

Quels critères pour quelles démarches d'investigation ? Articuler esprit créatif et esprit de contrôle

Jean-Yves Cariou

► **To cite this version:**

Jean-Yves Cariou. Quels critères pour quelles démarches d'investigation ? Articuler esprit créatif et esprit de contrôle. Recherches en éducation, Université de Nantes, 2015, Les démarches d'investigation et leurs déclinaisons en mathématiques, physique, sciences de la vie et de la Terre, pp.12-33. <<http://www.recherches-en-education.net/IMG/pdf/Resumes-REE-no21.pdf>>. <hal-01535192>

HAL Id: hal-01535192

<https://hal.univ-antilles.fr/hal-01535192>

Submitted on 13 Jun 2017

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.

Quels critères pour quelles démarches d'investigation ?

Articuler esprit créatif et esprit de contrôle

Recherches en Éducation n°21 – Janvier 2015, p. 12-33.

Jean-Yves Cariou¹

Résumé

La promotion internationale des démarches d'investigation (DI) et l'enrôlement sous cette bannière commune, en France, d'approches prônées en sciences expérimentales, en technologie et en mathématiques interrogent sur le(s) sens de ce terme, sur son unité ou sa diversité. Toute mise en activité d'élèves paraît parfois suffire à parler de DI, dès lors que ceux-ci sont actifs ou acteurs. Engager des apprenants dans des DI a cependant un sens profond, qu'éclairer ses origines : des considérations épistémologiques et psychologiques ont historiquement concouru à préconiser une approche dans laquelle les composantes essentielles de l'esprit de recherche, que sont l'esprit créatif et l'esprit de contrôle, peuvent trouver leur place dans le vécu des classes. Des tentatives de définition et de caractérisation ont été faites, sans toujours mettre en relief ces principes fondamentaux. Remettre ceux-ci au premier plan permet d'envisager la spécification de critères pouvant tenir lieu, dans une proposition à visée normative – sans prétendre fixer de norme ultime – de préceptes utiles pour définir et élaborer des DI.

La promotion par les éducateurs d'un apprentissage des sciences par une investigation des apprenants n'est pas une nouveauté : « *du début à la fin, l'élève devrait être un investigateur* », posséder « *l'esprit d'investigation* », proclamait vigoureusement l'un d'eux il y a quelque 120 ans (Mills, 1893). Pour cet auteur, l'élève devrait, comme les scientifiques avant lui, « *apprendre les faits par une méthode et une seule* » : l'usage de ses yeux et de ses mains et la généralisation des faits constatés. Si l'on retrouve la référence manuelle dans les noms des opérations modernes *Hands on* et *La main à la pâte*, considérer en contrepoint que « *l'expérimentation n'est pas la science* » (Orange, 2002) invite à s'interroger sur les critères permettant d'identifier des activités d'enseignement correspondant à ce que l'on peut qualifier de *démarches d'investigation*. L'existence de diverses conceptions à leur sujet pose problème, le terme semblant assez extensible pour accepter sous son aile des tendances fort variées, voire en partie opposées.

Après un état de l'art sur différentes versions des démarches d'investigation (DI) préconisées et sur différentes définitions proposées, destiné à mettre en lumière les critères les plus couramment mis en avant, nous examinerons leurs fondements épistémologiques et psychologiques. Ces éléments seront ensuite utilisés pour en présenter une conception et une modélisation faisant intervenir les critères qui nous paraissent correspondre, de la manière la plus appropriée, à ce qui peut être qualifié de DI.

1. Profils divers des démarches d'investigation

Plusieurs études récentes consacrées aux DI mettent en avant la multiplicité des interprétations possibles des textes curriculaires, leur confusion, la nécessité d'une clarification didactique (Calmettes, 2012, p.22 ; Boilevin, 2013, p.34), la lacune préjudiciable d'une définition claire (Grangeat, 2013, p.157), le manque de précision des termes et l'amalgame avec des approches

¹ Maître de conférences en sciences de l'éducation, Centre de Recherches et de Ressources en Éducation et Formation (CRREF), Université des Antilles et de la Guyane, Laboratoire de Didactique et d'Épistémologie des Sciences (LDES), Université de Genève.

voisines (Engeln, Mikelskis-Seifert & Euler, 2014, p.230). L'absence d'accord sur leurs constituants est désignée comme une entrave à leur développement (NRC, 2012, p.44).

S'il n'est pas envisageable dans le cadre de cet article de passer en revue toutes les définitions et toutes les trames de DI proposées au niveau international, se reporter aux préconisations institutionnelles pour l'*inquiry* aux États-Unis et l'investigation en France ainsi qu'à diverses sources en didactique des sciences permet de mettre en lumière les conceptions les plus courantes relatives à ces démarches.

■ **Préconisations aux États-Unis et en France**

Aux États-Unis, les orientations pour l'*inquiry* sont précisées par un guide (NRC, 2000, p.25-29) qui en liste cinq caractères essentiels (*Essential Features*) : le fait que les apprenants sont engagés par des questions à caractère scientifique ; accordent la priorité aux données (*évidence*), ce qui leur permet de développer et d'évaluer des explications concernant ces questions ; formulent des explications à partir de données pour répondre à ces questions ; évaluent leurs explications à la lumière des explications alternatives, en particulier celles qui reflètent une compréhension scientifique ; communiquent et justifient les explications qu'ils ont proposées.

Ce guide liste également les « *capacités nécessaires pour mener une investigation scientifique* » (NRC, 2000, p.163-167) : concevoir et conduire les investigations en clarifiant les idées qui les guident, considérer les explications des autres élèves, réviser les siennes. Pour le niveau lycée, « *une variété de technologies, telles qu'outils manuels, instruments de mesure et calculatrices doit faire partie intégrante des investigations scientifiques* », tandis que l'usage des mathématiques est déclaré essentiel « *dans tous les aspects d'une investigation* ».

En France, le « *canevas d'une séquence d'investigation* » commun aux disciplines scientifiques au collège (mathématiques, sciences expérimentales et technologie) comporte « *sept moments essentiels* » : le choix d'une situation-problème par le professeur ; l'appropriation du problème par les élèves ; la formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles ; l'investigation ou la résolution du problème conduite par les élèves ; l'échange argumenté autour des propositions élaborées ; l'acquisition et la structuration des connaissances ; la mobilisation des connaissances².

Le premier et le dernier de ces moments paraissent encadrer l'investigation plutôt que la constituer. Le détail du canevas montre qu'elle est basée sur les propositions et les conceptions des élèves et qu'elle comporte une « *réalisation de l'expérience* » dans le cas des sciences expérimentales.

Les grandes lignes des cinq « *caractères essentiels* » américains et des sept « *moments essentiels* » français se recoupent sur les aspects listés dans le haut du tableau 1 ci-après, mais diffèrent pour ce qui est consigné dans le reste de ce tableau.

² B.O. spécial n°6, 28 août 2008.

Tableau 1 - Caractéristiques des DI dans les textes officiels américains et français

Traits communs aux cinq <i>Essential Features</i> des <i>Standards</i> américains et aux sept <i>moments essentiels</i> du canevas français	
<ul style="list-style-type: none"> - L'appropriation d'un questionnement - La proposition d'idées ou d'actions - La participation à un recueil de données - L'élaboration d'explications - La communication et l'engagement dans un débat argumenté - La confrontation au savoir établi 	
Traits particuliers des <i>Essential Features</i> des <i>Standards</i> américains	Traits particuliers des <i>moments essentiels</i> du canevas français
<ul style="list-style-type: none"> - Explications élaborées à partir des données - Moyens divers de recueil de données - Usage nécessaire des mathématiques et de technologies - Importance de la part de responsabilité des élèves 	<ul style="list-style-type: none"> - Conceptions des élèves identifiées et travaillées - Formulation d'hypothèses - « Réalisation de l'expérience » pour les sciences expérimentales - Inclusion d'une phase initiale de préparation par le professeur et d'une phase finale de mobilisation des connaissances

Pour appuyer la préconisation de l'investigation, le guide du NRC consacre un chapitre de « plaidoyers » aux résultats de recherches qui la soutiennent (2000, p.115-128). Un accord général sur les constituants de la DI n'existe cependant toujours pas parmi les chercheurs, comme l'indiquent différentes études.

■ **Caractérisations et définitions des DI dans la recherche en éducation scientifique**

D'autres caractérisations des DI ont été proposées par différents auteurs, dans le cadre de leurs recherches ou dans celui de projets éducatifs. Nous en considérons quelques exemples dans cette partie, afin de montrer la diversité des conceptions de la DI lorsqu'on les considère dans le détail, puis de tenter de dégager des points de consensus minimal (tableau 2 ci-après). Ces caractérisations résultent dans tous ces cas de choix opérés par les auteurs pour définir ou décrire ce qui, selon eux, permet de spécifier ce qu'est une DI, de l'identifier ou/et de proposer une orientation des pratiques.

