

COMPREHENSION DES PROCEDURES DE L'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE PAR LES ELEVES

Robin Millar, University of York, UK

Introduction : enseigner le contenu de la science et la méthode scientifique

L'objectif principal des curriculums de l'enseignement scientifique est d'aider les élèves à comprendre et à être capables de mettre en oeuvre des explications scientifiques du comportement du monde naturel. De plus, la plupart des curriculums visent également à développer, chez les élèves, la compréhension de l'investigation scientifique. De fait le terme même de "compréhension" implique que les élèves n'ont pas complètement accepté une explication scientifique particulière comme valide, mais qu'ils peuvent en expliquer les raisons. Cela exige une certaine compréhension des méthodes utilisées par les scientifiques pour établir de nouvelles approches scientifiques des phénomènes. Dans la plupart des curriculums d'enseignement scientifique et dans la pratique courante de l'enseignement, le point de vue qu'une telle compréhension ne doit pas être explicitée est implicite : les élèves acquièrent cette compréhension des méthodes à partir de l'observation des expériences de démonstration et de la réalisation d'expériences à partir de consignes. Toutefois, quelques professeurs de science considèrent que l'enseignement explicite des méthodes de la science est nécessaire, et même (dans certains cas), qu'une compréhension de la méthode de la science (ou des "processus" de la science) est plus importante qu'une connaissance du contenu de la science.

Absence de consensus sur la méthode scientifique : un problème pour les chercheurs en didactique des sciencesⁱⁱ

Alors qu'une grande partie des recherches a porté sur la compréhension des élèves dans de nombreux domaines scientifiques, beaucoup moins de travaux ont été effectués sur la compréhension de l'investigation scientifique. Il n'est pas difficile de voir une raison à cette différence : alors qu'il y a un consensus général au sein de la communauté scientifique sur la compréhension de la force et du mouvement, des circuits électriques ou de la thermodynamique, il y a peu d'accord parmi les philosophes des sciences sur le fait qu'une "méthode scientifique" existe et laquelle, et même sur la possibilité d'une caractérisation de l'approche scientifique. Cette absence de consensus a de l'importance puisque la recherche des idées des élèves en science est essentiellement normative, c'est-à-dire qu'elle utilise les points de vue scientifiques acceptés comme un "gabarit" et qu'elle cherche à décrire les idées des élèves en relation avec ces points de vue. Même dans les études qui ne sont pas prévues spécialement pour comparer les compréhensions des élèves avec le point de vue accepté de la science, ce point de vue est pris en compte dans l'analyse initiale du contenu du domaine et permet aux chercheurs de décider quelles idées rechercher. De plus, lorsque nous considérons la compréhension de l'investigation scientifique, il n'existe pas d'accord pour dire quelles sont les questions que nous devons poser ou quels sont les comportements d'élèves que nous devons observer. Nous manquons d'un accord sur une "carte" du domaine d'intérêt.

Bien entendu, ceci peut expliquer pourquoi une compréhension des méthodes de l'investigation scientifique est souvent traitée comme un aspect tacite de l'apprentissage de la science. En faisant l'hypothèse que les élèves en acquerront la compréhension nécessaire à partir de leurs expériences des cours et des travaux pratiquesⁱⁱⁱ, nous évitons le besoin de spécifier exactement ce que cet apprentissage comporte. Pour être plus clairement conscients du problème, considérons pendant un temps ce que cela signifierait de développer chez les élèves la

compréhension des méthodes scientifiques et la capacité à utiliser ces méthodes dans leurs propres investigations. Nous aurions comme objectifs d'enseignement d'aider les élèves à devenir plus " experts " dans la sélection des questions productives pour une investigation, dans la conception d'expériences pertinentes pour recueillir des données ayant trait à ces questions, dans la fabrication de séries planifiées d'observations ou de mesures en tenant compte de la précision, de la validité et de la fiabilité, dans l'analyse et l'interprétation de ces données pour parvenir à une conclusion supportée par ces données, et tout en étant capables d'évaluer la qualité des preuves supportant leur conclusion. (Les termes " productives " et " pertinentes " dans l'exposé ci-dessus sont bien sûr à considérer avec une signification relative à une perspective scientifique.) Toutes les décisions en jeu dépendent clairement, dans une large mesure, des connaissances des élèves sur le contenu de la science dans le domaine concerné. Elles dépendent aussi de nombreuses " tactiques " spécifiques qui sont des signes de " qualité " dans les activités pratiques en particulier dans les domaines scientifiques : prendre des dispositions pour réduire les pertes de chaleur dans les études thermodynamiques, décider où placer l'ampèremètre et le voltmètre pour mesurer une résistance électrique, et ainsi de suite. Il s'ensuit que certains demanderont si cela a beaucoup de sens de parler d'une " approche scientifique de l'investigation " ou d'une " méthode scientifique " *générale*.

