

# La pédagogie d'investigation et l'enquête PISA 2015

par **Pierre LÉNA**

75015 Paris

[pierre.lena@obspm.fr](mailto:pierre.lena@obspm.fr)

**L**A NÉCESSITÉ d'une formation scientifique de base pour tous les élèves, tôt dans leur parcours scolaire, s'est amplifiée, à la mesure de l'ampleur des rapports entre science, technique, société, emploi. Les enquêtes OCDE/PISA en témoignent, par la place qu'elles donnent à la compréhension du raisonnement scientifique dans la vie du citoyen. Partout dans le monde, la réflexion, les projets pilotes, la contribution de scientifiques éminents, souvent physiciens, ont donné une impulsion considérable, valorisant une pédagogie d'investigation. Or les résultats de l'enquête PISA 2015 mettent partiellement en question celle-ci. Nous tentons ici de cerner l'émergence historique et la pratique concrète de l'investigation, selon les niveaux scolaires, questionnons les conclusions de PISA 2015, et proposons, adaptées en particulier à la France, quelques réflexions sur le développement de cette pédagogie.

## INTRODUCTION

Au fil du progrès scientifique et des connaissances, les pédagogues comme les chercheurs n'ont cessé de s'interroger sur les modalités optimales d'un enseignement scientifique, depuis l'école primaire jusque l'université. La place que prennent désormais sciences et techniques dans la société questionne plus que jamais ce partage de savoir entre les « savants » d'une part, les professeurs et leurs élèves d'autre part, qu'il s'agisse de pays développés ou de pays en développement. Lors des deux décennies écoulées, une formulation renouvelée d'un apprentissage actif des sciences s'est faite jour, sous le nom d'*investigation* (*inquiry* en anglais). À la suite notamment de l'impulsion donnée à partir de 1995 par le mouvement de *La main à la pâte*, cette pédagogie a reçu une reconnaissance officielle en France. Il en est de même dans de nombreux projets pilotes de par le monde, à l'origine desquels se trouvent plus fréquemment des scientifiques plutôt que des pédagogues. Peu à peu, les objectifs de cette pédagogie se sont précisés, ses méthodes et ses résultats ont été évalués.

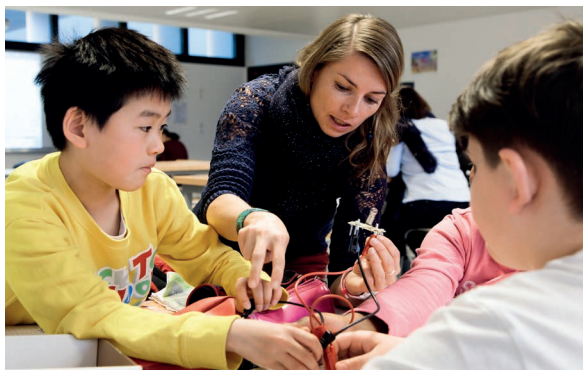
Depuis l'année 2000 est apparue l'enquête PISA (Programme for International Student Assessment, *en français* Programme international pour le suivi de l'acquis des élèves), conduite par l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). Deux de ses trois thèmes sont relatifs à la science. L'impact médiatique

et politique croissant de cette enquête met donc l'accent sur la place et l'efficacité de l'enseignement scientifique, tel que pratiqué dans les quelque soixante-dix pays et régions concernés. L'enquête publiée en 2015 s'intéressant à l'investigation, et la mettant partiellement en cause, il paraît utile d'interroger ses résultats et ses présupposés sur ce point précis.

## 1. L'INVESTIGATION, UNE PÉDAGOGIE PRÉCONISÉE EN FRANCE

En 1995, le physicien et lauréat Nobel Georges Charpak engagea un combat pour que l'école primaire française retrouve un enseignement scientifique digne de ce nom. La *leçon de choses* y avait disparu, et un enseignement scientifique élémentaire était pratiquement délaissé dans l'immense majorité des classes primaires, depuis le retour aux « fondamentaux » mis en avant en 1985 par le ministre Jean-Pierre Chevènement. L'action engagée en 1995 prit le nom de *La main à la pâte*, voulant ainsi mettre en évidence une découverte et une transmission de la science qui soit fondée sur un élève actif, observant et expérimentant. Le deuxième des Dix principes de *La main à la pâte*, énoncés par Georges Charpak et l'Académie des sciences qui soutint ce mouvement avec vigueur, énonçait : *Au cours de leurs investigations, les enfants argumentent et raisonnent, mettent en commun et discutent leurs idées et leurs résultats, construisent leurs connaissances, une activité purement manuelle ne suffisant pas* [1]. Avec ce texte fondateur, puis avec l'implantation progressive et l'extension de *La main à la pâte* – approuvée au départ par le ministère de l'Éducation nationale comme une simple et prudente expérimentation –, enfin avec le rapport demandé au physicien Jean-Pierre Sarmant, Inspecteur général de sciences physiques, et remis au ministre Claude Allègre en 1999, le terme *investigation* faisait son entrée dans le vocabulaire pédagogique français [2]. Son usage devint rapidement officiel, puisque de nouveaux programmes de l'école primaire, publiés en 2002, reprirent le terme, laissant libres les professeurs d'école d'adopter ou non ce qui s'appellera désormais, dans la langue ministérielle et pédagogique, une *démarche d'investigation*.

C'est sans doute le succès de l'opération, entre 1995 et 2005, auprès des élèves et de leurs professeurs, puis auprès des familles, de l'opinion et du monde scientifique qui conduisit les autorités éducatives à recommander plus largement la pratique de l'investigation. Il convenait donc de définir avec précision cette pédagogie. Le socle commun de connaissances et de compétences [3], publié en 2005 et applicable depuis la maternelle jusqu'à la classe de troisième, puis dans les nouveaux programmes de collège qui suivirent en 2006, en donnèrent l'occasion. Une *Introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques*, publiée en annexe des programmes, explicite soigneusement cette approche pédagogique [4]. Ces précisions s'appuient sur un large corpus de pratiques, évaluées positivement, mises en œuvre à l'école primaire, notamment diffusées depuis plus de vingt ans par le site Internet de *La main à la pâte* et au sein des *Maisons pour la science*, créées en 2012 dans neuf universités.



Photos Shaohua Sang et MGEN

**Figure 1 -** Georges Charpak, fondateur de *La main à la pâte*. En 2008, il accueille sur la Seine enseignants et responsables éducatifs venus du monde entier pour participer au Séminaire annuel de *La main à la pâte*, qui dissémine les principes de l'investigation. Au collège Didier Daurat du Bourget (Seine-Saint-Denis), collège pilote de la Fondation *La main à la pâte* en 2016, situé en réseau d'éducation prioritaire, des élèves travaillent avec une chercheuse de l'entreprise Saint-Gobain.

Le but ici n'est pas d'analyser en détail la place prise par cette démarche nouvelle, parmi les différentes pédagogies mises en œuvre par les professeurs de collège, telles que «démarche de projet» volontiers adoptée par les enseignants de technologie, ou «situations-problèmes» recommandées par nombre de didacticiens. L'excellente analyse de Stéphanie Mathé et *al.* [5] en traite.

Parallèlement à cette approbation officielle, l'Académie des sciences se préoccupa du manque d'intérêt de nombreux collégiens pour la science et du morcellement de l'enseignement qu'ils recevaient en disciplines cloisonnées (physique-chimie, sciences de la vie et de la Terre, technologie, pour reprendre leurs désignations d'alors). Elle proposa au ministère de l'Éducation nationale une nouvelle expérimentation, cette fois-ci au collège [6]. En 2006 fut ainsi créé un *Enseignement intégré de science et technologie* (EIST) [7] qui dix ans plus tard touchait près de deux cents collèges, invitant les professeurs à une pédagogie d'investigation, augmentée d'une volonté explicite et organisée d'interdisciplinarité. Cette nouvelle expérimentation allait inspirer certains éléments de la réforme du collège, engagée à la rentrée 2016. Dans les nouveaux programmes (école et collège) publiés en 2015, la *démarche d'investigation* est largement citée, et atteint même la géographie.

Même les nouveaux programmes de lycée, publiés en 2011, retinrent le terme d'investigation. On peut d'ailleurs s'interroger sur la pertinence d'une aussi large extension : au niveau du lycée, il est évident que nombre de notions, qu'il s'agisse de physique, chimie, sciences de la vie et de la Terre (SVT), ne peuvent être enseignées exclusivement par un protocole d'investigation : ainsi l'Académie des sciences, dans un

Avis rendu fin 2010 et concernant ces nouveaux programmes de lycée [8], ne mentionne pas l'investigation, dont elle fut pourtant avec constance, et demeure, l'avocate pour le primaire et le collège.