- Linn, Davis et Bell (2004, p.4) donnent une définition fréquemment reprise : « *Par définition, une investigation est un processus intentionnel de diagnostic des problèmes, de critique des expériences réalisées, de distinction entre les alternatives possibles, de planification des recherches, de recherche d'hypothèses, de recherche d'informations, de constructions de modèles, de débat avec des pairs et de formulation d'arguments cohérents.* » Il n'est pas précisé si tous ces aspects doivent être présents conjointement pour que l'ensemble puisse être défini comme une investigation, ou s'il s'agit d'activités alternatives possibles.
- Morge et Boilevin (2007, p.45) proposent, à partir d'une analyse comparative de séquences : « *une séquence d'enseignement est, selon nous, une séquence d'investigation si 1) l'élève effectue un ou des apprentissages au cours de la séquence... 2)... en réalisant des tâches qui ne sont pas uniquement des tâches d'ordre expérimental... 3)... et en participant à la recherche de validité des productions des autres élèves* ». La formulation plus détaillée de ces critères (p.156) est intégrée dans le tableau 2.

- Minner, Levy et Century (2010) établissent cinq composantes : élaborer des questions, concevoir des expériences, collecter des données, tirer des conclusions, communiquer les résultats.
- Grangeat (2013) scrute les DI selon six dimensions, « *critères permettant d'identifier* » celles-ci : origine du questionnement, nature plus ou moins ouverte du problème, responsabilisation des élèves, prise en compte de leur diversité, rôle de l'argumentation, explicitation des savoirs acquis.
- Le projet européen *Mind the Gap* (2008-2010) retient : apprentissage basé sur des problèmes, expérimentations et activités pratiques, autonomie et implication active des élèves, communication argumentative et dialogues³.
- Le projet européen *Fibonacci* (2010-2013) inclut « *un modèle d'apprentissage des sciences par l'investigation*⁴ » : les élèves s'interrogent sur le pourquoi d'un phénomène, avancent des explications possibles, en discutent, choisissent une hypothèse, en tirent une prédiction, planifient un test, collectent de nouvelles données qui sont analysées et interprétées, répètent cette séquence pour plusieurs prédictions et parviennent à une conclusion.

Notons que les auteurs du nouveau projet européen ASSIST-ME (2013-2016)⁵ recommandent (p.40-41) de suivre la définition de Linn et *al.* pour les sciences et la technologie, retenant pour les mathématiques la description présentée dans le projet *Fibonacci*. Ils indiquent, pour les sciences, que « *la plupart des publications dans ce domaine de recherche font référence à la définition de Linn, Davis et Bell (2004) qui décrivent l'inquiry comme un processus en neuf étapes (steps) débutant par le diagnostic de problèmes et se terminant par la formation d'arguments cohérents* » (p.3 et 51), interprétant ainsi comme des étapes ordonnées les aspects mentionnés par ces auteures.

Le tableau 2 ci-après présente ces critères en les regroupant selon des catégories construites à partir de l'analyse de ces sources : d'autres regroupements sont bien sûr possibles et certains caractères sont communs à plusieurs de ces ensembles.

³ <http://www.kuttanar.hu/mind-the-gap>, consulté le 7 novembre 2013.

⁴ [../AppData/Local/Microsoft/Windows/Temporary Internet Files/AppData/Local/Microsoft/Windows/Temporary Internet Files/Downloads/inquiry_in_science_education.pdf](http://fibonacci.uni-bayreuth.de/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/Dokumente/startingpackage/background/inquiry_in_science_education.pdf&t=1408297939&hash=349c504d17d3ae00ddb4aa1936c0692) http://fibonacci.uni-bayreuth.de/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/Dokumente/startingpackage/background/inquiry_in_science_education.pdf&t=1408297939&hash=349c504d17d3ae00ddb4aa1936c0692, p.5, consulté le 7 novembre 2013.

⁵ http://assistme.ku.dk/project/wp2/131015_del_2_5_IPN.pdf, , consulté le 2 mai 2014.

Tableau 2 - Critères caractérisant les DI selon différentes sources didactiques

Critères relatifs ↓ à/aux ↓	<i>Linn et al.</i> (2004)	<i>Morge et Boilevin</i> (2007)	<i>Projet Mind the Gap</i> (2008-2010)	<i>Minner et al.</i> (2010)	<i>Projet Fibonacci</i> (2010-2013)	<i>Grangeat</i> (2013)
Interrogations	diagnostic des problèmes		apprentissage basé sur des problèmes	élaborer des questions	interrogation sur le "pourquoi" d'un phénomène	origine du questionnement nature du problème
Conception et planification de recherches	planification des recherches recherche d'hypothèses			concevoir des expériences	explications possibles choix d'hypothèses prédictions planification de tests	et conception du protocole
Autres tâches conceptuelles	construction de modèles distinction entre les alternatives possibles formulation d'arguments cohérents	tâches d'ordre conceptuel à la charge des élèves contrôle des productions des autres élèves par la recherche de leur validité, leur cohérence		tirer des conclusions argumentation discursive et communication avec les pairs	analyse interprétation conclusion discussion d'hypothèses	rôle de l'argumentation
Débats, argumentation, communication, interactions sociales	critique des expériences réalisées débat avec des pairs			communiquer les résultats		
Réalisations, productions	recherche d'informations, construction de modèles	enchaînement de tâches dont l'enseignant délègue la réalisation aux élèves élaboration de productions	expérimentations et activités pratiques	collecter des données	collecte de nouvelles données	
Acquisitions		apprentissage à travers la réalisation des tâches				explicitation des savoirs découlant de l'investigation
Implication et responsabilisation			autonomie et implication active des élèves			Responsabilisation des élèves
Accès à la culture scientifique						prise en compte de la diversité des élèves

Ces exemples nous placent devant une difficulté énoncée par Anderson (2002) : pour qui tente de synthétiser ce que la recherche a à dire de l'*inquiry teaching*, généraliser devient difficile, le label en étant relativement non spécifique et vague.

Des auteurs ont cependant proposé des synthèses s'appuyant sur des définitions antérieures, sans qu'il paraisse aisé d'échapper à des problèmes d'extension ou de compréhension : certains énumèrent un éventail d'actions qui peut paraître volumineux, d'autres se focalisent sur un petit nombre de principes jugés fondamentaux sans qu'il soit forcément aisé de délimiter ce à quoi ils

se rapportent. Ainsi l'équipe du projet PRIMAS (2010-2013)⁶ considère diverses définitions pour aboutir à une description où les élèves ont besoin de mettre en jeu « *une large variété de processus tels que simplifier et structurer des problèmes complexes, observer systématiquement, mesurer, classer, créer des définitions, quantifier, inférer, prédire, émettre des hypothèses, contrôler des variables, expérimenter, visualiser, découvrir des relations et des connexions, et communiquer* », le degré d'investigation dépendant « *de la distribution des responsabilités entre l'enseignant et les élèves* ».

Gueudet et al. (2010) privilégient ce dernier aspect en proposant à l'inverse une définition brève qui « *correspond à la plupart des définitions existantes de l'investigation* » : « *un partage de responsabilité à l'égard des connaissances entre l'enseignant et les étudiants. L'investigation peut être considérée comme un mode spécifique de contrat didactique (Brousseau, 1997), où en particulier les productions des élèves sont le point de départ du travail de l'enseignant* », définition adoptée par des auteurs impliqués dans le projet S-TEAM⁷ héritier de *Mind the Gap*.

Les critères apparaissant dans le tableau 3 peuvent être dégagés des dix sources plus particulièrement convoquées, en fonction des points qui se trouvent le plus fréquemment mis en avant : pour simplifier nous nommons ces critères I (interrogation initiale), R (responsabilité dans la conception et la planification de l'investigation), D (débat) et P (productions et réalisations).

Tableau 3 - Critères définissant une DI les plus fréquemment cités dans les dix sources étudiées

Sources	Critères			
	I Initiation de l'investigation par une interrogation	R Part de responsabilité conceptuelle laissée aux élèves	D Existence de débats, d'échanges argumentés	P Existence de productions et de réalisations par les élèves
Standards américains (2000)	x	x	x	x
Canevas français (2008)	x	x	x	x
Linn et al. (2004)	x	x	x	x
Morge et Boilevin (2007)	-	x	x	x
Projet <i>Mind the Gap</i> (2008-2010)	x	x	x	x
Minner et al. (2010)	x	x	-	x
Projet <i>Fibonacci</i> (2010-2013)	x	x	x	x
Grangeat (2013)	x	x	x	-
Projet <i>PRIMAS</i> (2010-2013)	x	x	x	x
Gueudet et al. (2010)	x	x	x	x
TOTAL	9	10	9	9

x : proposé comme critère définissant ou caractérisant une DI
 - : non proposé

⁶ PRIMAS guide for professional development providers, p.10-11.

<http://www.primas-project.eu/servlet/supportBinaryFiles?referenceId=2&supportId=1300>, consulté le 2 mai 2014.

⁷ <https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/8325736/Deliverable+4b+April+2010.pdf>, p.39, consulté le 2 mai 2014.