En revanche, il semble clair que les élèves, surtout ceux qui poursuivent des études scientifiques à des niveaux élevés, deviennent meilleurs dans la conception et la réalisation d'investigations pertinentes. Ils paraissent avoir acquis une certaine compréhension des caractéristiques générales de l'investigation scientifique, qu'ils peuvent alors appliquer à de nouvelles investigations qu'on leur demande de conduire. Bien entendu, beaucoup de ceci peut provenir de leur connaissance grandissante du contenu de la science. Mais une partie peut refléter une compréhension grandissante des procédures de l'investigation scientifique - une compréhension des idées clés sur l'aspect systématique de l'investigation scientifique qui peut être appliquée à de nombreuses investigations dans différents domaines de la science.

Pour les enseignants en science, intéressés par cet aspect de l'enseignement scientifique, le défi est alors plus important que pour ceux qui veulent enseigner un contenu scientifique ou rechercher les compréhensions des élèves relatives à des contenus scientifiques. Ils doivent d'abord produire un cadre ou un modèle de l'approche scientifique de l'investigation, sur laquelle ils fonderont leur approche d'enseignement ou leur recherche empirique sur ce que les élèves comprennent et comment cela affecte les choses qu'ils font réellement ou qu'ils peuvent faire. Dans le reste de ce chapitre, je considérerai quelques-unes des manières avec lesquelles les chercheurs ont tenté de représenter les méthodes de l'investigation scientifique, en discutant brièvement quelques-uns de leurs principaux résultats. Toutefois, dans de nombreux cas, la valeur de ces résultats, pour nous aider à comprendre l'apprentissage des élèves ou à prendre des décisions relatives à l'enseignement, dépend de la validité du cadre conceptuel dans lequel le travail a été conçu et conduit. Ainsi, le but fondamental qui sous-tend ce travail est de tirer des conclusions concernant les types de modèles qui peuvent contribuer à développer un programme de recherche et de là à fournir des informations pour l'enseignement dans ce domaine.

L'approche scientifique de l'enquête : des modèles pour cette éducation

L'approche scientifique qui intègre les " compétences sur le processus "

Quelques professeurs de science et des cours de sciences d'un certain nombre de pays, ont considéré l'approche scientifique de l'investigation comme un ensemble de " processus " : observer, classer, faire des hypothèses, inférer, prédire et ainsi de suite. Un exemple bien connu, le cours *Science - A Process Approach* (SAPA) [Science - Une approche par le processus] (AAAS, 1967), était basé sur une analyse de Gagné relative aux processus de la science et de l'apprentissage. Plusieurs cours de science au Royaume-Uni dans les années 80 ont aussi suivi cette ligne, certains utilisant les processus (plutôt que le contenu de la science)

pour structurer l'enseignement, et considérant l'apprentissage essentiellement en termes de développement des "compétences sur le processus" des élèves, c'est-à-dire leurs capacités à conduire ces processus dans un ensemble de situations. Des matériaux pour évaluer les "compétences sur le processus" ont été aussi élaborés. Toutes ces approches ont pour caractéristique de présenter la méthode scientifique comme un ensemble discret de "compétences de pensée", qui peuvent être pratiquées et développées séparément avant d'être combinées pour aborder des problèmes plus difficiles.

De nombreux projets d'évaluation à petite échelle ont été conduits sur SAPA et d'autres programmes similaires. Bredderman (1983) et Shymansky, Kyle et Alport (1983) ont tenté de synthétiser les résultats des nombreuses études menées sur ce type d'enseignements scientifiques à un niveau élémentaire faits aux USA à cette période ; ils concluent que la recherche présente des avancées sur plusieurs aspects de l'apprentissage des élèves. Toutefois, il y a de très grandes variations d'une étude à l'autre concernant leur échelle et leur forme d'approches, et dans de nombreux cas, la validité des données et des conclusions posent question. Les contrôles de l'apprentissage des élèves peuvent être critiqués car trop similaires en structure ou en contenu à ceux utilisés dans l'enseignement, et ainsi les bonnes performances reflètent des réponses guidées ou des rappels par cœur, plus que la compréhension - un problème perpétuel pour toutes les études de transfert de l'apprentissage d'un contexte à un autre.