## 2. L'INVESTIGATION (*INQUIRY*), UNE PÉDAGOGIE ANCIENNE AU DÉVELOPPEMENT UNIVERSEL

*La main à la pâte* n'a jamais prétendu avoir « inventé » l'investigation. Ses fondateurs paient un tribut justifié à Maria Montessori, Jean Piaget, Célestin Freinet, Henri Bergson, Victor Horst entre autres précurseurs [1]. Dans le monde anglo-saxon, le terme *inquiry* est apparu dès les travaux de John Dewey (1859-1952) et cette pédagogie a inspiré, aux États-Unis notamment, les réformes de l'enseignement scientifique après que le lancement de Sputnik (1957) eut souligné un certain retard technique de ce pays<sup>(1)</sup>. Le terme *Hands-On* explicitait la nécessité de l'engagement des élèves dans des expérimentations qui dépassent des travaux pratiques classiques dont l'efficacité pédagogique était discutée. On se souviendra d'ouvrages marquants, dus à des physiciens qui formaient l'aile marchante du mouvement : les productions du *Physical Science*

[A]



[B]



Photos Pierre Léna

**Figure 2 - Inquiry dans le monde.** [A] Investigation dans une classe d'enfants handicapés au Mexique<sup>(2)</sup> en 2015. Programme INNOVEC<sup>(3)</sup>. [B] Présentation d'expériences lors d'un Forum préparant de nouveaux programmes, à Islamabad (Pakistan) en 2017.

- (1) [https://en.wikipedia.org/wiki/Inquiry-based\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Inquiry-based_learning)
- (2) Sur l'application de l'investigation aux enfants à besoins spéciaux, voir le numéro spécial « Adversité de la vie, science partagée », *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 109, n° 976, p. 957-1100, juillet/août/septembre 2015.
- (3) INNOVEC (Innovación en la Enseñanza de la Ciencia, *en français* L'innovation dans l'enseignement des sciences) est au Mexique un mouvement d'ampleur considérable, accompagnant les enseignants dans la pratique de l'investigation en sciences : <http://www.innovec.org.mx/>

*Study Committee* (PSSC), le *Berkeley Physics Course* et les *Lectures on Physics* de Richard Feynman (l'un et l'autre traduits en français dès 1971).

La *National Academy of Sciences* soutint ce mouvement et encouragea sa dissémination dans le corps enseignant dès les années 1980, en stimulant la rédaction et la publication d'ouvrages d'accompagnement pour le corps enseignant.

Les intenses échanges existant au sein du monde des chercheurs, et particulièrement des physiciens, firent pénétrer ces idées en France et inspirèrent la Commission Lagarrigue (1972-1974), qui produisit de nombreux modules d'expérimentation<sup>(4)</sup> pour les maîtres de collège [9]. L'école primaire, comme souligné plus haut, fut néanmoins laissée à l'écart jusqu'aux initiatives de *La main à la pâte* en 1995, malgré certaines initiatives de l'Institut national de recherche pédagogique avec Janine Deunff. À la même époque, dès 1975, des didacticiens professionnels tel Jean-Louis Martinand en France, avaient introduit une démarche intitulée OHERIC (Observation, hypothèse, expérience, résultats, interprétation, conclusion). Elle fut largement discutée et souvent contestée au sein du monde de la didactique<sup>(5)</sup>, sans toutefois avoir grand impact sur la pratique concrète des professeurs ni sur une évolution sensible de la place réelle de la science à l'école primaire.

Lors des décennies 1995-2015, devant les enjeux du développement technique, la nécessité d'un enseignement scientifique rénové se répandit largement dans le monde, afin d'échapper à l'apprentissage par cœur, souvent sans compréhension ni réflexion. Les succès de *La main à la pâte*, l'engagement de scientifiques prestigieux dans nombre de pays – tels le physicien Leon Lederman et le biologiste Bruce Alberts aux États-Unis – entraînèrent de nombreux projets pilotes<sup>(6)</sup> qui installèrent la pratique de l'investigation dans des écoles et stimulèrent de nombreux échanges. *Inquiry Based Science Education* (IBSE) devint la bannière commune à ces actions et à leurs promoteurs. On notera par exemple la référence constante à l'investigation (*inquiry*) dans le Rapport Rocard, publié en 2007, qui inspira nombre d'actions au sein de l'Union européenne ; nombreux furent les rapports de la même veine<sup>(7)</sup>. Des définitions de plus en plus fines

(4) <http://artheque.ens-cachan.fr/collections/show/21>

(5) <https://fr.wikipedia.org/wiki/OHERIC>

(6) Nombre de ces projets pilotes sont recensés sur le site de InterAcademyPartnership (IAP) et de son Science Education Program : <http://interacademies.net/ProjectsAndActivities/Projects/12250/18276.aspx>

(7) Quelques-uns de ces très nombreux rapports : UNESCO, "Science Education in Danger", *Newsletter*, n° 11, October-December 2004 ♦ M. Rocard, *Science Education Now : A renewed Pedagogy for the Future of Europe* (Report EU22-845, 2007) ♦ J. Osborne and J. Dillon, "Education in Europe : Critical Reflections", *Nuffield Foundation*, UK, January 2008 ♦ Encouraging student interest in science and technology studies, OECD, November 2008...

de *inquiry*, assez convergentes d'ailleurs, furent et demeurent régulièrement publiées<sup>(8)</sup>. Par ailleurs, ces mouvements mirent l'accent sur une compréhension et une pratique du processus de la pensée scientifique, plus que sur une accumulation de connaissances. Ils amorcèrent ainsi un décroisement entre disciplines.

Aujourd'hui, les principes ainsi développés sont ouvertement revendiqués pour l'implantation de cursus scientifiques dans nombre de pays. Ainsi la récente réforme du cursus primaire (grades 1 à 6), entrant en vigueur en 2017 dans toute la Chine, indique<sup>(9)</sup> : « *L'exploration<sup>(10)</sup> est guidée, organisée et soutenue par l'enseignant. Elle permet à l'élève de prendre l'initiative, de participer et d'utiliser son cerveau, d'entreprendre une expérience active dans le processus d'investigation scientifique. Acquérir des connaissances scientifiques et un esprit scientifique sont l'objectif de cet enseignement.* ». Les instructions officielles vont plus loin, puisqu'elles demandent aux enseignants de mettre exactement sur le même plan l'acquisition de la langue, les mathématiques et les sciences de la nature, incluant ces dernières, comme le fait PISA, dans les fondamentaux, à la différence des instructions officielles françaises, qui depuis plusieurs décennies ne considèrent dans les fondamentaux de l'école primaire que la langue (lire, écrire) et les mathématiques (compter).

### 3. ÉVALUER DES APPRENTISSAGES CONSTRUITS SUR L'INVESTIGATION

Cette extension de la pédagogie IBSE devait naturellement susciter questions, analyses et évaluations : pratiquer *inquiry* était-il, pour des enfants ou des adolescents, la meilleure façon d'entrer en science, de comprendre et d'apprécier la science, d'acquérir des connaissances enfin ? Comment s'assurer que les professeurs mettaient en œuvre une pédagogie qui ne caricaturait pas les principes de l'investigation et dont les résultats pouvaient alors être moindres que ceux d'une bonne pédagogie classique ? Quels critères choisir pour juger des « résultats » de l'apprentissage de la science ? Qu'attend-on, *in fine*, de l'apprentissage de la science par tous les élèves au cours de leurs premières

(8) Voir par exemple :

- W. Harlen (coord.) *Learning through Inquiry* ;
- W. Harlen, P. Léna and S. Borda-Carulla (Eds.), *The Legacy of the Fibonacci project for science and mathematics education. As systemic approach for sustainable implementation and dissemination of inquiry pedagogy, tested in primary and secondary schools throughout Europe (2010-2013)*.

The Fibonacci Project : <http://www.fibonacci-project.eu>

On peut également consulter, plus récent :

- C. Figdor and S. Dekker, "Scientific breakthroughs in the classroom", *Science Education Hub Radboud University, Nijmegen, the Netherlands*.

Version en anglais téléchargeable sur <http://www.ru.nl/wetenschapsknooppunt/english/>

(9) Les instructions officielles sont explicitées sur :

<http://mp.weixin.qq.com/s/jud8qp3DEY8807AKDlpwQQ/>

(10) Exploration traduisant ici 探究式学习.

années de scolarité ? L'appui qu'apportent à cette pédagogie de nombreux scientifiques, chercheurs ou ingénieurs qui pratiquent la science et la technique au quotidien, en est-il une justification suffisante ?

Dans le monde anglo-saxon, de telles analyses furent entreprises. Référons-nous ici à une méta-analyse, fréquemment citée pour sa qualité, son extension et ses conclusions : *Les résultats des cent trente-huit travaux étudiés indiquent clairement une direction positive en faveur des pratiques d'enseignement fondées sur l'investigation, particulièrement celles qui stimulent la pensée active de l'élève et sa capacité à tirer des conclusions à partir de données. Les stratégies d'enseignement qui engagent activement les élèves par une investigation scientifique accroissent plus fréquemment la compréhension conceptuelle que les stratégies faisant appel à des méthodes plus passives, souvent rendues nécessaires par les procédures standardisées de test* [10].

Citons encore une enquête approfondie conduite pendant cinq ans (2010-2015) dans des classes de grades 1 à 8 (c'est-à-dire du cours préparatoire (CP) à la classe de quatrième), aux États-Unis, évaluant de façon indépendante le programme LASER (Leadership and Assistance for Science Education Reform), conçu par le Smithsonian Science Education Center et se référant explicitement à *inquiry*. Les conclusions en sont très positives, notamment quant aux capacités de réinvestissement des connaissances par les élèves<sup>(11)</sup>.