Il apparaît que la DI est généralement considérée comme devant privilégier un cheminement basé sur des propositions débattues entre élèves. D'autres auteurs font ressortir l'importance de ce point : ainsi Méheut et *al.* (2006) qui indiquent, comme spécificités majeures de la DI, la prise en compte des conceptions des élèves et la démarche hypothético-déductive, ou Windschitl et *al.* (2008) pour lesquels une approche centrée sur les « *aspects authentiques de l'investigation* » comprend en son cœur « *le processus créatif de formation d'hypothèses* ». Les études sur les distinctions entre types d'*inquiry* selon la responsabilité laissée aux élèves (Tafoya, Sunal & Knecht, 1980 ; Fradd & *al.*, 2001 ; Llewellyn, 2013) concordent avec l'idée d'une investigation plus authentique lorsque la part leur revenant est conséquente.

Sans s'engager dans une définition de l'investigation, d'autres auteurs jugent essentiels des éléments allant dans le même sens, privilégiant pour les élèves débats et argumentations (Hofstein & *al.*, 2008 ; Johsua & Dupin, 1993 ; Orange, 2002), planification et invention des procédures (Clough, 2002 ; Hofstein & *al.*, 2008 ; Sadeh & Zion, 2009) ; aspects créatifs (Vilches & Gil-Pérez, 2012).

Les choix de critères par ces auteurs correspondent à des conceptions de l'investigation fondées sur l'épistémologie ou sur la psychologie du développement cognitif, et Bächtold (2012) montre comment s'articulent dans le domaine didactique ces deux sources, examinées dans la partie suivante.

2. Les fondements épistémologiques et psychologiques des conceptions courantes des DI

Commentant un symposium international, Duschl observe que le terme *inquiry* est aussi répandu qu'imprécis et relève, sur six contributions, un éventail d'une vingtaine de mots ou d'expressions pour la caractériser, avant d'indiquer que nous ferions bien de tenir compte des messages fondamentaux de Dewey (Abd-El-Khalick & *al.*, 2004, p.411-412).

■ Ancrages épistémologiques relatifs aux DI

● Points de repères issus du champ de l'épistémologie

C'est à Dewey que le guide du NRC se réfère comme source de l'*inquiry* (2000, p.14), tandis que le canevas français provient de l'opération *La main à la pâte*, adaptation du programme *Hands-on* que Morandi rattache à Dewey (2013, p.23). Dirigeant une École expérimentale depuis 1896, Dewey propose en 1910 (p.72) le schéma en cinq étapes d'un « *acte complet de pensée* » : une difficulté ressentie ; sa localisation et sa définition ; suggestion d'une possible solution ; développement par le raisonnement des implications de la suggestion ; nouvelles observations et expériences menant à son acceptation ou à son rejet. Dewey promeut une investigation enclenchée par un problème à résoudre : le « *sens d'un problème* » (1910, p.191) est pour lui, avant Bachelard, d'une importance primordiale, c'est « *la morsure d'une question* » qui force l'esprit à se mettre en marche (p.207). Son engagement en faveur de l'hypothèse est plus intense que ce qui en transparaît habituellement à travers ses commentateurs : la suggestion « *plus ou moins spéculative, aventureuse* » est le cœur même (*the very heart*) de l'exercice de la pensée (p.75), l'hypothèse est le « *facteur central* » de la réflexion (p.6), et « *ne pas encourager la fécondité et la souplesse dans la formation des hypothèses [...] est plus proche de la mort garantie de la science que de n'importe quoi d'autre.* » (1938, p.508). Dewey fait par ailleurs dépendre le développement de l'esprit à la participation à des activités communes (1916, p.323) qui implique « *relations, communication et coopération* » (p.358).

D'autres auteurs ont conduit en France les didacticiens à procéder à ce qu'Astolfi (1990) a nommé « *le réexamen épistémologique de la nature de l'activité scientifique* » : il cite Popper,

Kuhn, Canguilhem et Grmek, et sans entrer dans le détail des positions de chacun, nous indique quelles modifications leur prise en compte a engendrées.

- *Prise en compte de concepts épistémologiques dans les caractérisations des DI*

L'influence de Dewey se ressent pour chacun des critères communs dégagés dans la partie 1 (I, P, R, D). Ces aspects sont également promus par le réexamen épistémologique évoqué par Astolfi, qui aboutit à considérer « *la nécessité d'un cheminement autonome des élèves* ». Host (1998) rappelait l'influence de Bachelard, Popper et Canguilhem pour la recherche d'« *une investigation effective des enfants* » qui « *s'appuie sur [leur] initiative* ». Les liens entre épistémologie et didactique sont alors forts : Host a entrepris une thèse sous la direction de Canguilhem, et Gohau, élève de ce dernier, apporte un éclairage épistémologique aux travaux didactiques dans l'ouvrage qui réunit avec lui en 1978 Astolfi, Giordan, Host, Martinand, Rumelhard et Zadounaïsky. Y sont dénoncées des méthodes « *où l'élève est un simple exécutant, ou un simple spectateur, pour ne pas dire un simple croyant* », tandis que sont préconisées « *la créativité, l'attitude critique vis-à-vis de ses propres opinions et de celles d'autrui, la confiance en soi qui fait rechercher la solution d'un problème par soi-même* » (1978, p.11-14). La pédagogie procédant par induction se trouve invalidée (p.94). Dès 1965, Gohau récusait que l'expérience puisse conduire à la théorie, introduisant en didactique la thèse de la sous-détermination de la théorie par l'expérience (Quine), et contribuait à répandre l'idée que, comme l'énonce Bächtold (2012), « *l'investigation vise à tester des hypothèses préalablement imaginées et formulées par les élèves* ».

Les formulations choisies dans les descriptifs de DI ne garantissent cependant pas toujours que les élèves puissent suivre leur propre voie : évoquer leur autonomie et le fait qu'il y ait des expériences ou qu'ils doivent formuler des explications n'y suffit pas.

Bachelard est souvent cité chez les didacticiens, en convoquant en particulier la notion d'obstacle épistémologique qui suscite un parallèle avec les conceptions initiales des élèves (Host, 1998 ; Astolfi, 1997, p.123 ; Bächtold, 2013) : la perspective psychologique propre à cette épistémologie bachelardienne invite à explorer également cet ancrage des DI.

- ***Ancrages psychologiques relatifs aux DI***

- *Points de repères issus du champ de la psychologie*

La psychologie du développement cognitif fournit des données utiles pour la réflexion sur les démarches, relativement aux conceptions, au débat argumenté et à l'activité du sujet.

Les nombreux travaux sur les conceptions, initiés par Piaget puis poursuivis par d'autres, notamment sur le changement conceptuel (Posner & al., 1982), ainsi que les critiques et révisions qui ont suivi, offrent des repères sur les processus par lesquels une conception erronée peut être délogée de la « niche écologique » qu'elle occupe (selon le mot d'Astolfi). Doise, Mugny et Perret-Clermont (1975), qui ont développé la notion de conflit sociocognitif, ont initié les travaux sur le rôle bénéfique des interactions sociales et du débat argumenté dans l'apprentissage.

Par ailleurs, Bruner insiste sur la part jouée par l'intuition et l'imagination dans la résolution de problèmes (1960, 1961). Il décrit le « saut » audacieux qui consiste à formuler une hypothèse par intuition, « *technique intellectuelle qui permet d'arriver à des formulations plausibles* » (1960, p.13) qui doivent ensuite être contrôlées (*checked*) de manière analytique, et demande que soit reconnue la complémentarité entre pensée intuitive et analytique (p.58). Il encourage le développement de la capacité à formuler des hypothèses et souhaite qu'un élève intuitif soit approuvé même lorsqu'il se trompe (p.68).

Il indique également toute l'importance à accorder au dialogue, à l'échange intersubjectif, à la manière dont les enfants peuvent expliquer et réviser leurs idées par le discours, la collaboration et la négociation (1996, p.56-58).

Dans le domaine de l'activité du sujet, Piaget se prononce spécifiquement sur la formation de l'esprit expérimental et l'initiation aux sciences (1969, p.73-78), où il préconise « *un enseignement des sciences physiques insistant sur la recherche et la découverte* ».

- *Prise en compte de concepts psychologiques dans les caractérisations des DI*

Les trois aspects évoqués (conceptions, activité du sujet et débat) sont considérés diversement selon les sources.

Le canevas français mentionne les conceptions des élèves, les obstacles cognitifs, la confrontation des divergences : en se référant notamment à ces éléments, Mathé et *al.* (2008) y voient un cadre socioconstructiviste, avec en filigrane une vision bachelardienne de l'apprentissage.

Dans les autres sources, les conceptions suscitent un intérêt variable. Dans la dimension « origine du questionnement » de Grangeat, elles sont à l'origine de conflits cognitifs. Pour Morge et Boilevin, l'existence d'une tâche problématique qui les met en cause n'est qu'un critère différenciant les séquences d'investigation. Elles sont absentes des critères des autres sources.

Coquidé, Fortin et Rumelhard (2009) signalent que la DI en France s'inscrit dans une tradition pédagogique où l'élève est actif, issue notamment de Dewey, Bruner, Wallon et Piaget, et qu'aux USA la tradition de démarche d'enquête issue de Dewey a été influencée par la démarche de découverte de Bruner. Les modèles et définitions des DI prévoient toujours une activité du sujet, et les vues de Piaget et Bruner trouvent leur traduction dans les critères R et P.

L'importance accordée aux débats (critère D) peut être mise en lien avec l'attention portée au conflit sociocognitif : la supériorité des actions collectives peut résulter de l'opposition des stratégies conçues relativement à un problème posé, et conduire à une coopération entre élèves, l'influence de Bruner s'exerçant également pour la promotion de la collaboration.