Toutefois, les problèmes concernant "l'approche par le processus" sont plus profonds que ne le font apparaître les résultats relatifs à l'efficacité de l'enseignement. Le point de vue du "processus" de la méthode de la science a été fortement critiqué sur des bases épistémologiques (par exemple, par Finlay, 1983 ; Millar et Driver, 1987 ; Hodson, 1990). Son idée de l'investigation scientifique comme débutant par des observations impartiales, suivies de classification des observations, conduisant à l'émergence d'hypothèses (sous la forme de généralisations ou de modèles explicatifs) est une idée fortement (on pourrait même dire naïvement) empirique et inductive, qui reçoit peu de soutien de la part des philosophes des sciences contemporains. Les études menées en classe démontrent clairement l'influence des idées préalables sur l'observation (Hainsworth, 1956 ; Gott et Welford, 1987). Les problèmes de l'apprentissage par la découverte, dans lequel l'approche inductiviste est prise jusque dans sa conclusion logique, sont bien étudiés (Atkinson et Delamont, 1977 ; Wellington, 1981 ; Harris et Taylor, 1983). L'élément hypothético-déductif de l'approche par le processus n'échappe pas à ces problèmes. Les expériences faites dans l'enseignement en travaux pratiques ne sont pas des contrôles stricts, au sens Poppérien, de la science (ou même des propres explications des élèves).

L'approche par le processus a aussi été critiquée sur des bases pédagogiques - la capacité à observer, classifier, faire des hypothèses et ainsi de suite est quelque chose que tout enfant possède depuis sa petite enfance (Millar et Driver, 1987). Si c'est le cas, c'est une erreur de croire que ces "compétences sur le processus" doivent être enseignées. La capacité des enfants à l'utiliser dépend toutefois du degré de leurs connaissances et de la confiance qu'ils leur accordent dans les contextes dans lesquels on leur demande de travailler. Ceci expliquerait par exemple le résultat que la performance pour les tâches exigeant ces "compétences sur le processus" dépende fortement du contexte (Song et Black, 1991 ; Lock, 1993).

Ainsi cette approche par le processus n'est pas une base solide pour la planification de l'enseignement, et l'analyse sur laquelle elle est basée ne fournit pas non plus une structure productive pour la recherche.

L'approche scientifique comme une stratégie logique

Une des caractéristiques de la pensée scientifique est l'engagement dans un raisonnement logique pour relier la preuve et l'explication. Ceci, ainsi que l'utilisation par Piaget du contexte scientifique pour ses études du raisonnement des enfants, a conduit certains à identifier la "pensée scientifique" aux types de "pensée logique" que Piaget a considéré comme caractéristique de la pensée opératoire formelle (Inhelder et Piaget, 1958). Du point de vue

Piagétien, la compréhension de la nécessité de contrôler les variables, dans les expériences comportant plusieurs variables indépendantes, pour tirer des conclusions valides est une indication de la pensée formelle. De nombreuses études ont été conduites par des didacticiens des sciences^{iv} pour explorer la capacité des élèves à contrôler les variables dans des tâches variées, et pour évaluer la réussite de diverses approches d'enseignement. Lawson (1985) fournit une revue complète et détaillée. De manière générale, la recherche montre que beaucoup d'élèves des écoles ont des difficultés à concevoir des expériences variées et à interpréter les résultats de telles expériences, et que leur performance s'améliore avec l'âge (Wollman, 1977 ; Karplus et al., 1979). Comme dans d'autres domaines, les idées préalables des élèves et leurs intuitions sont importantes : l'idée de "justice" lors de l'établissement de comparaison est aisément saisie par de nombreux enfants de 7-8 ans et plus. Wollman et Lawson (1977) notent toutefois que cette idée de base "n'évolue habituellement pas spontanément vers une procédure [pour concevoir des expériences] claire et applicable de manière générale, comme cela a été constaté par de nombreuses études sur des adolescents et des adultes" (p.57). Les niveaux de performance sont également influencés de manière significative par le contenu et le contexte de la tâche (Linn, 1980 ; Linn et al., 1983 ; Song et Black, 1992), et les élèves réussissent différemment les tâches selon qu'elles mettent en jeu des expériences naturelles (explications d'événements observés se produisant dans des dispositifs de la vie de tous les jours) ou des expériences de laboratoire (Kuhn et Brannock, 1977).

De nombreuses études ont également été conduites pour évaluer des enseignements visant à améliorer les performances des élèves. Kuhn et Angelev (1976) ont trouvé que la pratique de la résolution de problèmes concernant le contrôle des variables a conduit à une amélioration, mais que la discussion explicite des solutions n'a pas permis de gain supplémentaire. Rowell et Dawson (1984) ont signalé une augmentation significative des réussites par l'utilisation d'une approche d'enseignement fondée sur une procédure générale de solution, mais ils ont noté encore une fois une forte influence du contexte sur la performance.