En France, le développement indiscutable, entre 1995 et 2017, de la pédagogie prônée par *La main à la pâte* n'a pas principalement reposé sur des enquêtes systématiques ni sur une évaluation rigoureuse de son impact direct sur l'apprentissage, l'autonomie de réflexion, le goût pour la science et la capacité d'exploration ou de questionnement des élèves. Quelques travaux de la Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (MEN/DEPP) se sont néanmoins intéressés à cette question. En 2011, deux enquêtes ont été publiées, concernant les compétences des élèves en sciences expérimentales, en fin d'école primaire [11] et en fin de collège [12]. La première se réfère abondamment à l'investigation, recommandée par les programmes de 2007 pour l'école primaire où avaient alors bien pénétré les pratiques préconisées par *La main à la pâte* ; cette première enquête fournit une évaluation positive de la pédagogie d'investigation. En revanche, la seconde, se référant aux programmes du collège de 1997, ignore quasi complètement l'investigation.

Deux enquêtes MEN/DEPP plus récentes ont cherché à mesurer un effet différentiel. La première est faite auprès d'une cohorte d'élèves, engagés dans un enseignement intégré [13] (EIST), suivis depuis une classe de sixième et ayant pratiqué l'investigation, et d'un groupe témoin : elle ne montre ni avantage significatif, ni désavantage [14]. Toutefois, sans avoir analysé la préparation des professeurs à la pratique de la pédagogie d'investigation, très limitée pour les enseignants concernés, ce résultat demeure

(11) LASER i3 Key findings : <https://ssec.si.edu/laser-i3>



fragile. Une seconde enquête, pratiquée auprès de professeurs également engagés dans ce programme, montre toutefois une évolution importante et intéressante de leur perception du rapport à leurs élèves et à leurs collègues [15].

Nous disposons d'un autre indicateur, celui de l'usage libre des ressources en ligne offertes par *La main à la pâte*, ressources pour la classe qui se réfèrent spécifiquement à l'investigation, et souvent à l'interdisciplinarité. Le site<sup>(12)</sup> qui les met à disposition fonctionne sans discontinuer depuis 1998 et en offre un très grand nombre, couvrant tout le programme du primaire et désormais d'une partie du collège. Depuis 2007, ce site reçoit deux cent cinquante mille visites mensuelles, nombre monté à quatre cent mille depuis 2015 (à comparer au total de trois cent vingt mille professeurs des écoles, publiques et privées, en France). Cette fidélité, qui ne résulte d'aucune prescription institutionnelle, laisse penser que la pédagogie proposée est acceptée puis mise en œuvre, et que les enseignants en constatent les effets bénéfiques sur leurs élèves.

Dans ce contexte de développement international d'une pédagogie de type *inquiry*, il n'est pas surprenant que l'enquête de référence qu'est devenue PISA se soit intéressée à l'investigation et ait publié en 2015 un certain nombre de conclusions que nous souhaitons interroger ici.

#### 4. L'ENQUÊTE PISA 2015

L'enquête triennale PISA, publiée en 2015, traitait en point majeur les acquis en sciences de la nature (*natural sciences*, donc physique, chimie, sciences de la vie et de la Terre...) des élèves de 15 ans ; les mathématiques et la compréhension de l'écrit y étaient traitées en mineur, selon le rythme ternaire de ces enquêtes. PISA 2015 succédait ainsi à l'enquête publiée en 2012, qui traitait principalement des mathématiques. Les résultats sont donnés dans deux documents principaux [16, 17]. En outre, les résultats essentiels sont résumés dans un document de synthèse [18]. Enfin, des analyses spécifiques sont proposées pour un certain nombre de pays, dont la France [19]. Ces documents, abondamment enrichis de graphiques et de statistiques, sont disponibles sur Internet, en anglais comme en français. Nous nous intéressons ici à la place que donne l'enquête 2015 à la pédagogie d'investigation (*inquiry*) quant à son impact sur les acquis des élèves. Depuis la publication de l'enquête, nombre de commentaires ont été produits. En France, le ministère de l'Éducation nationale, a publié une Note d'analyse, qui s'est focalisée sur certaines des conclusions concernant la France, mais qui ne s'intéresse pas à celles concernant la pédagogie d'investigation [20].

Rappelons brièvement ici l'essentiel de l'enquête PISA 2015, effectuée sur soixante douze pays, dont tous les pays de l'OCDE, et régions. Elle se compose d'une part d'un

---

(12) <http://maisons-pour-la-science.org>



test de deux heures, sous forme de QCM (Questionnaire à choix multiples) posé aux élèves sur un ordinateur ; d'autre part d'un texte ouvert (*student background questionnaire*), rédigé par le jeune en réponse à des questions précises qui portent sur ses choix personnels, ses motivations, son école, ses enseignants, ses projets professionnels. Ceci, tourné vers les élèves, est complété par un questionnaire adressé aux parents, aux professeurs et aux principaux des établissements. Le test QCM veut mesurer les connaissances et compétences scientifiques ; le texte ouvert veut mesurer la compréhension de ce qu'est la science et les dispositions de celui qui répond vis-à-vis d'elle, en particulier pour son propre avenir. Le présent propos ne se propose pas de discuter en détail la pertinence des tests par rapport à ce qu'ils veulent mesurer. D'autres l'ont fait [21]. Pour Wynne Harlen, physicienne britannique et référence mondiale sur la pédagogie d'investigation, ces tests sont parmi les meilleurs qui puissent être proposés sous cette forme [22]. Il faut noter que ces QCM portent sur un texte souvent assez long et d'une rédaction élaborée. En dépit des précautions annoncées pour que ce texte n'introduise pas de biais culturel malgré la diversité des pays testés et malgré l'universalité de la science, il est clair qu'il demande une certaine maîtrise de la langue pour être compris des élèves : l'enquête « sciences » peut difficilement être vue comme totalement indépendante de l'enquête « compréhension de l'écrit ». Les résultats des jeunes au test, appelés scores, sont à la base des classements et comparaisons produits. Les réponses ouvertes aux questions sont analysées par ailleurs et peuvent éclairer les conclusions tirées des scores.

L'objectif affiché des tests et classements PISA est de mesurer chez l'élève sa « littératie scientifique », laborieuse traduction du *science literacy* omniprésent dans la littérature anglo-saxonne et ainsi défini par PISA 2015 : « “*Science literacy*” est définie comme la capacité de se positionner sur des questions reliées à la science, et sur les idées de la science, en tant que citoyen capable de réfléchir. Une personne ‘scientifiquement lettrée’ accepte de s’engager dans un discours raisonné sur la science et la technologie, lequel demande des compétences pour expliquer scientifiquement les phénomènes, pour évaluer et concevoir une démarche d’investigation scientifique, et pour interpréter des données et les évidences de façon scientifique. » [17].

Notons l'aspect positif de cette définition et sa proximité avec les principes d'IBSE (Inquiry-Based Science Education, en français Éducation scientifique fondée sur l'investigation). Svein Sjøberg souligne le fait que les convictions épistémiques y sont implicitement présentes, convictions souvent rassemblées aujourd'hui sous le terme *nature de la science* et objets d'un intérêt croissant quant à leur place dans l'éducation scientifique. Logiquement, les items des tests PISA devraient également inclure ces points. Sans doute serait-il possible de construire des tests de performance qui les incluraient. Mais ce n'est pas le cas ; la conséquence en est que les scores ignoreront cet aspect important. Ceci est d'ailleurs reconnu par PISA 2015, puisque l'acquisition de *convictions épistémiques* y est citée comme importante, mais ne peut s'apprécier que par les réponses aux questions ouvertes.

La présente analyse se limite à un aspect particulier des conclusions que formule en particulier le volume II de PISA 2015. Elle veut souligner d'une part quelques paradoxes, d'autre part un certain nombre de contradictions entre ces conclusions, les principes de *La main à la pâte* et surtout le consensus international qui s'est établi sur la pédagogie d'investigation (IBSE). Le rôle du travail expérimental dans l'enseignement des sciences est également l'objet de conclusions à discuter.

## 5. PISA 2015, QUELQUES PORTES OUVERTES ENFONCÉES ET QUELQUES PARADOXES

Citons d'abord quelques-unes des conclusions qui apparaissent de bon sens, et semblent enfoncer des portes ouvertes :

- ◆ Les résultats de l'enquête PISA montrent que, dans la majorité des systèmes d'éducation, le pourcentage de professeurs de sciences qualifiés n'est pas corrélé à la performance des élèves en sciences. En revanche, **c'est la façon dont les sciences sont enseignées** qui est corrélée à la **performance** des élèves en sciences, à leur **aspiration à exercer une profession scientifique** et à leurs convictions à propos de la **valeur qu'ils attachent à la démarche scientifique** ([17], chap. 1).
- ◆ La performance des élèves en sciences est en étroite corrélation avec **le temps** que ces derniers consacrent à l'apprentissage des sciences et à **la manière** dont celles-ci sont enseignées par leurs professeurs (*ibid.*).
- ◆ Selon les déclarations des élèves, les enseignants dans les établissements défavorisés soutiennent plus souvent les élèves dans leur apprentissage que ne le font les enseignants dans les établissements favorisés (*ibid.*).
- ◆ En moyenne, dans les pays de l'OCDE, les élèves qui fréquentent un établissement proposant des **compétitions de sciences** et ceux qui fréquentent un établissement proposant un **club de sciences** obtiennent respectivement trente-six et vingt-et-un points de plus aux épreuves de sciences, et sont 55 % et 30 % plus susceptibles d'envisager d'exercer une profession scientifique que les élèves scolarisés dans des établissements ne proposant pas ce type d'activités (*ibid.*).