Chacun des critères les plus fréquemment cités pour caractériser les DI présente ainsi un ancrage relativement conséquent dans l'épistémologie et la psychologie.

- ***Des sources théoriques aux concepts de critère et de définition***

À partir de ce double ancrage, les auteurs cités ont dégagé pour les DI une définition ou un ensemble de critères qui spécifie, délimite, distingue : de ce fait, tous les items qui y figurent doivent, *a priori*, être présents conjointement. Mais dans ce cas, il n'y a pas selon la définition de Linn et *al.* d'investigation sans expériences ni modèles, et le canevas français qui mentionne la « réalisation de l'expérience » exclut d'autres recours (observation, documents) et, n'évoquant que les hypothèses *explicatives*, écarte les autres.

Pour inclure tel ou tel ingrédient dans la définition de l'investigation, il semble nécessaire de se demander si un scientifique qui effectuerait sa recherche *sans* celui-ci serait tout de même en investigation : si oui, alors cet ingrédient ne peut entrer dans sa définition. Cette simple grille de lecture rend inadéquats bon nombre de critères de descriptifs qui intègrent des aspects qui relèvent plus d'objectifs, d'orientations, de prolongations ou d'à-côtés souhaités que d'attributs incontournables. Ainsi ni l'expérimentation ni la mathématisation n'étant indispensables pour qu'il y ait investigation, ce ne peuvent en être des critères. Pour Fradd et *al.* (2001), par exemple, il faut que l'élève soit à l'origine du questionnement, fasse un rapport et applique les acquis, éléments pourtant non discriminants : ainsi des scientifiques ont souvent abordé des problèmes bien antérieurs à leur propre existence.

L'aspect collectif d'une investigation scientifique, dont la nécessité peut être historiquement discutée, est soutenu par le regard des sociologues des sciences sur la recherche scientifique actuelle : le débat y paraît omniprésent, et sa place dans les DI se trouve ainsi justifiée. Si les élèves conçoivent individuellement des idées, il paraît essentiel qu'ils débattent, argumentent, échantent collectivement.

Un autre aspect d'un critère est son degré de précision : des formulations générales peuvent aisément être lues en plusieurs sens. À un « apprentissage basé sur des problèmes » pourrait correspondre l'inscription d'un problème au tableau suivie d'une tâche imposée aux élèves, et s'ils ont à l'accomplir en suivant seuls un protocole fourni, leur autonomie est réalisée. Il paraît pourtant important, selon nombre d'auteurs cités précédemment, que les élèves puissent construire leurs propres cheminements et n'aient d'autres tâches à réaliser que celles qu'ils se donnent.

3. Concevoir les DI en termes d'esprit créatif et d'esprit de contrôle

Notre intention est ici de nous appuyer sur les analyses précédentes et de les compléter pour proposer des critères en correspondance avec un aspect des sciences reconnu par des épistémologues, par des psychologues et par certains scientifiques : l'existence de deux esprits scientifiques complémentaires, *l'esprit créatif* et *l'esprit de contrôle*.

■ Deux esprits scientifiques

Poincaré (1905) distinguait « deux sortes d'esprits » : l'intuition et la logique, et Grmek considère que la force principale de Claude Bernard résidait dans le fait que « poète dans l'invention des hypothèses, il conserve une lucidité implacable dans leur critique » (1997, p.14). Pour Medawar, il y a « à tous niveaux une interaction entre deux épisodes de la pensée - un dialogue entre deux voies, l'une imaginative et l'autre critique » (1972, p.22). François Jacob reprend ce double aspect dans un livre qui titre sur le premier : *Le jeu des possibles*, et Popper parle d'une « combinaison de liberté et de contrôle » (1979, p.352).

En psychologie, Bruner distingue aussi « deux modes de pensée », imaginative et logique (1986, p.11-13), et met en avant « les processus de formation d'hypothèses » et « les techniques conçues pour leur test. » (1979, p.x). Piaget voit comme fonctions essentielles de l'intelligence « celle d'inventer des solutions et celle de les vérifier » (1924, p.163), et prône « une éducation de l'esprit d'invention » et « une formation de l'esprit de contrôle » (1969, p.74).

Une synthèse de ces positions permet de caractériser *l'esprit créatif* comme présidant à la conception d'idées et *l'esprit de contrôle* comme s'exerçant sur les assertions d'origines diverses en décrétant la nécessité de leur examen et en s'y appliquant de manière théorique (logique et cohérence interne, recevabilité) aussi bien que pratique (mise à l'épreuve de conséquences déduites).

■ Des critères pour les DI en lien avec les deux esprits scientifiques

Dans le domaine de l'éducation, nous avons relevé l'insistance de Dewey sur le « facteur central » que constitue pour lui l'hypothèse. Cette idée à laquelle adhèrent d'autres auteurs, tels Popper et Bruner, ne nous semble pas suffisamment prise en compte dans les préconisations pour les DI, qui mettent moins l'accent sur l'importance de l'hypothèse que sur les activités « hands on », semblant alors en appeler à des élèves actifs plutôt que créatifs.

Les *Essential Features* des *Standards* n'évoquent pas l'hypothèse, et le canevas français regroupe « formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles », si

bien qu'on peut penser que c'est l'un ou l'autre et diriger directement les élèves vers les protocoles. Certaines définitions n'en font qu'un item noyé dans une foule d'autres.

Un autre point observé concerne l'absence de garantie que les élèves conduisent l'investigation par eux-mêmes, malgré la présence des critères R et P.

En fonction de ces considérations, les critères que nous proposons s'inscrivent dans une double perspective : favoriser le jeu de l'esprit créatif et de l'esprit de contrôle au cours d'une investigation ; permettre, autant que possible, que l'investigation se déroule selon le cheminement et les initiatives des élèves, sans que des indications du professeur ou ce qu'il met en exergue dans leurs propos les orientent sur des voies qu'ils n'ont pas choisies.

Les cinq critères que nous souhaitons avancer s'accordent pour certains avec les critères identifiés précédemment, sans leur correspondre tout à fait cependant. Du fait de cette correspondance partielle, nous les présentons ci-dessous de manière concise, avant de les préciser progressivement. Nous conservons le critère I d'une interrogation initiale, dont nous discuterons le caractère énigmatique, et y adjoignons deux critères mettant en jeu l'esprit créatif (CRÉA1 et CRÉA2) et deux autres, surtout l'esprit de contrôle (CTRL1 et CTRL2), même si la créativité n'en est pas absente. Le critère D se trouve inclus dans le critère CTRL1 :

- Critère I : confrontation à une interrogation énigmatique
- Critère CRÉA1 : conception d'idées de nature hypothétique
- Critère CRÉA2 : conception d'idées fondées sur des données nouvelles, après leur recueil
- Critère CTRL1 : contrôle théorique par l'examen de ces idées (débat argumenté)
- Critère CTRL2 : contrôle empirique des idées de nature hypothétique

Pour visualiser leur jeu dans l'investigation, il nous semble utile de procéder à certaines distinctions.

■ **Des typologies pour les investigations**

Nous proposons de distinguer trois types d'investigations, qualifiés en fonction du type d'interrogation qui les suscite : investigation *informative*, investigation *explicative* et investigation *pragmatique*⁸. Leurs caractères spécifiques seront dégagés à travers l'étude successive des interrogations initiales (critère I), des conceptualisations des élèves (critères CRÉA) puis des contrôles exercés (critères CTRL).

● **Trois types d'interrogations**

Être en quête d'une *information* n'est pas la même chose que chercher une *explication* ou tenter de trouver un *moyen*. Ces distinctions sont très généralement absentes des textes relatifs à l'investigation. Pourtant, des glissements d'un type à l'autre ne sont pas rares dans les classes, et peuvent réduire drastiquement l'investigation, ce qu'illustrent des pratiques constatées en classe : d'un « comment expliquer ? », on glisse à « comment répondre à ce problème ? », « que peut-on faire ? », qui font surgir l'activité pratique en lieu et place de la réflexion sur le problème. Par exemple : « Comment expliquer la disparition des feuilles sur le sol d'une forêt ?... Où va-t-on regarder ? (Élèves : *au sol !*) Voici de la litière de forêt et des loupes... » Dans de tels cas, les étapes cruciales d'émission d'hypothèses explicatives et de proposition de tests sont contournées.

Les types d'interrogations ont été objet de réflexion chez différents auteurs. Aristote déjà établissait des distinctions qui ont conservé une certaine pertinence, même si la science moderne s'est développée en rupture avec sa physique. Il y avait selon lui les sciences

⁸ Précisons que nous utilisons ici le sens commun de ce terme, tel qu'il est employé par Astolfi et al. quand ils parlent des « problèmes pragmatiques » liés à la réussite des actions (§ 3.2.1.). Il n'y a donc pas de lien avec la philosophie pragmatiste sur laquelle est bâti le *cadre théorique pragmatique (ou pragmatiste)*, développé par Calmettes (2010), où l'auteur modélise l'action des enseignants par un *rapport pragmatique à l'enseigner*, à partir d'une étude de leurs discours descriptifs, narratifs, justificatifs.

théorétiques (*theorêtikê*, sciences de la nature et mathématiques), *productrices* (*tekhnê*, qui ont pour but une *production*) et *pratiques* (*praktikê*, à visée sociale : éthique, politique...) ⁹. Dans ces trois domaines, avoir la connaissance scientifique (*épistêmê*), c'est connaître non seulement ce qui est (*otî*) mais également les causes (*dioti*) : « le caractère le plus propre de la science c'est de considérer le pourquoi » (*Seconds Analytiques*, I, 14). Aristote établit par ailleurs une hiérarchie : « les sciences théorétiques sont préférables aux autres sciences » (*Métaphysique E*, 1026a19).