Comme pour la recherche sur les "processus" de la science, un problème central pour étudier l'enseignement du contrôle des variables est d'inventer des items de test après enseignement qui soient suffisamment différents de ceux utilisés dans l'enseignement pour prouver qu'un transfert dans la compréhension s'est produit, tout en ne rendant pas l'écart trop grand, ce qui amènerait inévitablement à un résultat nul. Le degré avec lequel chaque étude parvient à cela est, inévitablement, un problème de jugement. Prise dans son ensemble, la littérature suggère que la performance des élèves s'améliore avec l'âge et avec la réalisation de tâches exigeant cette forme de raisonnement, et qu'elle peut être encore accrue par des interventions spécifiques si celles-ci sont conçues soigneusement. A la fois avant et après tout enseignement dirigé, il y a des chances de variations considérables dans la performance selon les contextes et entre les expériences "naturelles" et planifiées.

Les grandes enquêtes sur la performance des élèves conduites au Royaume-Uni par l'Unité d'Evaluation de la Performance (Assessment of Performance Unit, APU) à la fin des années 70 et au début des années 80 étaient fondées sur une analyse de la performance en science qui insistait sur la capacité à conduire une investigation scientifique, en considérant cela comme nécessitant une synthèse de tous les sous-composants de la performance. Les tâches d'investigation que l'"APU" a utilisé étaient du type "contrôle de variables", et ceci a fortement influencé en retour l'intégration d'une composante d'investigation dans les examens nationaux pour l'âge de 16 ans, et par conséquent dans le curriculum anglais national (DES/WO, 1989). La recherche APU (APU, 1987), et des travaux ultérieurs spécifiquement reliés au curriculum national (Gott et Duggan, 1995), ont corroboré les principaux résultats des travaux précédents décrits ci-dessus. Ils ont montré que les élèves trouvent les tâches impliquant des variables continues beaucoup plus exigeantes que celles impliquant des variables catégorielles (comparaisons), et que la performance est fortement influencée par le contenu scientifique de la tâche d'investigation et par le contexte dans laquelle elle est conçue (quotidien ou laboratoire). Les *connaissances procédurales* des élèves - le terme de l'APU pour la compréhension relative à l'investigation - apparaissent comme rendant seulement compte d'une petite partie de la variation de leur performance selon les tâches, les connaissances sur le contenu scientifique et les connaissances informelles sur le contexte étant plus significatives. Un résultat similaire est

consigné par Erickson et al. (1991) à partir d'une enquête importante sur les performances des élèves en Colombie Britannique.

Toutefois, une critique plus générale de l'approche de l'APU, et plus tard de celle du curriculum national anglais, est qu'elle limite " les investigations scientifiques " à des tâches concernant les relations entre un certain nombre de variables. Bien que la procédure de direction et d'interprétation d'une expérience contrôlée soit importante dans toutes les disciplines scientifiques et technologiques, il y a bien plus que cela dans l'investigation scientifique.

Un type de résultat assez différent est donné par Schauble et ses coéquipiers (Schauble et al., 1991) à partir d'une étude des élèves réalisant des tâches de contrôle de variables. Ils considèrent que les élèves se déplacent d'une " approche d'ingénierie " dans laquelle les variables sont adaptées pour optimiser un effet, vers une " approche scientifique ", dans laquelle les relations entre les variables sont explorées. Ceci met l'accent non pas sur la compétence technique des élèves à manipuler les variables, mais sur leur compréhension de l'objectif. Les résultats suggèrent que les élèves peuvent avoir besoin qu'on les aide à comprendre les objectifs du travail d'investigation en science s'ils doivent réussir comme nous le souhaitons.

L'approche scientifique comme une résolution de problèmes

Un problème avec les deux approches du " processus " et du " contrôle des variables " est qu'elles sont, dans leur orientation, fondamentalement " algorithmiques " : elles présentent les investigations scientifiques comme ayant une forme invariante. Elles supposent qu'il existe une " méthode scientifique ", plus que quelque chose de plus vague et plus flexible que nous pouvons appeler une " approche scientifique " de l'investigation. L'approche par le " contrôle des variables " correspond à cette méthode scientifique en réduisant la portée de ce qui rend compte d'une " investigation scientifique ", et implicitement (peut-être involontairement) en adoptant un point de vue fortement empiriste de la connaissance scientifique, dans laquelle les constructions théoriques (les variables estimées pertinentes) " émergent " de la situation plus qu'elles ne sont imposées à la situation par la façon dont l'investigateur la comprend.

