces preuves dans ce domaine; il a en effet été utilisé pour l'étude des conceptions sur l'activité de définition (Ouvrier-Buffet, 2013) mais aussi pour modéliser des conceptions relatives à des objets récemment introduits dans les programmes de mathématiques (Modeste, 2012). Ce modèle possède une potentialité non seulement du côté épistémologique mais aussi du côté didactique et cognitif, tout du moins en mathématiques. Nous l'utilisons maintenant, dans le cadre de cette recherche, pour analyser des pratiques de chercheurs aussi bien en mathématiques qu'en sciences de la matière.

Balacheff définit une conception comme une « *modélisation cognitive rendant compte des régularités des conduites d'un sujet relativement à un cadre.* » (Balacheff, 1995, p. 228). Balacheff (1995, 2002) décrit une conception par un quadruplet (P, R, L, Σ) où :

- P est un ensemble de problèmes sur lesquels la conception est opératoire.
- R est un ensemble d'opérateurs. Ceux-ci permettent la transformation des problèmes. Ils sont attestés par des productions et des comportements du sujet.
- L est un système de représentation qui permet d'exprimer les éléments de P et de R. À l'image du modèle proposé par Vergnaud (1991), les éléments de L sont langagiers ou non.
- Σ est une structure de contrôle qui donne et organise les fonctions de décision, de choix, de jugement de validité et d'adéquation de l'action. La structure de contrôle assure le non contradiction de la conception. Les contrôles sont des outils de décision sur la légitimité de l'usage d'un opérateur et sur l'état du problème (résolu ou non).

Dans ce quadruplet, il y a deux niveaux d'invariants qui interviennent : les opérateurs (R) qui permettent d'agir sur la situation et les structures de contrôle (Σ) qui justifient et

valident l'utilisation des opérateurs. Une dialectique forte existe entre opérateurs et contrôles.

Notre projet global de recherche vise à mesurer l'écart entre les conceptions des épistémologues pris comme référence dans les démarches d'investigation et les conceptions des chercheurs actuels pratiquant la science, en utilisant comme outil d'analyse, le modèle de Balacheff. Si nous nous référons à l'utilisation faite jusqu'alors de ce modèle (Ouvrier-Buffet, 2013 ; Modeste, 2012), le travail de caractérisation des conceptions des épistémologues est relativement classique, en revanche le second est plus risqué. En effet, il faut entendre conceptions au sens large du terme, c'est à dire en référence à Vergnaud (1991), et il s'agit aussi de transposer un modèle, initialement conçu dans un cadre didactique, en un outil pour analyser des pratiques de chercheurs. Le mode de recueil de données (entretiens) peut a priori sembler non approprié, cependant, outre le fait qu'il soit pratique dans le cadre d'une étude exploratoire, il permet d'instruire le quadruplet de Balacheff, en rendant compte de régularités des conduites d'un sujet relativement à un cadre plus ou moins conscient de la part du chercheur. Cette instruction pose cependant un certain nombre de problèmes méthodologiques qui sont soumis dans la présente communication.

Précisons enfin que chaque entretien donne lieu à un codage suivant les quatre éléments du quadruplet (P, R, L et Σ). Celui-ci est traité séparément par deux chercheurs qui comparent ensuite leurs résultats.

Eléments de méthodologie mis en discussion

Un certain nombre de choix ont été pratiqués qui entraînent quelques dilemmes ; ceux-ci seront illustrés par des exemples concrets. Un premier concerne le cadre d'analyse. Celui-ci, comme précisé auparavant, est indiscutablement lié au projet de comparaison des conceptions des épistémologues pris communément comme référence par les chercheurs en didactique des sciences pour examiner la mise en œuvre des démarches d'investigations dans les classes, avec celles des chercheurs interrogés.

En reprenant la terminologie de Balacheff, nous n'avons cependant pas fait le choix d'identifier les μ -conceptions de ces épistémologues (relevant en somme du troisième monde de Popper) avant d'entreprendre les entretiens. Nous avons en effet préféré envisager de recueillir le discours des chercheurs avec une interrogation d'origine didactique issue de la pratique de la démarche d'investigation (nature des problèmes mis en jeu, place de la notion d'hypothèse, place et rôle des écrits, des interactions entre pairs, des modalités de recherche convoquées).