En laissant de côté les sciences à visée sociale, on peut considérer que son analyse conduit à distinguer, par ordre d'importance croissant : les connaissances sur *ce qui est* (*otî*), dans la nature, les mathématiques ou la technique ; les connaissances sur *l'efficacité du savoir-faire* technique (*dioti* en *tekhnê*) ; les connaissances sur *le pourquoi* dans les sciences de la nature et les mathématiques (*dioti* en *theorêtikê*).

De son côté, Popper distingue *problèmes d'explication* et *problèmes pratiques* en prenant un exemple en biologie : comprendre la formation des anticorps n'est pas la même chose que savoir lutter contre les épidémies (1979, p.395). Claude Bernard sépare *question* et *problème* scientifique : « quand on constate, dans une maladie parasitaire, le parasite qui engendre la maladie, la question d'histoire naturelle peut être jugée, mais le problème scientifique n'est pas poussé jusqu'où il peut aller. Il faut déterminer le mécanisme de la maladie » (1947, p.266).

Dans le domaine de l'éducation, Piaget intitule *Réussir et comprendre* un livre consacré à la distinction entre *atteindre les buts proposés* et *dégager les raisons*. Astolfi et al. séparent de manière voisine les *problèmes pragmatiques* liés à la réussite des actions des *problèmes scientifiques* (plus spéculatifs et théoriques) et des *simples questions* (1998, p.213).

Nous proposons sur ces bases de considérer trois types d'interrogations possibles dans une investigation : la *question* (de type « quel est », « où est »), dont la réponse est une information, le *problème explicatif* (de type comment expliquer, comment fonctionne), dont la solution est une explication, et le *problème pragmatique* (de type comment faire), dont la solution est un moyen. Une recherche peut alors concerner une *information*, un *moyen* efficace ou une *explication*, et l'interrogation dans la recherche sera une question, qui vise une réponse, ou un problème, qui vise une solution.

Cette trichotomie recoupe en partie les trois niveaux d'apprentissage de Rebol (1980) : apprendre *que* (information), apprendre *à* (savoir-faire), apprendre (compréhension). Mais dans l'exemple qu'il prend (connaître le gothique flamboyant), il distingue *savoir que* c'est la dernière période du gothique (informations) de *savoir comment* le reconnaître et juger s'il est authentique : ce *savoir comment* apparaît ne viser que davantage d'informations (le flamboyant authentique a tels caractères), alors qu'un *savoir comment* pragmatique serait *savoir comment produire* du gothique flamboyant.

Les trois exemples que décrit Dewey avant de dégager son schéma en cinq étapes (§ 2.1.1.), illustrent chacun l'un de ces types, bien qu'il les catégorise non pas ainsi mais selon leur complexité : *comment faire* pour être à l'heure à un rendez-vous, *quelle est* la fonction d'une perche sur le pont du ferry, *comment expliquer* que des bulles entrent dans des verres lavés et retournés (1910, p.68-71).

La complexité n'est donc pas la même, pour Dewey comme pour Aristote, suivant le type de connaissances recherché, le travail de l'imagination étant plus ardu dans une quête d'explication. Dans la seconde édition (1933, p.187), Dewey précise que ces trois cas sont de types différents : *practical needs*, *curiosity*, *intellectual problems*, désignations correspondant aux catégories proposées : recherche de moyens, d'information, d'explications.

⁹ (*Topiques*, VI, 6, 145a15 ; *Métaphysique M*, 1025b25). On pourrait voir une résonance de ces divisions dans les dimensions modernes savoir/savoir-faire/savoir-être, rapprochement que propose également Quintin (2011).

Dewey analyse souvent des problèmes de type « comment s'en sortir » (pour franchir un fossé, échapper à un incendie...), impliquant l'analyse de la situation pour repérer un moyen efficace (tronc, issue). Il n'est pas impossible que l'accent sur ces *practical needs* ait conduit à l'insistance des *Standards* américains sur « la priorité aux données », alors que dans de nombreux autres cas des hypothèses peuvent être élaborées sans commencer par une récolte de faits.

Le tableau 4, qui résume synthétiquement ce qui précède, présente trois types d'investigations qui diffèrent par le but poursuivi, le type d'interrogation, l'objet recherché et les types de propositions d'élèves attendues, qui seront discutés dans la partie 3.3.2.

Tableau 4 -Trois types d'investigations

TYPE D'INVESTIGATION	But	Type d'interrogation	Ce qu'on recherche	Type de propositions
INVESTIGATION EXPLICATIVE	Comprendre	Problèmes explicatifs <i>Comment expliquer ? Comment s'effectue ? Comment fonctionne ?</i>	Des explications	des hypothèses explicatives
INVESTIGATION PRAGMATIQUE	Parvenir à...	Problèmes pragmatiques <i>Comment faire ?</i>	Des moyens	des moyens possibles, "hypothétiques"
INVESTIGATION INFORMATIVE	S'informer	Questions <i>Quel ? Quand ? Quoi ? Où ? Est-ce que ? Combien ? Y a-t-il un lien entre... ?</i>	Des informations (réponses)	des hypothèses factuelles

Remarquons que dans une investigation explicative ou informative apparaît, à la suite de l'émission d'hypothèses, un problème pragmatique (comment éprouver ces hypothèses ?), qui conduit à la recherche de moyens.

Notons aussi que l'énoncé d'hypothèses ne précède pas toute recherche scientifique : celle de valeurs imprédictibles (température tuant tel microbe, charge de l'électron) ne nécessite que des mesures, par ce que Duhem nomme des *expériences d'application* et qu'il distingue des *expériences d'épreuve* (1906, p.279). Dans un tel cas, l'expérience « *remplit le blanc* » dans la théorie (van Fraassen, 1989, p.232).

Ces trois sortes d'interrogations, présentes en sciences de la nature comme en technologie ou en mathématiques, appellent des propositions d'élèves, tâches d'ordre conceptuel.

- *Différentes sortes de conceptualisations*

La conceptualisation intervient à différents moments dans une investigation : nous proposons un critère pour la conception d'idées de nature hypothétique (CRÉA1) et un autre pour les idées fondées sur les données nouvelles collectées (CRÉA2).

Les idées conçues par les élèves visées par le critère CRÉA1 sont des « possibles » qui présentent un certain degré d'incertitude : explications ou réponses incertaines, ou moyens possibles mais dont ils ne sont pas sûrs qu'ils soient efficaces (moyens « hypothétiques »). Les conjectures mathématiques peuvent être de ces trois types.

Le canevas français ne mentionne que des hypothèses *explicatives*, ce qui exclut les investigations pragmatiques et informatives, alors que de nombreux sujets s'y prêtent (Quel est

le trajet du sang ? Quel facteur est en jeu dans... ?).

Dans une investigation informative, l'ignorance d'un « fait » est à combler, et nous proposons de qualifier les hypothèses correspondantes de *factuelles* (action de la température sur la germination ou de la longueur d'un fil sur la période d'un pendule, magma provenant du centre de la Terre) pour les distinguer des hypothèses explicatives. Il est bienvenu que l'élève puisse justifier son hypothèse, notamment pour la distinguer de simples prédictions (Robardet & Guillaud, 1997, p.91 ; Méheut & al., 2006 ; Lawson, 2010), mais ce n'est pas toujours possible (cas du magma).

Les conceptions des élèves forment un soubassement pour la formulation d'hypothèses (Gil-Pérez, 1993 ; Vosniadou & Ioannides, 1998, p.1224), lorsque la confrontation des idées conduit à donner ce statut aux propos des élèves en opposition.

Dans les investigations pragmatiques, ce sont des moyens qui sont proposés et, en soi, un moyen diffère d'une hypothèse : seuls les moyens dont l'efficacité est incertaine constituent des idées de nature hypothétique répondant au critère CRÉA1.

La recherche de moyens est présente dans les trois sortes d'investigations, mais à des moments et avec des buts différents : dans une *investigation pragmatique*, dès le départ et avec un objectif de réussite (but final) ; dans une *investigation explicative* ou *informative*, au moment où on cherche à tester les hypothèses et visant l'obtention de données nouvelles révélatrices, qui ne constitue qu'une étape.

Les moyens que proposent les élèves peuvent être connus d'eux, ou ils en imaginent en faisant preuve d'ingéniosité. S'ils proposent des moyens connus à l'efficacité non douteuse (section de nerfs pour montrer si la communication est nerveuse, analyse chimique de la composition, observation par satellite pour savoir si des plaques s'éloignent...), il y a restitution de connaissances et non-créativité. Cela n'exclut pas le critère CRÉA1 si des hypothèses ont déjà été proposées et qu'il s'agit de les tester. Mais cela l'exclurait dans une *investigation pragmatique*, où des moyens de nature hypothétique sont attendus : il n'y a selon nous dans ce cas investigation que si l'efficacité des moyens proposés n'est pas assurée d'avance.