Quelques chercheurs, travaillant dans une perspective cognitive de la science, ont traité l'approche scientifique comme une forme de résolution de problèmes. Klahr et Dunbar (1988), par exemple, ont demandé à des étudiants d'université d'étudier la fonction de l'un des boutons de contrôle du jouet robotique programmable " Bigtrak ". Ils ont analysé des enregistrements détaillés de séquences d'investigations réalisées par chaque élève pour résoudre ce problème. Ils considèrent que ces investigations pourraient être mieux comprises si on les interprétait comme une recherche, par les élèves, dans deux domaines de leur mémoire : le domaine des expériences possibles et le domaine des hypothèses possibles. Klahr et Dunbar critiquent les travaux précédents en sciences cognitives sur le raisonnement scientifique, sur la base du fait que les tâches proposées sont des analogies pauvres de situations réelles où la pensée scientifique est exigée. Toutefois, leur propre étude peut être critiquée sur des bases similaires : la tâche comporte une faible charge conceptuelle ; l'étendue des expériences possibles est assez limitée ; les résultats de chaque expérience sont assez facilement identifiables ; et les élèves savent que le bouton qu'ils étudient a une fonction unique et simple, qui est connue de quelques-uns. Aucun de ces travaux ne peut correspondre vraisemblablement au cas d'un véritable " problème " scientifique.

Néanmoins, je pense qu'il est utile de considérer la tâche d'aborder une investigation en science comme impliquant une sorte de recherche dans un " espace problème ". Les idées sont extraites de la mémoire à long terme, déclenchées par les aspects du problème abordé. Lors de la conception d'une investigation, l'investigateur choisit des " outils " dans sa " trousse à outils ". Tous ne sont pas nécessaires pour une investigation donnée ; la compétence réside dans le fait de savoir faire les bons choix, et de savoir comment utiliser les outils nécessaires. Millar (1990) propose un modèle de ce type, dans lequel la compréhension procédurale est divisée en trois catégories : les compétences cognitives générales (telles que l'observation, la classification, et ainsi de suite), les techniques pratiques (telles que savoir comment utiliser des

instruments de mesure variés) et les tactiques d'investigation (telles que savoir reproduire des mesures pour améliorer leur fiabilité). Il indique que la première catégorie ne peut pas être enseignée, mais qu'elle représente de aspects généraux de la cognition que tous les enfants possèdent. Les autres catégories peuvent être enseignées, mais leur sélection et leur mise en relation dans une stratégie abordant n'importe quelle investigation ne se résume pas simplement à suivre un "ensemble de règles". Erickson (1994) a utilisé cette structure pour analyser la performance des élèves sur une tâche d'investigation impliquant des aimants. Parmi d'autres résultats, il montre l'influence des connaissances conceptuelles des élèves relatives au magnétisme sur leurs choix des procédures d'investigation.

Un modèle similaire (Figure 1), insistant sur la sélection en mémoire des idées pertinentes, est proposé par le projet PACKS (Millar et al., 1994) pour l'interprétation des données sur la performance des élèves relatives à sept tâches d'investigation.

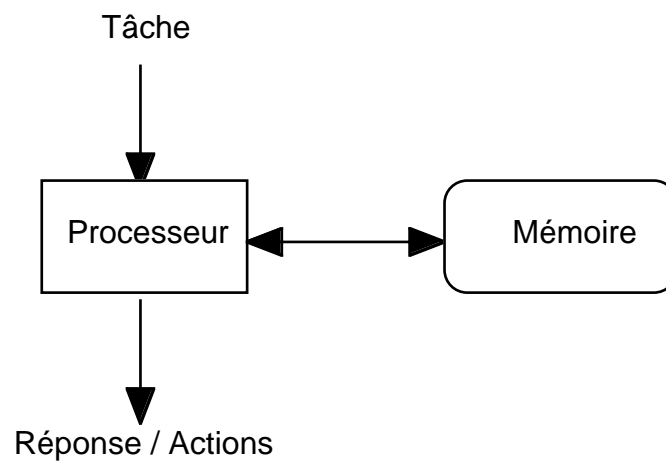


Figure 1 Conception d'une investigation scientifique : un modèle simple

Leur analyse des réponses d'élèves a conduit à l'élaboration de ce modèle de base, identifiant quatre aspects spécifiques de la compréhension en lien avec les différentes étapes du déroulement d'une investigation (Figure 2).