Cette dernière conclusion nous permet de souligner un point faible des analyses PISA : la confusion fréquente entre corrélation et relations de cause à effet. L'un des défauts majeurs et quasi constants de ces enquêtes et de mélanger corrélations et relations de cause à effet sans précaution particulière. L'un des exemples les plus parlants concerne les clubs et ateliers scientifiques. Il va de soi que si, dans un établissement, ce type de chose est proposé, c'est qu'il y a une équipe de professeurs à l'aise, motivés et performants. En outre, on peut faire raisonnablement l'hypothèse que, si dans un tel établissement, seulement une partie des élèves participe à ces activités, ce sont ceux des élèves qui sont le plus à l'aise en science ou, du moins, qui ont plus de goût pour la science. Dès lors, peut-on s'étonner que ces élèves triés, confiés à des professeurs triés,

aient de meilleurs résultats ? Et peut-on raisonnablement déduire que ces meilleurs résultats sont la conséquence des clubs et ateliers ? Dans un effet (la réussite en science) dont les causes sont multifactorielles à un degré élevé, il est sans doute illusoire de chercher à prouver l'effet d'une cause précise isolée.

Poussant l'examen, un certain nombre de conclusions de l'enquête PISA apparaissent tout à fait paradoxales, comme le souligne le norvégien Svein Sjøberg [23] : notamment le fait que les ressources dépensées en faveur de l'établissement paraissent sans corrélation avec les scores obtenus par les élèves de celui-ci. Il en est de même de l'effectif de la classe, qui paraît sans influence sur les scores obtenus par les élèves de cette classe. Les scores se corrélaient même négativement avec les investissements, ainsi qu'avec l'usage des outils modernes de communication (TICE)<sup>(13)</sup> dans la pédagogie... ! Tous ces points paradoxaux mériteraient d'être examinés en détail [24], mais la présente analyse se limite à l'un d'entre eux, celui qui concerne la relation entre les scores des élèves et la pédagogie des sciences qu'ils ont rencontrée. Il est également nécessaire d'examiner les conclusions portant sur le rôle des travaux pratiques et des expériences dans l'enseignement scientifique.

Une démarche semblable à la nôtre, cherchant à s'appliquer au Royaume-Uni, est due à Jonathan Osborne et Robin Miller [25], qui parviennent à des conclusions proches que nous évoquons plus loin.

## 6. PISA 2015 ET L'INVESTIGATION

Nous retenons donc ici une affirmation forte de PISA 2015 qui ne peut qu'interroger les promoteurs d'une pédagogie d'investigation : *Après contrôle du statut socio-économique des élèves et des établissements, une exposition plus importante à l'enseignement fondé sur une démarche d'investigation est corrélée de manière négative à la performance des élèves en sciences, dans cinquante-six pays ou économies. Aussi surprenant que cela puisse paraître, il n'existe aucun système d'éducation dans lequel les élèves ayant déclaré être fréquemment exposé à l'enseignement fondé sur une démarche d'investigation obtiennent un score plus élevé en sciences* ([17], chap. 2, section *L'enseignement des sciences*).

Toutefois, cette affirmation est ainsi complétée : *Néanmoins, dans les pays de l'OCDE, un recours plus fréquent à l'enseignement fondé sur une démarche d'investigation est corrélé de manière positive à de plus fortes convictions épistémiques chez les élèves ainsi qu'à une probabilité accrue qu'ils envisagent d'exercer une profession scientifique à l'âge de trente ans, même si ces corrélations sont plus faibles qu'avec les méthodes d'enseignement dirigé par l'enseignant ou de pédagogie différenciée* (ibid.).

(13) TICE : Technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement.

C'est d'abord la validité de la première partie de l'affirmation, très négative et posée à partir des résultats de 2015, qui mérite d'être interrogée.

Il est évident que les scores ne peuvent donner eux-mêmes des informations solides sur les pédagogies auxquelles l'élève fut exposé lors de ses études scientifiques, depuis l'école primaire jusqu'en fin de collège (15 ans). PISA tente donc de cerner cette question en faisant l'hypothèse que l'élève a rencontré une pédagogie dominante lors de sa scolarité, et que les réponses à des questions ouvertes spécifiques permettront de la déterminer. Une typologie est développée entre quatre pédagogies, supposées distinctes et désignées ainsi :

- a/ *enseignement des sciences dirigé par l'enseignant* ;
- b/ *perception du feed-back de la part des professeurs de sciences* ;
- c/ *pédagogie différenciée pendant les cours de sciences* ;
- d/ *enseignement fondé sur une démarche d'investigation*.

Pour chacune d'entre elles, un ensemble de questions spécifiques est posé aux élèves qui y répondent librement, soit respectivement quatre questions pour a/, cinq pour b/, trois pour c/ et neuf pour d/. Ces questions sont censées permettre d'identifier la pédagogie dominante qu'a pratiquée le professeur de cet élève de 15 ans – ou les professeurs s'il en a rencontré plusieurs, ce qui est vraisemblable. PISA fait remarquer que ces quatre pédagogies peuvent être corrélées et ne sont pas mutuellement exclusives : un indice de corrélation entre elles est même construit. Mais l'essentiel des conclusions repose sur un ensemble de quatre indices ( $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ ,  $I_d$ ), lesquels positionnent, pour chaque pays, chacune des pédagogies par rapport à sa valeur moyenne, prise sur les pays de l'OCDE. Une valeur positive d'un des indices signifie que la pédagogie concernée (a/, b/, c/ ou d/) est pratiquée davantage dans ce pays particulier qu'elle ne l'est en moyenne dans les pays OCDE, négative signifiant l'opposé.

Ces quatre indices permettent alors plusieurs comparaisons : comparer la pédagogie retenue comme dominante pour un élève donné au score de cet élève ; la comparer aux réponses de cet élève aux questions ouvertes, concernant d'une part sa compréhension de la nature de la science (*convictions épistémiques*), d'autre part l'existence d'un projet professionnel éventuellement lié à la science (*carrière scientifique*).

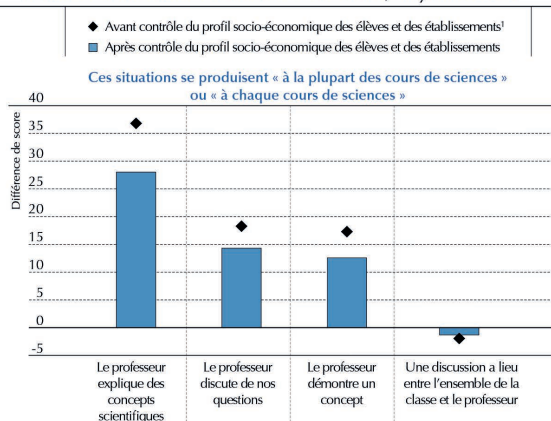
Examinons plus en détail les conclusions tirées pour chacune de ces pédagogies :

#### **a/ Enseignement des sciences dirigé par l'enseignant**

Voici les quatre questions (ouvertes) posées, auxquelles l'élève interrogé doit répondre : *À quelle fréquence les situations suivantes se présentent-elles durant les cours de sciences ?* 1. *Le professeur explique des concepts scientifiques.* 2. *Une discussion a lieu entre l'ensemble de la classe et le professeur.* 3. *Le professeur discute de nos questions.* 4. *Le professeur démontre un concept.* Une réponse positive à ces questions suggère un bon enseignant, classique, dont la pratique pédagogique pourrait d'ailleurs être plus ou moins proche de l'investigation, même si ce n'est pas explicité.

L'impact de cette pédagogie est analysé dans le graphique II.2.14, reproduit ci-dessous (cf. figure 3), qui établit la corrélation avec les scores. L'effet de ces comportements pédagogiques tels que perçus par les élèves, notamment les trois premiers, est indiscutablement positif, produisant des scores largement supérieurs à la moyenne. Ceci n'est guère surprenant.

Graphique II.2.14 ■ **Enseignement des sciences dirigé par l'enseignant et performance en sciences**  
Résultats fondés sur les déclarations des élèves, moyenne OCDE



1. Le profil socio-économique est mesuré par l'indice PISA de statut économique, social et culturel.

Remarque : Toutes les différences sont statistiquement significatives (voir l'annexe A3).

Source : OCDE, Base de données PISA 2015, tableau II.2.18.

**Figure 3** - Scores de ceux des élèves (rapportés à la moyenne OCDE) qui ont qualifié leurs professeurs selon les quatre critères de la pédagogie a/ (enseignement dirigé par l'enseignant).

On peut examiner également le graphique II.2.13 (non reproduit ici), qui classe les pays et qui mesure les trois retombées (scores, convictions épistémiques, carrière) pour les jeunes relativement à cet indice  $I_a$ . Sans beaucoup de surprise non plus, les retombées sont toutes extrêmement positives !