Suivant la situation, quatre types de moyens peuvent être distingués :

Tableau 5 - Catégories de moyens proposables par un élève donné dans une situation particulière

Types de moyens	Moyens à efficacité non douteuse	Moyens à efficacité douteuse (moyens hypothétiques)
Moyens connus (restitués)	Type 1	Type 3
Moyens imaginés (ingénieux)	Type 2	Type 4

Les moyens de types 3 et 4 sont des *moyens hypothétiques* quant à leur efficacité, par cela ce sont des idées qui répondent au critère CRÉA1 dans une investigation pragmatique. Dans les autres types d'investigations, des hypothèses sont émises, mais des moyens eux-mêmes hypothétiques peuvent de surcroît être proposés pour les tester : l'intensité d'une recherche des élèves est moins grande s'il leur suffit de proposer des moyens connus pour être efficaces (type 1) ; elle s'accroît si la situation les conduit à proposer des moyens de types 2 ou 3, et plus encore de type 4.

Les idées visées par le critère CRÉA2, interprétations et conclusions, sont fondées sur les données nouvelles collectées, et ce critère est rempli si là aussi ce n'est pas le professeur qui les

introduit ou les choisit mais bien les élèves qui les élaborent, puis les discutent.

- *Le double contrôle des idées*

Nous proposons deux critères de contrôle : le premier (CTRL1) relatif à l'existence de débats autour des idées conçues par les élèves, le second (CTRL2) portant sur le contrôle empirique des idées à caractère hypothétique.

Différents auteurs se sont prononcés pour l'existence d'un double contrôle pour les hypothèses : pour Dewey, elles sont d'abord « *testées en pensée* », puis « *par l'action* » (1933, p.192). Popper parle d'une évaluation en partie antérieure et en partie postérieure aux tests (1979, p.228). Ces deux types d'examen, *critique* et *empirique*, valent pour les hypothèses scientifiques comme pour les conjectures mathématiques.

François Jacob se réfère à la fois à l'esprit créatif et au double contrôle : « *L'imagination n'est qu'un élément du jeu. À chaque étape, il lui faut s'exposer à la critique et à l'expérience* » (1981, p.29).

Ces contrôles n'aboutissent cependant pas, en sciences, à la certitude absolue, mais à une *assertabilité garantie* pour Dewey (1938, p.7), une *vérisimilitude* pour Popper (1979, p.229), le faillibilisme de ces auteurs venant après celui de Peirce, Bernard et Whewell : pour ce dernier, la découverte scientifique n'ayant pas l'assurance de déductions logiques, c'est « *tant pis pour la logique* »¹⁰ !

Coquidé et al. (2009) reprochent à Dewey de s'en tenir à cette assertabilité et de ne pas la confronter au savoir scientifique, un aspect sans doute lié à ses exemples où la réussite est solution, comme dans toute investigation pragmatique : si les pièces d'un puzzle agrandi s'emboîtent, si l'objet bricolé produit l'effet espéré, ce contrôle suffit. Une particularité énoncée dès le II^e siècle par Galien : lorsqu'on construit une clepsydre ou un cadran solaire, le succès ou l'échec est clairement montré par les résultats (1963, p.96).

L'examen théorique des idées (critère CTRL1) consiste à débattre de la recevabilité des hypothèses, de la pertinence des moyens et de la cohérence des interprétations proposées.

Le contrôle empirique (critère CTRL2) est respecté si les élèves décrètent de s'y engager, en forment le protocole et sollicitent le matériel jugé nécessaire ou, à défaut, des substituts dont ils disent ce qu'ils en attendent (documents montrant si...).

Les idées ensuite conçues et débattues (interprétations, conclusions) ne devraient être éventuellement admises qu'après un ultime contrôle : leur confrontation avec les conclusions de la communauté scientifique, représentée par le professeur. Nous n'en faisons cependant pas un critère supplémentaire, cette étape se situant au-delà de l'investigation proprement dite.

Dans le cas des mathématiques, en dehors du contrôle empirique d'une conjecture par des tests, les élèves peuvent parvenir à sa démonstration formelle : l'investigation s'achève avec elle (si elle n'est pas entachée d'erreur).

L'ensemble de ces points est présenté en synthèse dans le résumé, le tableau et le schéma de la partie suivante.

¹⁰ Lettre à A. de Morgan (18/1/1859), *William Whewell, an account of his writings*, I. Todhunter, volume II, Macmillan, 1876, p.417,

■ **Schéma général proposé pour les DI**

Le descriptif qui suit fait abstraction des possibilités toujours présentes de retours en arrière dans le cheminement, mais les flèches pointillées de rebroussement qui figurent sur le schéma sont là pour les rappeler.

Une investigation, une enquête correspond à la recherche, à la quête de quelque chose d'énigmatique, qui sera, selon le cas, une explication, une information ou un moyen. Les investigateurs n'en disposant pas immédiatement ni ne pouvant l'atteindre aisément, leur esprit en *conçoit* une ou plusieurs. L'enquête scientifique commence toujours par l'invention d'un monde possible (Medawar). Mais une halte à ce stade marquerait une pensée mythique (Jacob) : l'imagination s'expose à la critique. Les idées avancées sont examinées, débattues, des rejets ont lieu (*première phase* de débat). Celles qui résistent à ce premier contrôle ne sont pas pour autant admises : les enquêteurs s'orientent vers un nouveau contrôle (empirique). Des moyens sont conçus pour celui-ci, qui, à leur tour, sont examinés, critiqués, peut-être rejetés (*deuxième phase* de débat, sauf si la quête d'origine est celle d'un moyen : sa conception et son examen ont déjà eu lieu). De nouvelles données en résultent. Dans le cas de la quête d'un moyen, l'enquête se conclut là : succès ou échec (Galien). Dans les autres cas, des interprétations sont élaborées et examinées (*troisième phase* de débat). Certaines sont retenues et des conclusions sont tirées : l'investigation s'achève avec elles, même si un contrôle « expert » final s'exerce via la communauté scientifique.

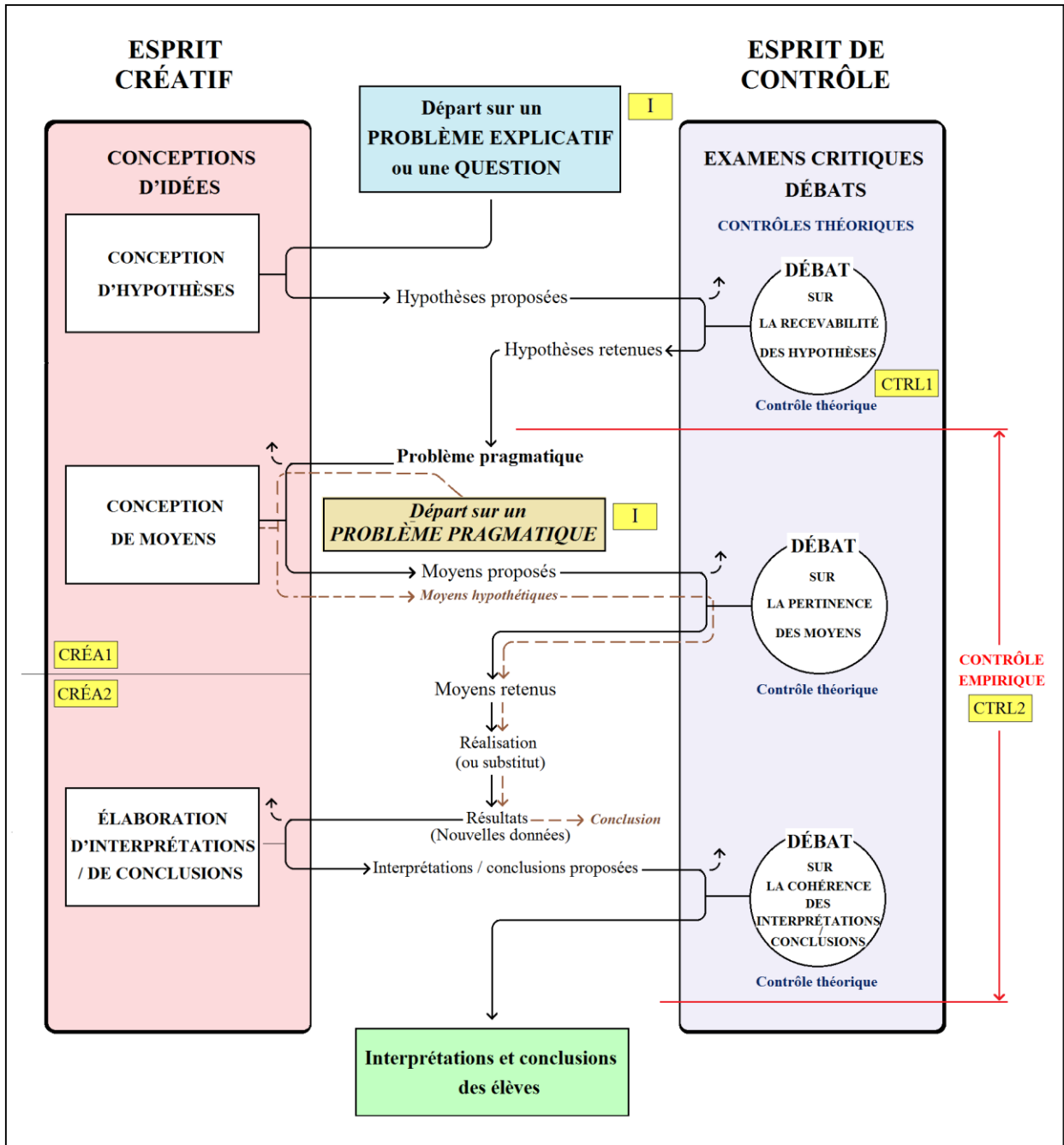
Ces caractères sont présentés de manière abrégée dans le tableau 6, qui donne une formulation complétée des cinq critères retenus pour les DI.