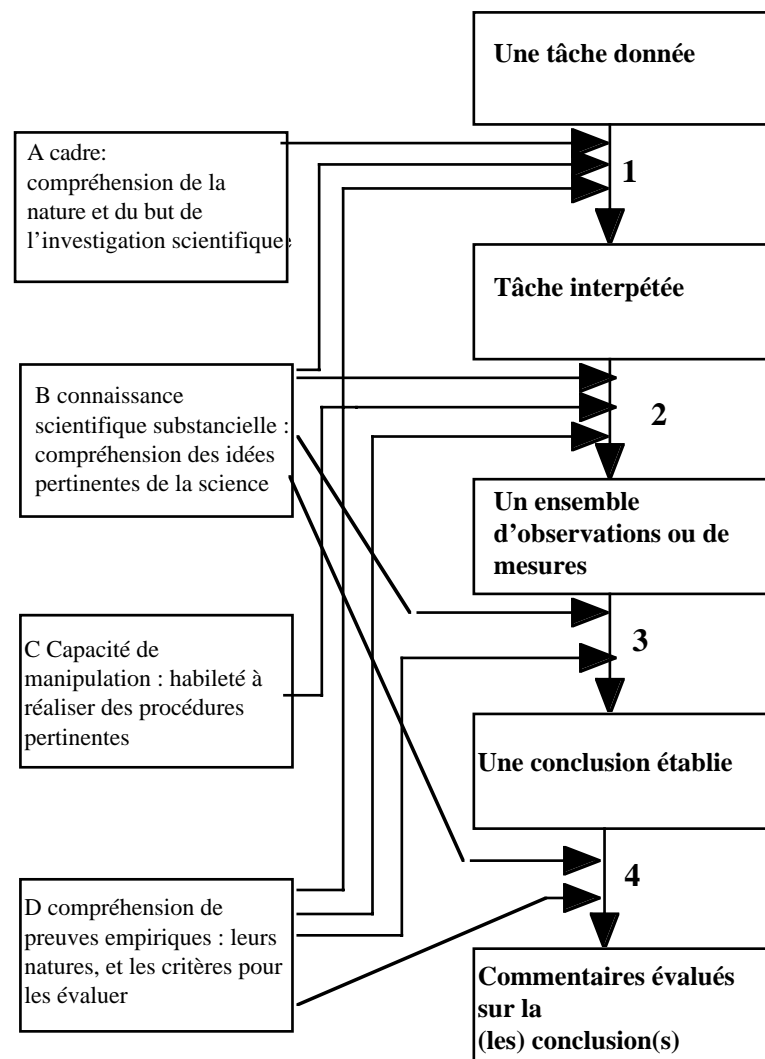


Figure 2 Relation entre compréhension et actions dans la réalisation d'une investigation scientifique : le modèle PACKS

Comme l'ont montré de nombreuses études, un des aspects, la compréhension du contenu scientifique pertinent, influence de manière significative la performance. Il est également facile d'accepter que la capacité (et la compétence) à utiliser le matériel pour la mesure et les autres appareils influence la performance. Un troisième catégorie, étiquetée "cadre", développe les idées de Shauble sur "l'approche", en attirant l'attention sur l'influence de la compréhension, par les élèves, de l'objectif de la tâche d'investigation sur son interprétation, et de là sur leurs actions. Le quatrième aspect, une compréhension de la nature de la preuve empirique (c'est-à-dire une compréhension du fait que les mesures sont sujettes aux erreurs, et de la manière d'évaluer la fiabilité des données recueillies), a une influence particulièrement forte sur l'ensemble de la performance des élèves dans les tâches d'investigation du PACKS. (Cet aspect de la compréhension procédurale est discutée plus en détail dans la section ci-dessous).

L'approche scientifique comme un recueil de preuves empiriques

Les trois perspectives discutées ci-dessus insistent sur la capacité à concevoir et à exécuter une stratégie pour aborder une investigation donnée. Toutefois, cela peut être plus productif de mettre l'accent de cet aspect essentiellement créatif de l'investigation sur les étapes utilisant les données comme preuves qui justifient les conclusions. La distinction est similaire à celle faite par les philosophes entre le contexte de la *découverte* et le contexte de la *justification* de la connaissance scientifique. Le premier est plus difficile à décrire et à expliquer - en effet, il peut y avoir peu de choses à dire. La même chose peut s'appliquer à l'enseignement de la manière de

réaliser des investigations scientifiques : il peut s'avérer plus faisable d'enseigner aux élèves comment évaluer leurs données et présenter leurs justifications pour étayer des conclusions, que d'enseigner comment aborder de nouveaux problèmes. A partir de ce type de perspective, des chercheurs ont exploré la compréhension par les élèves de l'activité de mesure, de recueil de données, et d'interprétation et d'utilisation de données comme preuves. Le projet PACKS discuté ci-dessus a trouvé une absence de compréhension des idées concernant le recueil et l'évaluation des données empiriques ce qui représente une faiblesse majeure de nombreux travaux d'élèves. En utilisant un instrument d'enquête pour recueillir les réponses des élèves à des questions de diagnostic impliquant l'interprétation et l'évaluation de données, Lubben et Millar (à paraître) proposent une séquence de niveaux de compréhension de la mesure en science. Au plus bas niveau, les élèves considèrent la mesure comme n'étant pas problématique : une mesure soigneuse produit une valeur " vraie ". A un niveau intermédiaire, les élèves sont conscients de la possibilité d'erreur, et peuvent savoir que la répétition des mesures est un moyen d'améliorer leurs résultats, mais ils considèrent toujours qu'une valeur ne peut être évaluée que par l'utilisation d'une autorité extérieure (un enseignant, un livre de données). Le niveau le plus élevé implique la compréhension de la manière dont la variation, lors des lectures répétées, peut être utilisée pour évaluer la " fidélité " d'une mesure. Séré et ses collègues (1993) font un compte-rendu des compréhensions d'idées similaires à un niveau plus avancé, celui des étudiants d'université.