### b/ Perception du feedback de la part des professeurs de sciences

On a souvent souligné l'importance de ce retour d'information vers le professeur. S'agissant de la pédagogie d'investigation, les travaux de Wynne Harlen, associée à un groupe d'experts issus de pays où se sont développés des projets pilotes IBSE [26] insistent sur l'évaluation formative comme un guide indispensable à la pratique et à l'évolution pédagogique du professeur. *La main à la pâte* aboutit à des conclusions similaires, avec les enquêtes publiées par Monique Delclaux et Édith Saltiel [27]. Sans entrer ici dans le détail de l'analyse du cas b/ par PISA, remarquons simplement que l'indice construit sur cette pédagogie du *feedback* ( $I_b$ ) est particulièrement négatif en France ( $I_b = -0,3$ , alors que les autres pays s'étagent entre  $-0,5$  et  $+0,5$ ), l'indice étant de

surcroît corrélé avec des scores négatifs des élèves.

### c/ Pédagogie différenciée dans les cours de sciences

Il s'agit ici d'identifier les élèves dont les enseignants usent d'une pédagogie différenciée et d'apprécier les scores associés. Les trois questions utilisées évoquent la flexibilité dont font preuve les enseignants, leur capacité d'adapter le cours en fonction des élèves, y compris bien sûr de ceux éprouvant des difficultés. Cet aspect est évidemment fondamental face à des classes hétérogènes, ou à des élèves en difficulté, dès que l'on affirme rechercher un enseignement des sciences destiné à *tous* les élèves, ce qui pour *La main à la pâte* est un objectif constamment réaffirmé. Citons l'une des conclusions de PISA, très positive quant à l'usage de cette pédagogie : *Il est intéressant de constater que, dans presque tous les systèmes d'éducation ayant pris part à l'enquête PISA 2015, les élèves ayant déclaré que leur professeur de sciences utilise plus fréquemment la pédagogie différenciée obtiennent un score plus élevé aux épreuves de science ; et dans tous les systèmes d'éducation, ces élèves possèdent également des convictions épistémologiques plus solides* ([17], graphique II.2.16).

Il est intéressant de noter que la France présente un indice fortement négatif ( $I_c = -0,3$  sur une échelle de  $-0,4, +0,5$ ), alors que les retombées, qui sont négatives sur les scores des élèves, sont positives sur les acquis épistémiques et sur les perspectives d'avenir ([17], graphique II.2.16). Ainsi, malgré une forte absence de pédagogie différenciée et l'impact que cela entraîne sur les scores, les sciences restent comprises par ces élèves (convictions épistémiques positives) et intéressantes (avenir positif).

### d/ Enseignement fondé sur une démarche d'investigation

Vérifions d'abord quelle est la définition de cette démarche pédagogique, que retient PISA 2015. Elle est classique et est empruntée à l'article de référence [10], souvent cité quant aux performances de IBSE. À quelques variations près, elle est également conforme aux principes énoncés par *La main à la pâte*. La voici : *La démarche d'investigation fait référence aux façons dont les scientifiques étudient le monde naturel, proposent des concepts, et expliquent et étayent des hypothèses sur la base de faits découlant de travaux scientifiques (Hofstein et Lunetta [28]). Dans les cours de sciences, l'enseignement fondé sur une démarche d'investigation consiste à faire participer les élèves à des expériences et des travaux pratiques, mais également à les stimuler et à les encourager à mieux appréhender les concepts scientifiques. On attend des élèves très performants en sciences qu'ils comprennent, expliquent et débattent des concepts scientifiques, qu'ils élaborent et mènent des expériences puis qu'ils communiquent les résultats, et qu'ils établissent un lien entre les problèmes de la vie réelle et leurs investigations ainsi que les concepts scientifiques dont ils ont connaissance* [10].

Plusieurs études récentes (2009 à 2012), toutes anglo-saxonnes, sont ensuite citées, mettant en avant les côtés positifs de l'investigation. Un premier caveat est énoncé sur l'apport des travaux pratiques, que nous partageons, puisqu'il souligne combien il est

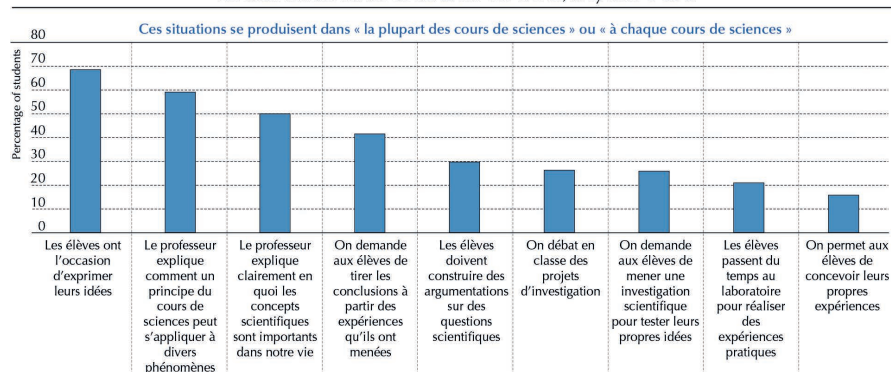
important que les TP conduisent à faire émerger des concepts et pas simplement à manipuler des objets. Nous revenons plus loin sur ce point précis. Puis sont mentionnées les réticences de nombreux professeurs vis-à-vis de l'investigation, plus centrée sur le travail expérimental, car elle leur prend du temps et ils doutent de son efficacité quant à l'acquisition de connaissances. Ici encore, l'indice  $I_d$  est construit à partir des réponses ouvertes des élèves à neuf questions (soit au moins le double du nombre de questions posées pour a/, b/ ou c/). Rappelons ici ces neuf questions, auxquelles les réponses vont permettre d'apprécier si l'élève est, ou non et dans quelle mesure, exposé à une pédagogie d'investigation :

1. Les élèves ont l'occasion d'exprimer leurs idées.
2. Les élèves passent du temps au laboratoire pour réaliser des expériences pratiques.
3. Les élèves doivent construire des argumentations sur des questions scientifiques.
4. On demande aux élèves de tirer les conclusions à partir des expériences qu'ils ont menées.
5. Le professeur explique comment un principe du cours de sciences peut s'appliquer à divers phénomènes.
6. On permet aux élèves de concevoir leurs propres expériences.
7. On débat en classe des projets d'investigation.
8. Le professeur explique clairement en quoi les concepts scientifiques sont importants dans notre vie.
9. On demande aux élèves de mener une étude scientifique pour tester leurs propres idées [17].

Une première analyse consiste à examiner quelle proportion d'élèves, en moyenne sur les pays de l'OCDE, répond positivement à chacune de ses neuf questions (cf. figure 4, graphique II.2.18).

Graphique II.2.18 ■ **Enseignement fondé sur une démarche d'investigation dans les cours de sciences**

Résultats fondés sur les déclarations des élèves, moyenne OCDE



[17] Graphique II.2.18.

Source : OCDE, Base de données PISA 2015, tableau II.2.26.

**Figure 4** - Proportion d'élèves (en moyenne OCDE) qui ont qualifié leurs professeurs selon chacun des neuf critères de la pédagogie d'investigation).

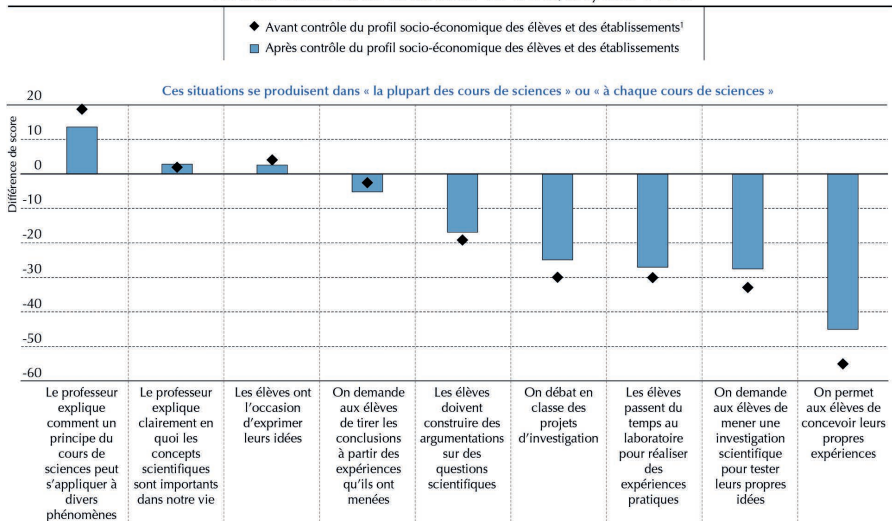


À l'exception des deux premières questions et quel que soit le critère retenu parmi les neuf, on constate que moins de la moitié des élèves déclare avoir été exposé à un de ces critères, pourtant retenu comme étant caractéristique d'une pédagogie où domine l'investigation. Cela laisse penser que la catégorie *investigation* correspond à des pratiques professorales extrêmement hétérogènes – ce que confirme l'expérience de *La main à la pâte* depuis 1995, en primaire comme au collège. Ce graphique II.2.18 présente également quelques contradictions : par exemple 30 % des élèves affirment devoir tirer des conclusions des expériences qu'ils ont menées, alors que seuls 15 % peuvent concevoir leur expérience, et 20 % passent du temps au laboratoire, ces deux dernières proportions n'étant probablement pas cumulables.