Tableau 6 - Critères des démarches d'investigation - Formulation complétée

Dans une démarche d'investigation, les élèves :		Esprits en jeu
<i>Critère I Interrogation énigmatique</i>	- sont confrontés à une interrogation énigmatique : problème explicatif, problème pragmatique ou question	-
<i>Critère CRÉA1 Conception d'idées (1)</i>	- conçoivent par eux-mêmes des idées de nature hypothétique : hypothèses explicatives, moyens hypothétiques ou hypothèses factuelles	Esprit créatif
<i>Critère CRÉA2 Conception d'idées (2)</i>	- conçoivent par eux-mêmes, après la récolte de nouvelles données, des idées fondées sur celles-ci (interprétations, conclusions)	
<i>Critère CTRL1 Contrôle (1) théorique</i>	- entreprennent l'examen théorique des idées conçues (débat argumentés)	Esprit de contrôle et esprit créatif
<i>Critère CTRL2 Contrôle (2) empirique</i>	- entreprennent et planifient le contrôle empirique des idées de nature hypothétique en sollicitant s'il ya lieu le matériel ou des substituts	

La figure 1 ci-après montre les allers-retours entre esprit créatif et esprit de contrôle dans des investigations d'élèves. Les moments où interviennent les critères I, CRÉA1, CRÉA2, CTRL1 et CTRL2 y sont indiqués.

Figure 1 - Allers-retours entre esprit créatif et esprit de contrôle dans des investigations



4. Discussion

Dans cette partie, nous envisageons d'une part la manière dont ces critères pourraient être utilisés, et d'autre part les limites de cette approche.

■ Un exemple d'utilisation

Afin de montrer comment cet ensemble de critères peut servir pour l'analyse, l'élaboration ou la reprise de séquences, nous proposons d'examiner un cas de démarche présenté par les accompagnements des programmes de physique (MJENR, 2003, p.43) :

UN EXEMPLE EN CHIMIE	
SITUATION PROBLÈME	La buée sur les vitres pourrait-elle provenir de l'utilisation des becs Bunsen ?
FORMULATION D'HYPOTHÈSES	<i>La combustion du gaz dans la flamme du bec Bunsen produit de la vapeur d'eau.</i>
VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE DES HYPOTHÈSES	Test : cristaux de sulfate de cuivre anhydre ou verre froid au-dessus de la flamme.
ANALYSE DES RÉSULTATS	<ul style="list-style-type: none">- Les cristaux de sulfate de cuivre bleussent.- De la buée se dépose sur le verre froid.
RÉPONSE AU PROBLÈME	Donc : la combustion du gaz produit de la vapeur d'eau qui se condense sur les vitres froides.

Source : MJENR (2003), Ministère de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche, *Enseigner au collège - Physique-chimie*, CNDP

Critère I : il y a bien une interrogation initiale, mais dont le caractère énigmatique est fortement réduit par les deux seules possibilités de propositions d'élèves : oui ou non. Malgré l'intitulé « situation problème », il s'agit d'une question, et l'intensité de la recherche aurait été plus grande avec le problème explicatif « comment expliquer la présence de buée sur ces vitres ? »

Critère CRÉA1 : les élèves formulent une « hypothèse » ou plutôt admettent une prévision, dont on ne peut pas dire qu'ils l'aient conçue : c'est la question qui est reprise.

Critère CRÉA2 : une interprétation est bien élaborée à partir des données nouvelles recueillies, même si elle va logiquement trop loin : de l'eau se forme au-dessus de la flamme, mais cela ne prouve pas que cette eau se retrouve sur les vitres. Un élève qui supposerait que la buée provient de la respiration dans la classe le « prouverait » de même manière, en soufflant sur une vitre.

Critère CTRL1 : rien n'indique qu'il y ait eu débat, comme l'auraient par exemple suscité les deux hypothèses ci-dessus. Une discussion critique aurait pu amener une remarque comme : « on ne cherche pas juste à savoir si le bec Bunsen produit de l'eau, mais si la buée vient de là. Voyons ce qui se passe sans et avec combustion ! »

Critère CTRL2 : l'origine des idées de test n'est pas précisée non plus.

Cet exemple officiel, auquel on peut juste accorder partiellement l'un de nos cinq critères

(CRÉA2), permet également d'illustrer ce qu'aurait été une séquence conforme à tous les critères : problème énigmatique, débat sur des hypothèses alternatives, conception de tests qui seraient discriminants entre vapeur provenant de la combustion, de la respiration ou d'ailleurs, débat sur ces tests, mise en œuvre, interprétation des résultats obtenus et débat sur ces interprétations.

■ **Limites de la portée de tels critères**

Un problème important dans l'utilisation de ces critères est l'estimation de « l'envergure » de l'investigation. L'exemple précédent illustre cet aspect : chercher comment expliquer l'apparition de buée, sans autre indication, ou chercher si oui ou non elle provient de tel phénomène ne nécessite pas le même travail intellectuel.

Il importe que ce qui est recherché soit suffisamment énigmatique : mettre en place des DI, c'est vouloir que les élèves utilisent leurs forces intellectuelles, et des interrogations sans grande portée peuvent l'exclure grandement. Ainsi en est-il de « est-ce que ça flotte ou coule ? » ; « où se trouve l'ADN dans la cellule ? » (noyau ou cytoplasme), qui ne donnent lieu, en guise d'hypothèses, qu'à de simples prévisions ou à des paris de type pile ou face ; « comment traverser la rivière ? » (moyens et non « hypothèses » : trouver un pont, sauter assez loin, nager...), « de quoi dépend la distance atteinte au javelot ? » (de la force du lancer, de la direction du vent...), qui peuvent n'appeler que des moyens ou facteurs connus. S'inquiéter du caractère énigmatique de l'interrogation peut se faire en tentant de discerner ce qui relève de situations d'évidence, de restitution, d'application ou encore de simple alternative, pari ou prévision, mais il ne semble pas aisé de définir un critère sur ce point.

Par ailleurs, la portée de ces objectifs se trouve souvent limitée par différentes contraintes qui s'imposent aux enseignants (temps, programme, préparation aux examens, gestion des classes en investigation...). Ceci d'autant qu'ils n'ont en général pas reçu de formation spécifique sur la mise en œuvre des DI qui leur est prescrite, la conduite à tenir face aux propositions aussi ingénieuses qu'erronées et aux autres imprévus ou encore les possibilités d'évaluer les élèves à travers des séquences de cette nature.

Conclusion

Les prescriptions de mise en œuvre des DI dans les classes, dans les conditions difficiles signalées par de nombreux auteurs d'absence de définition partagée et de consensus sur les contenus exacts de ces approches, auxquelles s'ajoutent des recommandations parfois ambiguës, peuvent placer les enseignants en situation d'inconfort. Les recherches en didactique tentent d'apporter des solutions à cette situation, en contribuant à la nécessaire clarification des concepts et au repérage des critères qui paraissent les plus appropriés à la caractérisation de ces démarches, points d'appui à la fois pour le chercheur, le formateur et le praticien.

La difficulté engendrée par la diversité des opinions sur les DI nous a paru pouvoir être surmontée par la référence aux idées primordiales des épistémologues, des psychologues, de certains scientifiques et de figures majeures de l'éducation qui se sont prononcés sur l'investigation. Ces sources majeures convergent pour désigner *concevoir* et *contrôler* comme ingrédients essentiels d'une investigation : dès lors, les critères que nous avons présentés dans cet article nous semblent pouvoir présider à l'articulation entre l'esprit créatif et l'esprit de contrôle des élèves, le jeu entre la part d'imaginaire et la part de rigueur qui forme cet attelage singulier qu'est l'esprit scientifique.