La signification de ce type de compréhension est très clairement montrée par une étude récente (Bailey et Millar, 1996) dans laquelle on demandait à des élèves (âgés de 11 à 16 ans) de tirer des conclusions à partir de tableaux de données issus d'expériences variées. Dans certaines questions, des résultats " idéaux " étaient présentés, avec seulement une mesure de la variable dépendante pour chaque combinaison de valeurs des variables indépendantes, et pas de changements pour la variable dépendante lorsqu'une variable indépendante qui n'avait pas d'effet était modifiée. Une question parallèle présentait des données plus réalistes, en donnant trois lectures répétées de la variable dépendante à chaque fois, et présentant de faibles changements dans la valeur moyenne de la variable dépendante (mais dans la fourchette des lectures répétées) lorsqu'une variable indépendante sans effet était modifiée. La capacité des élèves à tirer la conclusion attendue et à expliquer leur raisonnement était sensiblement plus faible pour le second type de questions, et les réponses correctes provenaient toutes des élèves qui avaient répondu correctement à la question correspondante sur les données " idéales ". Ceci suggère que la compréhension de la manière d'évaluer si les petites différences sont des preuves d'un effet réel ou sont simplement dues à des incertitudes expérimentales pose un problème supplémentaire et assez important pour les élèves, en plus des exigences de raisonner logiquement sur les variables.

Enseigner (et faire de la recherche sur) la compréhension des élèves de l'investigation scientifique : une manière d'aller plus loin

Comme je l'ai indiqué précédemment, dans la plupart des domaines scientifiques, il y a un accord général sur les types de compréhension que nous visons à développer dans l'enseignement scientifique, et les types de tâches que nous voulons que les élève soient capables de réaliser correctement. Au regard des procédures de l'investigation scientifique, l'accord concernant ces deux aspects est moins important. Une exigence première est une plus grande clarté sur ce que nous désirons que nos élèves soient capables de faire : si nous désirons qu'ils deviennent meilleurs pour la réalisation d'une investigation scientifique pour eux-mêmes, alors nous avons besoin de nous mettre d'accord sur les types de tâches que nous considérerons comme une " investigation scientifique ". Alors nous serons capables d'analyser les types de compréhensions requises pour réaliser de telles tâches, et de développer des modèles pour relier les aspects de la compréhension à ceux de la performance. Dans l'état actuel des choses, le modèle développé par le projet PACKS (Figure 2) est le modèle disponible le plus détaillé. Un facteur important de ce modèle est qu'il ne représente pas l'investigation scientifique comme " gouvernée par des règles ". Il la considère au contraire comme impliquant une recherche des connaissances disponibles dans quatre sous catégories. Toutefois, plus de travail serait

nécessaire pour tester et améliorer ce modèle. Par exemple, nous avons besoin d'en savoir plus sur le type d'éléments de mémoire rappelés : sont-ils des faits isolés, ou des principes, ou sont-ils, plus probablement, des " scénarios " plus généraux issus de la vie de tous les jours ou des expériences scolaires préalables ? Et comment pouvons-nous aider les élèves à accéder à leurs propres connaissances marquantes et utiles pour répondre à une tâche donnée ?

Du point de vue de l'enseignement, je pense qu'il est d'un grand secours de considérer la performance dans les tâches d'investigations pratiques comme essentiellement basée sur les connaissances (plus, par exemple, que de les imaginer comme révélant des " compétences ", qui est un terme défini de manière approximative). De nombreuses études ont montré que les connaissances du contenu de la science sont très importantes : plus vous en connaissez sur les idées de la science qui sont en lien avec une investigation, meilleure (dans une perspective scientifique) pourra être votre investigation. Mais d'autres champs de la compréhension sont également importants. Parmi ceux-ci on trouve :

- une compréhension claire de l'objectif de l'investigation (en science, dirigée vers l'explication plus que vers l'optimisation d'un objet ou d'un effet)
- une compréhension de l'idée d'une variable, et du contrôle des variables dans des expériences variées
- une compréhension du problème du recueil de données valides et fiables, et de la manière d'évaluer la validité et la fiabilité des données que l'on a recueillies.