L'analyse peut se poursuivre en recherchant la corrélation du score de l'élève avec chacune des neuf réponses aux questions (cf. figure 5, graphique II.2.20) : le résultat est évidemment très inquiétant, surtout lorsqu'il est comparé aux graphiques issus de la pédagogie a/ (II.2.14 ci-dessus) : ici, les pratiques d'investigation des professeurs produisent des impacts systématiquement négatifs sur les scores, et tout particulièrement lorsqu'il s'agit de travail expérimental (trois derniers critères). C'est précisément

Graphique II.2.20 ■ Enseignement fondé sur une démarche d'investigation et performance en sciences

Résultats fondés sur les déclarations des élèves, moyenne OCDE



1. Le profil socio-économique est mesuré par l'indice PISA de statut économique, social et culturel.

Remarque : Toutes les différences sont statistiquement significatives (voir l'annexe A3).

Source : OCDE, Base de données PISA 2015, tableau II.2.28.

[17] Graphique II.2.20.

Figure 5 - Différence absolue de score (par rapport à la moyenne OCDE, valant 493) des élèves qui ont qualifié la pédagogie de leur professeur selon les neuf critères de la catégorie d/ (investigation).

cet impact si négatif sur les scores qui motive la conclusion pessimiste citée plus haut, concernant tous les systèmes d'éducation et la pratique de l'investigation en leur sein par certains professeurs.

Particulièrement paradoxale est la conclusion suivante, relative aux cases de droite de ce graphique II.2.20 : *À l'autre extrémité du spectre, les activités liées aux expériences et les activités de laboratoire sont les plus fortement corrélées de manière négative à la performance en sciences. Tandis que ces preuves corrélationnelles doivent être interprétées avec prudence – par exemple, les enseignants peuvent utiliser des travaux pratiques pour rendre les sciences plus intéressantes aux yeux des élèves démotivés [...] – elles suggèrent que certains des arguments en défaveur du recours aux travaux pratiques en cours de science ne devraient pas être totalement ignorés. Parmi ces arguments, l'on retrouve le fait que ces activités ne favorisent pas l'acquisition de connaissances fondamentales, qu'elles sont une perte de temps ou qu'elles ne sont efficaces que lorsque le laboratoire est bien équipé et l'enseignant correctement préparé ([17], chapitre 2).*

La question des travaux pratiques et des activités expérimentales étant essentielle, nous y revenons plus bas de façon plus approfondie.

Outre les scores, quels sont alors les impacts de cette pédagogie d/ qui semble mise en œuvre de façon si partielle, puisque limitée à une petite moitié des élèves interrogés ? L'indice  $I_d$  est fabriqué comme dans les cas précédents. Positif, il signifie que la pédagogie, dans ce pays particulier, est pratiquée davantage qu'elle ne l'est en moyenne dans les pays OCDE, négatif signifiant l'opposé. Comme indiqué plus haut, il est possible d'examiner la valeur de l'indice  $I_d$  pour chaque pays et d'étudier sa corrélation avec les aspects épistémiques et carrière, tels que déclarés par les élèves. Nous ne reproduisons pas ici le graphique II.2.19 [17], assez complexe, qui fournit ces informations. Sans entrer dans son interprétation détaillée, nous y notons néanmoins les points suivants :

- ◆ Le résultat pour la France montre une valeur légèrement positive  $I_d = + 0,2$  (sur une échelle de  $- 0,7$  à  $+ 0,7$ ), qui traduirait donc une certaine pénétration de la pratique de l'investigation chez les professeurs.
- ◆ On note que les pays qui se placent en tête du classement PISA 2015 en sciences (Japon, Corée, Taiwan, Shanghai, Finlande) sont aussi ceux où la pratique de l'investigation n'est que très peu citée par les élèves. Ceci n'est pas surprenant, car l'on sait que ces pays préparent intensément à la réussite à des examens qui sont le plus souvent du même type que les QCM fournissant les scores de PISA.
- ◆ Il existe néanmoins une certaine corrélation entre les valeurs positives de  $I_d$  et les convictions épistémiques ainsi que la vision des carrières futures. Ce point positif a déjà été souligné plus haut, et n'est pas ignoré par PISA 2015 avec cette observation très importante : *Néanmoins, pour les pays OCDE, un enseignement fondé davantage sur l'investigation est positivement corrélé à des élèves possédant des convictions épistémiques plus*

*fortes et visant une carrière reliée aux sciences à l'âge de 30 ans.*

Notons enfin que l'examen d'un dernier graphique [17] (graphique II.2.22, non reproduit ici) confirme que le découpage entre les quatre modèles pédagogiques trouve rapidement ses limites, lorsqu'il s'agit d'en classer les bienfaits. Comparant l'impact des quatre pédagogies sur les aspirations des élèves à exercer une profession scientifique, on y constate d'assez fortes disparités, mais celles-ci disparaissent totalement après contrôle (c'est-à-dire correction) du score et du profil socio-économique.

Nous revenons ci-dessous sur les conclusions qui peuvent être tirées de ces analyses, mais il nous faut auparavant traiter un point essentiel, celui des activités expérimentales proposées aux élèves.

## 7. LE RÔLE DE L'EXPÉRIMENTATION ET DES TRAVAUX PRATIQUES

Ce point est particulièrement important, dans la mesure où *La main à la pâte*, et plus généralement la pédagogie d'investigation, attachent une importance particulière aux situations expérimentales, soulignant la nécessité pour l'élève d'expérimenter par lui-même sur des dispositifs simples. C'est également une constante dans la façon dont les physiciens, à l'UdPPC ou ailleurs, conçoivent un bon enseignement de physique. On aura noté que PISA 2015 constate déjà l'ambivalence que peuvent présenter les tâches expérimentales, selon la façon dont elles sont proposées et exploitées par l'enseignant, en soulignant : «...le fait que ces activités ne favorisent pas l'acquisition de connaissances fondamentales [celles que justement le test et le score veulent mesurer], qu'elles sont une perte de temps [pour l'enseignant ?] ou qu'elles ne sont efficaces que lorsque le laboratoire est bien équipé, et l'enseignant correctement préparé ». PISA rappelle également l'avis d'experts, dont au moins la première partie semble une évidence, à savoir : «...certains experts mettent en garde sur le fait que les activités de laboratoire améliorent l'apprentissage uniquement lorsqu'elles sont conçues avec soin et correctement structurées, et lorsque les élèves manient des concepts en plus de manipuler des objets » (Avi Hofstein et Vincent N. Lunetta [28] ; B.E. Woolnough [29]). Tout est dit, la quantité ne remplace pas la qualité !

John Holman, chimiste britannique qui a créé en 2006, principalement en Angleterre, les excellents outils de développement professionnel que sont les *National Science Learning Centres*, commente ainsi ce point, citant une vaste enquête internationale qu'il conduit sur le rôle du travail expérimental (*practical work*)<sup>(14)</sup> : *Il est vrai que les scores PISA corrélaient négativement avec la fréquence des activités expérimentales. Ceci n'est pas une surprise, bien des enseignants estiment que ces activités ne sont pas nécessairement la meilleure façon de préparer les élèves aux tests écrits. Mais il ne faut pas défendre ces activités à la lumière des tests.*

(14) Gatsby Foundation (UK), *International review of practical science* : <http://www.gatsby.org.uk>

*Elles ont plusieurs buts, dont le moindre n'est pas de motiver les élèves et de leur montrer une attitude scientifique fondamentale. PISA confirme qu'une pratique fréquente de telles activités corréle positivement avec les convictions épistémiques et les choix d'avenir [30].*

Il est intéressant d'examiner également l'enquête « i3 » (2015-2016) faite aux États-Unis au sein du projet LASER (Leadership and Assistance for Science Education Reform) porté par la Smithsonian Institution [31]. Cette enquête concerne les niveaux 1-8, donc des âges précédant celui étudié par PISA (15 ans). Il y est montré que l'impact des activités expérimentales (*hands-on*) est significatif sur les tests de performance, mais presque nul sur les scores des tests QCM.

Le *Education Committee* de la Royal Society (UK) s'est également ému des conclusions de PISA 2015 au sujet de l'investigation et s'est engagé dans la préparation d'un document sur ce point : *Once we have gathered information together, we will develop a narrative that we can use externally when we talk about the importance of experimental science* [32]. Le *Wellcome Trust* (UK), très actif dans les actions de développement professionnel des enseignants de sciences, publie un *Science Education Tracker*<sup>(15)</sup>, qui identifie le rôle positif de la pratique expérimentale en tant que facteur de motivation à étudier les sciences. Ce point est également mis à l'étude par OFSTED (*Office for Standards in Education, Children's Services and Skills*), organisme non-gouvernemental faisant rapport au Parlement britannique.