Bibliographie

- ABD-EL-KHALICK F., BOUJAOUDE S., DUSCHL R.A., HOFSTEIN A., LEDERMAN N.G., MAMLOK R., NIAZ M., TREAGUST D. & TUAN H. (2004), « Inquiry in science education: International perspectives », *Science Education*, n°88(3), p.397-419.
- ANDERSON R. D. (2002), « Reforming science teaching: What research says about inquiry », *Journal of Science Teacher Education*, n°13(1), p.1-12.
- ASTOLFI J.-P. (1990), « L'émergence de la didactique de la biologie, un itinéraire », *Aster*, n°11, p.195-224.
- ASTOLFI J.-P., GIORDAN A., GOHAU G., HOST V., MARTINAND J.-L., RUMELHARD G. & ZADOUNAÏSKY G. (1978), *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?*, Paris, Presses Universitaires de France.
- ASTOLFI J.-P., PETERFALVI B. & VERIN A. (1998), *Comment les enfants apprennent les sciences*, Paris, Retz.
- BACHTOLD M. (2012), « Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation », *Tréma*, n°38, p.7-39.
- BACHTOLD M. (2013), « Quelle épistémologie pour la didactique de la physique ? Éléments de réflexion sur la domination du constructivisme », *Les didactiques au prisme de l'épistémologie : une approche plurielle*, H. Galli et al. (dir.), Dijon, Éditions Universitaires de Dijon, p.55-68.
- BERNARD C. (1947), *Principes de médecine expérimentale*, Paris, Presses Universitaires de France, 1987.
- BOILEVIN J.-M. (2013), « La place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences », *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe*, M. Grangeat (dir.), Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, p.27-53.
- BROUSSEAU G. (1997), *Theory of didactical situations in mathematics*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- BRUNER J.S. (1960), *The Process of Education*, Cambridge, Harvard University Press.
- BRUNER J.S. (1961), « The Act of Discovery », *Harvard Educational Review*, n°31, p.21–32.
- BRUNER J.S. (1979), *On Knowing: Essays for the Left Hand*, Expanded Edition, Boston, Harvard University Press.
- BRUNER J.S. (1986), *Actual Minds, Possible Worlds*, Boston, Harvard University Press.
- BRUNER J.S. (1996), *The Culture of Education*, Cambridge, Harvard University Press.
- CALMETTES B. (2010), « Analyse pratique de pratiques ordinaires, rapport pratique à l'enseigner », *RDST*, n°2, p.235-272.
- CALMETTES B. (2012), « Les démarches d'investigation : la référence et le possible, le mirage et la nécessité », *Didactique des sciences et démarches d'investigation*, B. Calmettes (dir.), Paris, L'Harmattan.
- CLOUGH M.P. (2002), « Using The Laboratory To Enhance Student Learning », *Learning Science and the Science of Learning*, R.W. Bybee (éd.), Arlington, VA, NSTA press, p.85-96.
- COQUIDE M., FORTIN C. & RUMELHARD G. (2009), « L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites », *Aster*, n°49, p.49-76.
- DEWEY J. (1910), *How we think*. Amherst, Prometheus Books, 1991.
- DEWEY J. (1916), *Democracy and Education*, New York, The Macmillan Company, 1966.
- DEWEY J. (1933), *The Later Works of John Dewey*, Volume 8, 1925-1953: 1933, Essays and How We Think, Revised Edition, Chicago, SIU Press, 2008.
- DEWEY J. (1938), *Logic: The Theory of Inquiry*, New York, Henry Holt and Co.

DOISE W., MUGNY G. & PERRET-CLERMONT A. (1975), « Social interaction and the development of cognitive operations », *European Journal of Social Psychology*, n°5(3), p.367-383.

DUHEM P. (1906), *La théorie physique*, Paris, Vrin, 1981.

ENGELN K., MIKELSKIS-SEIFERT S. & EULER M. (2014), « Inquiry-Based Mathematics and Science Education Across Europe: A Synopsis of Various Approaches and Their Potentials », *Topics and Trends in Current Science Education*, C. Bruguière, A. Tiberghien & P. Clément (dir.), Dordrecht, Springer, p.229-242.

FRADD S.H., LEE O., SUTMAN F.X. & SAXTON M.K. (2001), « Promoting science literacy with English language learners through instructional materials development: A case study », *Bilingual Research Journal*, n°25(4), p.417-439.

GALIEN (1963), *On the passions and errors of the soul*, tr. P.W. Harkins, Columbus, Ohio State University Press.

GIL-PÉREZ D. (1993), « Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique », *Aster*, n°17, p.41-64.

GOHAU G. (1965), « Valeur et place de l'expérience », *Biologie Géologie*, n°3-1965, p.201-210.

GRANGEAT M. (2013), « Modéliser les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation : développement des compétences professionnelles, apport du travail collectif », *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation*, M. Grangeat (dir.), Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble, p.155-184.

GRMEK M. (1997), *Le legs de Claude Bernard*, Paris, Fayard.

GUEUDET G., BUENO-RAVEL L., FOREST D. & SENSEVY G. (2010), « Guidelines for design of online resources for inquiry-based science teaching. Deliverable 5.2 », *Mind the Gap* FP7 project 217725, <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00734199>, consulté le 7 novembre 2013.

HOFSTEIN A., KIPNIS M. & KIND P. (2008), « Learning in and from Science Laboratories: Enhancing Students' Meta-cognition and Argumentation Skills », *Science education issues and developments*, C.L. Petroselli (dir.), New York, Nova Science Inc., p. 59-94.

HOST V. (1998), « *Évolution de l'enseignement scientifique en France depuis un siècle* », présenté par J. Deunff & J.-M. Host, http://samuelhuet.com/documents/victor_host.pdf, consulté le 2 mai 2014.

JACOB F. (1981), *Le jeu des possibles*, Paris, Fayard.

JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993), *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, Presses Universitaires de France.

LAWSON A.E. (2010), « Basic Inferences of Scientific Reasoning, Argumentation, and Discovery », *Science Education*, n°94(2), p.336-364.

LINN M.C., DAVIS E. & BELL P. (2004), *Internet environments for science education*, Mahwah, Erlbaum.

LLEWELLYN D. (2013), *Inquire Within: Implementing Inquiry- and Argument-Based Science Standards in Grades 3-8*, Corwin Press.

MATHÉ S. MEHEUT M. & DE HOSSON C. (2008), « Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? », *Didaskalia*, n°32, p.41-76.

MEDAWAR P.B. (1972), *The Hope of Progress*, London, Methuen & Co Ltd.

MEHEUT M. DE HOSSON C. & THAUVIN-ROY E. (2006), « TP top, situation-problème, démarche d'investigation. Des modalités d'évolution pour l'enseignement des sciences physiques ? », *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°889, p.835-846.

MILLS T.W. (1893), « The Natural or Scientific Method in Education », *Popular Science Monthly*, n°42, p.10-25.

MINNER D.D., LEVY A.J. & CENTURY J. (2010), « 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(4), p.474-496.

MORANDI F. (2013), « Pédagogies actives et nouvelles activités de connaissance », *Conditions de l'éducation et perspectives pour l'éducation nouvelle*, J.-C. Sallaberry (dir.), Paris, L'Harmattan, p.19-33.

MORGE L. & BOILEVIN J.-M. (2007), *Séquences d'investigation en physique-chimie*, Clermont-Ferrand, SCÉRÉN.

NRC (2000), *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*, Washington, National Academy Press.

NRC (2012), *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, The National Academies Press.

ORANGE C. (2002), « L'expérimentation n'est pas la science », *Cahiers pédagogiques*, n°409, p.19-20.

PIAGET J. (1924), *Le jugement et le raisonnement chez l'enfant*, Neuchâtel, Paris, Delachaux & Niestlé.

PIAGET J. (1969), *Psychologie et pédagogie*, Paris, Denoël.

POINCARÉ H. (1905), *La valeur de la science*, Paris, Flammarion, 1970.

POPPER K. (1979), *La connaissance objective*, Paris, Flammarion.

POSNER G.J., STRIKE K.A., HEWSON P.W. & GERTZOG W.A. (1982), « Accommodation of a scientific conception : toward a theory of conceptual change », *Science Education*, n°66, p.211-227.

QUINTIN J. (2011), « La souffrance à l'école : un malaise éthique », *Les Collectifs du Cirp*, volume 2, p.117-126.

REBOUL O. (1980), *Qu'est-ce qu'apprendre ? Pour une philosophie de l'enseignement*, Paris, Presses Universitaires de France.

ROBARDET G. & GUILLAUD J.-C. (1997), *Éléments de didactique des sciences physiques*, Paris, Presses Universitaires de France.

SADEH I. & ZION M. (2009), « The development of dynamic inquiry performances within an open inquiry setting: A comparison to guided inquiry setting », *Journal of Research in Science Teaching*, n°46, p.1137-1160.

TAFOYA E., SUNAL D. & KNECHT P. (1980), « Assessing inquiry potential: a tool for curriculum decision makers », *School science and mathematics*, n°80, p.43-48.

VAN FRAASSEN B.C. (1989), *Laws and Symmetry*, Oxford, Oxford University Press.

VILCHES A. & GIL-PEREZ D. (2012), « The Supremacy of the Constructivist Approach in the Field of Physics Education: Myths and Real Challenges », *Tréma*, n°38, p.87-104.

VOSNIADOU S. & IOANNIDES C. (1998), « From conceptual change to science education: a psychological point of view », *International Journal of Science Education*, n°20(10), p.1213-1230.

WINDSCHITL M., THOMPSON J. & BRAATEN M. (2008), « Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations », *Science Education*, n°92(5), p.941-967.