A titre d'illustration, le mot *hypothèse* ne résonne pas immédiatement chez la plupart de ces chercheurs et déclenche souvent des silences... Il entraîne des réponses fort variées. Il est parfois associé à *idée*, mais chargée en théorie. « *Une hypothèse c'est une idée, c'est à dire que c'est fondé par rapport à la biblio ou par nos acquis, nos connaissances scientifiques, donc on dit ben normalement si on fait ça, on a ça* » dit une chercheuse. Cette même chercheuse insiste aussi sur la notion « d'hypothèse plus ou moins risquée » en lien avec le temps et l'argent. Pour un autre chercheur c'est un moyen de *réfléchir en amont* à des fins d'opérationnalisation. « *Avant d'engager du matériel, il faut cerner le sujet et on va faire des hypothèses de solutions, après on regarde si c'est jouable ou pas, si c'est pas trop mauvais on peut utiliser des méthodes numériques et si c'est plutôt bien, on passe à l'expérimentation* ». Cette question de pilotage liée à l'hypothèse revient dans un autre entretien : « *je peux dire qu'une hypothèse c'est une instruction dans la démarche*

logique pour résoudre un problème. Elle a comme un rôle d'éclaircir la direction qu'on va suivre » dit un autre chercheur.

Un autre choix souligné plus haut est celui de travailler sur du « déclaratif » ; celui-ci offre un matériau qui se prête certes bien à l'analyse des conceptions, cependant plusieurs problèmes étant généralement présentés par le chercheur, établir un couplage problème/opérateur lors de l'analyse se révèle parfois délicat.

De plus, la nature des thématiques de recherche est fort variée (réplication du génome des bactéries, amélioration des performances de cellules photovoltaïques, détection de défauts dans des œuvres d'art ou encore l'analyse du contenu de cellules sous l'action de médicaments anticancéreux, pour ne citer que quelques exemples...), et chez un même chercheur, plusieurs problèmes sont souvent évoqués. La caractérisation des problèmes, en dehors de toute thématique, reste un chantier à défricher et représente un des enjeux de ce travail.

Références bibliographiques

Albes, V. & Orange, C. (2010). Sciences des scientifiques et sciences scolaires. *RDST*, n°2, 19-26.

Artigue, M. et Blomhøj, M. (2013). Conceptualizing inquiry-based education in mathematics. *ZDM Mathematics Education*, 45 (36), 797-810.

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : PUF.

Bachelard, G. (1940). *La philosophie du non*. Paris : PUF.

Balacheff, N. (1995). Conception, connaissance et concept. In: Grenier D. (ed.) *Séminaire Didactique et Technologies cognitives en mathématiques* (pp. 219-244). Grenoble : IMAG.

Balacheff N. (2002). Contribution à la réflexion sur la recherche sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. In : Baron G.-L. et Bruillard E. (eds.) *Les technologies en éducation : Perspectives de recherche et questions vives*. Paris : INRP – MSH - IUFM de Basse Normandie, 193-201.

Bensaude-Vincent, B. (2003). *La science contre l'opinion. Histoire d'un divorce*. Paris : Le Seuil.

Canguilhem, G. (1981). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie. Nouvelles études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris : Vrin.

Driver, R, Asoko, H, Leach, J, Mortimer, E & Scott, P (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.

Fabre, M. (1995). *Bachelard éducateur*. Paris : PUF.

Grandy, R & Duschl, R-A (2007). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Analysis of a conference. *Science and education*, 16(2), 144-166

Kuhn, T. (1962/1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.

Lecourt, D. (1974). *Pour une critique de l'épistémologie (Bachelard, Canguilhem, Foucault)*. Paris : F. Maspéro.

Maurines, L. & Beaufils, D. (2012). Teaching the nature of science in physics courses: the contribution of classroom historical inquiries. *Science and Education*.

Modeste, S. (2012). Enseigner l'algorithme pour quoi ? Quelles nouvelles questions pour les mathématiques ? Quels apports pour l'apprentissage de la preuve ? Thèse de doctorat, Université de Grenoble. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00783294/file/Modeste-these-TEL.pdf> (Consulté le 20 décembre 2015)

Ouvrier-Buffet, C. (2013). *Modélisation de l'activité de définition en mathématiques et de sa dialectique avec la preuve – Étude épistémologique et enjeux didactiques*. Note de synthèse HDR, Université Paris Diderot (Paris 7). <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00964093> (Consulté le 12 janvier 2016)

Popper, K. (1963, 1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot.

Soler, L. (2009). *Introduction à l'épistémologie*. Paris : Ellipses.

Vergnaud, G. (1991). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*. 10(2/3) 133-169.