Pour conclure sur cette question, il semble bien que l'analyse de PISA demeure sommaire vis-à-vis de la pratique expérimentale. Il est utile d'accumuler des contre-témoignages et études, afin que cette analyse ne serve pas de prétexte à supprimer la part expérimentale, relativement coûteuse en matériel et efforts, ou à la réduire au bénéfice de simulations informatiques plus aisées à mettre en œuvre.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons souligné l'importance du développement de la pédagogie d'investigation depuis deux décennies, tout particulièrement pendant les années de l'école primaire et de collège, où la compréhension du processus de la science, les capacités de raisonnement, le développement de la curiosité, le contact direct avec les phénomènes sont des objectifs aussi essentiels que l'accumulation de connaissances ou l'habileté à résoudre un problème plus ou moins artificiel. Nous avons également évoqué un certain nombre d'enquêtes qui mettent en évidence les aspects positifs de cette pédagogie, lorsqu'elle est bien pratiquée.

Sa mise en cause par PISA 2015, toute partielle qu'elle soit, ne peut donc laisser

(15) <https://wellcome.ac.uk/news/hands-on-practical-science>

indifférent. Nous avons donc tenté de juger les critères utilisés, et pouvons aboutir à un certain nombre de points qui résultent de notre analyse.

1. L'absence d'impact, ou même l'impact négatif, de la pédagogie d'investigation sur les scores obtenus aux tests PISA ne la disqualifient pas. Son objectif, distinct de ce qu'évaluent les tests, n'est pas directement mesuré par eux. Toutefois, d'autres éléments contenus dans PISA, par ses questions ouvertes, en révèlent un impact positif, justement sur des objectifs jugés essentiels pour tout enseignement scientifique (goût pour la science, convictions épistémiques, orientations de carrière).
2. En interprétant les déclarations des élèves, la mise en œuvre de cette pédagogie – dont on sait les exigences pour l'enseignant – laisse dans bien des cas à désirer, et ceci dans la plupart des pays concernés. D'où un biais professeur négatif : si l'investigation n'a pas tous les effets attendus, c'est largement à cause des exigences de sa mise en œuvre, et du temps de développement professionnel requis du professeur pour y devenir expert. En comparaison, un enseignement dirigé par le professeur, très classique, est plus aisément pratiqué et ses résultats sont plus immédiatement favorables.
3. Opposer «pédagogie d'investigation» (d/) et «enseignement dirigé par le professeur» (a/) est sans doute excessif, puisque un enseignement scientifique idéal, notamment au collège, doit savoir combiner ces deux pédagogies, et même les deux autres (b/ «rôle du feedback» et c/ «pédagogie différenciée»).

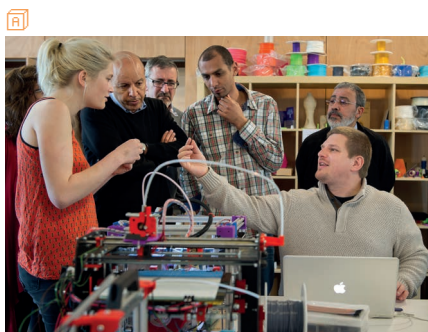
Il existe des éléments non mesurables directement, fruits de la pédagogie d'investigation. En effet, si l'on teste une performance classique, bien travaillée dans le cadre d'un enseignement traditionnel, il n'y a pas de raison qu'un enseignement non traditionnel fasse mieux. En isolant un paramètre de succès, on obtient certes une valeur mesurable, mais on n'a pas une idée globale de la complexité d'un apprentissage. La méthode PISA est réductionniste par nature. Elle fonctionne sur une logique d'agence de notation. On voit quel est l'effet des agences de notations sur l'économie des pays. Je ne rêve pas d'une vision du système éducatif commandée par cette logique. Si PISA apporte indiscutablement des éléments d'analyse intéressants, les interprétations trop classantes ont peu d'intérêt.

Il serait néanmoins regrettable que certaines des observations faites par PISA 2015 n'aient aucun impact sur la stratégie dont *La main à la pâte* s'est faite l'avocate en promouvant la pédagogie d'investigation aux côtés de nombreux autres projets pilotes dans le monde. Ceci est particulièrement important au collège (cycle 4), où il faut viser davantage une combinaison d'enseignement dirigé (a/) et d'investigation (d/). Peut-on proposer ici quelques points de vigilance ?

- ◆ En comparant les questions posées aux élèves pour mesurer l'emploi des pédagogies a/ et d/, on peut noter que les premières donnent un rôle essentiel au professeur, alors que les secondes sont davantage centrées sur les élèves. On peut donc faire l'hypothèse que les professeurs d/ négligent quelque peu le rôle de guide et d'accompa-

gnement de l'élève qu'assument mieux et plus traditionnellement les professeurs a/, avec pour résultat un moins bon score des élèves dans le cas d/.

- ◆ Cette remarque pourrait confirmer le fait que l'investigation est difficile à conduire, et qu'une mauvaise pédagogie d/ est pire qu'une mauvaise pédagogie a/ quant aux acquisitions des élèves. Les professeurs pratiquant d/ ont-ils les éléments d'auto-évaluation par exemple, qui leur permettraient de faire évoluer leur pratique, moins traditionnelle que celle de ceux pratiquant a/ ? Comme l'ont souligné fortement Wynne Harlen [26] et Monique Delclaux & Édith Saltiel avec leurs grilles d'observation [27], la pratique d'une évaluation formative est une condition nécessaire pour qu'un professeur « novice » devienne en quelques années un « expert » en investigation. On estime volontiers que deux à trois années de pratique accompagnée sont nécessaires. Le rôle des *Maisons pour la science au service des professeurs*, installées sur proposition de l'Académie des sciences depuis 2012 dans neuf grandes universités, et accueillant désormais près de dix mille enseignants (primaire et collège) chaque année, peut être décisif pour poursuivre cette évolution (cf. figure 6). Une analyse convergente est donnée par Osborne et Millar qui écrivent au sujet des résultats de PISA 2015 sur l'investigation : *« These findings run counter to what many might expect [...] Our best interpretation of this finding is that such activities are frequently done without sufficiently clear learning goals. Abrahams and others [33] have pointed out that, too often, a whole lesson can be devoted to some form of practical science investigation and then the opportunity to discuss and evaluate the findings and explore their meanings often skipped in the rush at the end. Likewise, much classroom discussion can descend into what has been called “epistemically meaningless chat” if the teacher does not have a clear sense of what might constitute epistemic progress to well-defined learning goals. When a teacher explains an idea, he or she usually has a very clear understanding of what a successful learning outcome might be, whereas the intended cognitive outcomes of practical work or class discussion are often less well defined »* [25].



© Sébastien di Silvestro



© CEA

**Figure 6** - L'investigation aux côtés de scientifiques de métier : mise en situation de professeurs.

**A** Dans la *Maison pour la science au service des professeurs* en Lorraine (Nancy), autour de l'impression 3D - **B** Au Centre national de la Fondation *La main à la pâte*, ENS Paris à Montrouge, étude du tsunami.

- ◆ L'intérêt apporté par PISA 2015 aux convictions épistémiques des élèves rejoint une préoccupation fondatrice de *La main à la pâte*, à savoir faire comprendre aux élèves, au-delà des connaissances proprement dites, la nature de l'activité scientifique [34]. Notons ici que cet objectif se distingue du mouvement anglo-saxon désigné aujourd'hui par *Nature of Science* (NoS), qui entre dans un débat épistémique sur l'objectivité des conclusions scientifiques, en relativisant parfois celle-ci de façon discutable, et se propose d'y faire entrer les professeurs et les élèves.
- ◆ Dans les documents PISA [17-18], toutes les références sans exception viennent du monde anglo-saxon, en fait essentiellement des États-Unis et du Royaume-Uni. Malgré vingt ans de pratique de *La main à la pâte* en primaire et dix ans au collège, rien n'en porte la trace dans les analyses de ce PISA 2015, publiées par l'OCDE. Ceci, une fois encore, met le doigt sur une dommageable absence au sein de la littérature de recherche anglophone, et sur le manque de publications critiques portant sur la mise en œuvre de l'investigation ! Puisqu'en France l'investigation est une pédagogie recommandée depuis quinze ans (socle commun 2006, programmes 2002 et 2015 de l'école, programmes 2015 du collège), des nouvelles enquêtes différentielles et fines seraient souhaitables. Peut-être même la valeur positive de l'indice  $I_d$  pour la France ([17], graphique II.2.19, non reproduit ici) souligne-t-elle un début de pénétration importante de cette pédagogie ? Néanmoins, on peut s'interroger sur la fraction d'élèves de 15 ans, ayant passé les tests de PISA 2015, qui auraient été exposés de façon substantielle à l'investigation. Cette fraction était sans doute alors bien faible<sup>(16)</sup>.
- ◆ Conduire une enquête sur la pratique de l'évaluation formative et en stimuler le développement paraît désormais une urgence. Celle-ci est bien perçue par les instances qui souhaitent améliorer l'enseignement scientifique de base. Citons ici la réforme, qui débute en 2018, de l'enseignement scientifique à Taiwan et le projet particulièrement intéressant de développement parallèle d'une évaluation formative par Andrew Jen (National Academy for Educational Research, Taiwan) [35].

Nous n'avons pas, au cours de la présente et brève analyse, formulé d'observa-

(16) En 2015, les élèves arrivant en troisième ou seconde avaient été au collège en classe de sixième en 2012 ou 2013. À cette époque, environ cent cinquante collèges présentaient l'EIST, en réalité pas même pour toutes leur classes de sixième, et très peu de cinquième. On peut donc calculer que la probabilité que ces élèves appartiennent aux deux cent cinquante collèges sélectionnés (sur sept mille au total) est extrêmement faible. En revanche, ces élèves avaient été à l'école primaire entre 2007 et 2012, époque où la pénétration de Lamap était de l'ordre de 40 à 50 % des classes, mais la pratique de l'investigation ne concernait alors qu'une fraction d'entre elles. En supposant que cette pratique atteignait 20 % (chiffre optimiste), cela donne une chance sur dix aux élèves interrogés d'avoir connu l'investigation en primaire. Encore faut-il supposer que leurs souvenirs étaient assez prégnants pour les amener à répondre aux questions en se référant à leur expérience du primaire, et non aux quatre années de collège qui avaient suivi.



tions plus fondamentales sur l'évolution de PISA, sur le caractère normatif et politique que prennent ses conclusions, ni sur le glissement progressif que cette enquête peut entraîner vers un modèle éducatif mondialisé, sous influence majeure anglo-saxonne, évoluant vers une agence de notation, comme souligné plus haut. Ceci mériterait une analyse beaucoup plus large, déjà entamée en 2015 par Svein Sjøberg dans un remarquable article intitulé *PISA – a global educational race ?* [36].

Les physiciens, ceux de l'UdPPC comme ceux de la Société française de physique et nombre d'universitaires ou de chercheurs, peuvent à juste titre se réjouir d'avoir été, depuis plusieurs décennies, en première ligne dans la mise en valeur d'une pédagogie d'investigation et d'un recours aux activités expérimentales, en insistant sur la construction de concepts qu'elles permettent. L'évolution actuelle, introduisant davantage d'interdisciplinarité et souhaitant atténuer les cloisons entre disciplines au collège et au lycée, suppose un constant dialogue avec les autres sciences (sciences de la vie et de la Terre, technologie, mathématiques). Et de nouveaux champs, tel le changement climatique, appelleront à élargir encore ce dialogue aux sciences sociales. La pédagogie d'investigation a de beaux jours devant elle, si toutefois l'engagement des professeurs, les outils qui sont à leur disposition, les accompagnements dont ils peuvent disposer les préservent d'une pratique trop superficielle, dont les résultats seraient alors portés à son débit.

C'est alors qu'à côté de l'indispensable acquisition de connaissances par leurs élèves, ils pourront développer chez eux ce goût de la science, magnifique acte de pensée combinant raison et imagination, qui pourra les accompagner tout au long de leur existence.

## BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] G. Charpak, P. Léna et Y. Quéré, *L'enfant et la science*, Paris : Odile Jacob, 2005.
- [2] J.-P. Sarmant (MEN/IGEN), « L'opération *La main à la pâte*, l'enseignement des sciences à l'école primaire », Rapport au ministre de l'éducation nationale, 1999.  
[http://www2.cndp.fr/ecole/sciences/rap\\_igen0799.htm](http://www2.cndp.fr/ecole/sciences/rap_igen0799.htm)  
<http://eduscol.education.fr/pid25269-cid46565/cloture-des-travaux.html>
- [3] Décret n° 2006-830 du 11 juillet 2006 relatif au socle commun de connaissances et de compétences. Si le mot « investigation » n'y figure pas explicitement, la pédagogie recommandée « pour la culture scientifique et technique » s'y réfère très précisément.
- [4] *Bulletin Officiel* de l'Éducation nationale, n° 6, annexe 1, 17 avril 2007.

- [5] S. Mathé, M. Méheut et C. de Hosson, « Démarche d'investigation au collège : quels enjeux? », *Didaskalia*, n° 32, p. 41-76, 2008.
- [6] Rapport de l'Académie des sciences, « L'enseignement scientifique et technique dans la scolarité obligatoire : école et collège », 2004.  
<http://www.academie-sciences.fr/fr/>
- [7] C. Amatore, P. Léna, Y. Quéré et B. Salviat, « De l'avenir d'un enseignement intégré de science et technologie : sixième et cinquième », *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 105, n° 935, p. 671-673, juin 2011.
- [8] Un avis du Comité sur l'enseignement des sciences, « L'Académie des sciences et la réforme du lycée », novembre 2010.  
<http://www.academie-sciences.fr/fr/>
- [9] N. Hulin, *Le savant et le professeur*, Paris : L'Harmattan, 2016.
- [10] D.D. Minner, A.J. Levy and J. Century, "Inquiry-Based Science Instruction - What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002", *Journal of Research in Science Teaching*, n° 47, p. 474-496, December 2009.
- [11] G. Brézillon et A. Brun, « Les compétences des élèves en sciences expérimentales en fin d'école primaire », *Note MEN/DEPP 11.05*, janvier 2011.
- [12] G. Bourny et S. Dos Santos, « Les compétences des élèves en sciences expérimentales en fin de collège », *Note MEN/DEPP 11.06*, janvier 2011.s
- [13] F. Romanens, B. Salviat, P. Léna, Y. Quéré et A. Pineau, « Dans le sillage de *La main à la pâte* : expérimentation, au collège, d'un enseignement intégré de science et technologie », *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 101, n° 896, p. 861-873, juillet-août-septembre 2007.  
Voir aussi [30].
- [14] M. Le Cam et O. Cosnefroy, « Évaluation des effets du dispositif expérimental d'enseignement intégré de science et technologie (EIST) », *Education & Formation*, n° 86-87, p. 283 sq., 2015.
- [15] J. Benhaim-Grosse, « L'expérimentation d'un enseignement intégré de science et technologie (EIST) en classes de sixième et de cinquième en 2008-2009 », *Note d'information MEN/DEPP 11.19*, décembre 2011.
- [16] Résultats du PISA 2015, *Excellence et équité dans l'éducation - Volume I*, Paris : OECD, 2016.
- [17] Résultats du PISA 2015, *Politiques et pratiques pour des établissements performants - Volume II*, Paris : OECD, 2016.

- [18] PISA 2015, *Résultats à la loupe*, Paris : OECD, 2016.
- [19] PISA 2015, *Les défis du système éducatif français et les bonnes pratiques internationales*. Paris : OECD, 2016.
- [20] « Les élèves de 15 ans en France selon PISA 2015 en culture scientifique : des résultats stables, toujours marquée par de fortes inégalités », *Note d'information MEN/DEP*, n° 37, décembre 2016.
- [21] N. Coppens, V. Munier, « Évaluation d'un outil méthodologique, le "double QCM", pour le recueil de conceptions et l'analyse de raisonnements en physique », *Didaskalia*, n° 27, p. 41, 2005.
- [22] W. Harlen, *Communication personnelle*, juin 2017.
- [23] S. Sjøberg, "Should we sacrifice Inquiry-Based Science Education (IBSE) in order to climb in PISA-rankings ?", 17<sup>th</sup> Nordic Research Symposium on Science Education, Trondheim, 6-7 June 2017.  
<https://www.ntnu.edu/nfsun2017>
- [24] S. Sjøberg, "PISA Testing, a global educational race", *Europhysics News*, n° 14, p. 19-25, 2017.
- [25] J. Osborne and R. Millar, "Pisa 2015 : findings and some implications for UK science education", *School Science Review*, vol. 98, n° 365, 2017.
- [26] W. Harlen, *Évaluation et pédagogie d'investigation dans l'enseignement scientifique : de la politique à la pratique*, traduit de l'anglais.  
Disponible sur IAP/SEP, 2013 :  
<http://www.interacademies.net/activities/projects/12250.aspx>
- [27] M. Delclaux et E. Saltiel, "An evaluation of local teacher support strategies for the implementation of inquiry-based education in French primary schools", *Education* 3-13 : <http://dx.doi.org/10.1080/03004279.2011.564198>  
En français : « Caractéristique d'un enseignement des sciences fondé sur l'investigation et évaluation de dispositifs d'accompagnement des enseignants », *Review of Science, mathematics and ICT Education*, vol. 7, n° 2, p. 35-51, 2013.
- [28] A. Hofstein and V.N. Lunetta, "The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century", *Science Education*, vol. 88/1, p. 28-54, 2004.  
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.10106>
- [29] B.E. Woolnough, "Setting the scene", in B.E. Woolnough (Ed.), *Practical Science*, Milton Keynes : Open University Press, p. 3-9, 1991.
- [30] J. Holman, *Communication personnelle*, avril 2017.

- [31] LASER, *Smithsonian Institution of Washington*.  
<http://ssec.si.edu/laser-i3>
- [32] R. Mist, *Communication personnelle*, UK : Royal Society, juin 2017.
- [33] I. Abrahams and R. Millar, “Does practical work really work ? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science”, *International Journal of Science Education*, 30, (14), p. 1945-1969, 2008.
- [34] E. Pasquinelli et G. Zimmerman, *Esprit critique, esprit scientifique*, Paris : Le Pommier, 2017.
- [35] A. Jen (Jen, Tsung-Hau), *Communication personnelle*, avril 2017.
- [36] S. Sjøberg, *PISA – a global educational race ?*, in ESERA 2015 Conference. Helsinki, 31 august to 4 september 2015, Springer : to be published, 2017.



**Pierre LÉNA**

*Professeur émérite à l'Université Denis-Diderot*

*Membre de l'Académie des sciences*

Paris