Ce programme pour l'enseignement génère également un programme de recherche, sur la compréhension par les élèves et la manière de la développer, et sur l'efficacité de types spécifiques d'interventions dans l'enseignement.

Enfin, cela vaut la peine de noter que cette compréhension n'est pas seulement importante dans le contexte de l'investigation par les élèves. Elle est également essentielle dans les programmes d'enseignement dans lesquels les élèves n'ont pas à concevoir et réaliser des investigations en science. Quand les élèves ne comprennent pas ces idées clés sur l'investigation scientifique, ils ont des bases relativement faibles pour s'engager dans des discussions de classe sur l'interprétation des données issues d'exercices pratiques et des démonstrations faites par l'enseignant ayant pour objectif d'illustrer et de fournir des justifications pour l'acceptation des idées scientifiques établies. La compréhension procédurale n'est pas un supplément optionnel ; elle étaye l'enseignement et l'apprentissage du contenu de la science.

Références

- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1967). *Science - A Process Approach*. Washington, DC: AAAS.
- Assessment of Performance Unit (APU) (1987). *Assessing Investigations at Ages 13 and 15. Science Report for Teachers: 9*. London: DES/WO/DENI.
- Atkinson, P. and Delamont, S. (1977). Mock-ups and cock-ups - the stage management of guided discovery instruction. In P. Woods and M. Hammersley (eds.), *School Experience: Explorations in the Sociology of Education* (pp. 87-108). London, Croom Helm.
- Bailey, S. and Millar, R. (1996). *From logical reasoning to scientific reasoning: students' interpretation of data from science investigations*. Science Education Research Paper 96/01. Department of Educational Studies, University of York.
- Bredderman, T. (1983). Effects of activity-based elementary science on student outcomes: a quantitative synthesis. *Review of Educational Research*, 53 (4), 499-518.
- Department of Education and Science/Welsh Office (DES/WO) (1989). *Science in the National Curriculum*. London: HMSO.
- Erickson, G., Bartley, R.W., Blake, L., Carlisle, R.W., Meyer, K. and Stavy, R. (1992). *British Columbia assessment of science 1991 technical report II: Student performance component*. Victoria, B.C.: Ministry of Education and Ministry Responsible for Multiculturalism and Human Rights.

- Erickson, G. (1994). Pupils' understanding of magnetism in a practical assessment context: the relationship between content, process and progression. In P. Fensham, R. Gunstone and R. White (eds.), *The Content of Science* (pp. 80-97). London: Falmer.
- Finlay, F. (1983). Science processes. *Journal of Research in Science Teaching*, 20 (1), 47-54.
- Gott, R. and Duggan, S. (1995). *Investigative Work in the Science Curriculum*. Buckingham: Open University Press.
- Gott, R. and Welford, G. (1987). The assessment of observation in science. *School Science Review*, 69 (247), 217-27.
- Hainsworth, M.D. (1956). The effect of previous knowledge on observation. *School Science Review*, 37, 234-42.
- Harris, D. and Taylor, M. (1983). Discovery learning in school science: The myth and the reality. *Journal of Curriculum Studies*, 15 (3), 277-89.
- Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 71 (256), 33-40.
- Inhelder, B. and Piaget, J. (1958). *The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Karplus, R., Karplus, E., Formisane, M. and Paulsen, A.C. (1979). Proportional reasoning and control of variables in seven countries. In J. Lochhead and J. Clement (eds.), *Cognitive Process Instruction* (pp. 47-103). Philadelphia, PA: Franklin Institute Press.
- Klahr, D. and Dunbar, K. (1988). Dual search space during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12 (1), 1-48.
- Kuhn, D. and Angelev, J. (1976). An experimental study of the development of formal operational thought. *Child Development*, 47, 697-706.
- Kuhn, D. and Brannock, J. (1977). Development of the isolation of variables scheme in experimental and 'natural experiment' contexts. *Developmental Psychology*, 13 (1), 9-14.
- Lawson, A.E. (1985). A review of research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 22 (7), 569-617.
- Linn, M.C. (1980). Teaching students to control variables: some investigations using free choice experiments. In S. Mogdil and C. Mogdil (eds.), *Towards a Theory of Psychological Development* (pp. 673-97). Windsor, NFER.
- Linn, M.C., Clement, C. and Pulos, S. (1983). Is it formal if it's not physics? (The influence of content on formal reasoning). *Journal of Research in Science Teaching*, 20 (8), 755-70.
- Lock, R. (1993). Assessment of practical skills. Part 2. Context dependency and construct validity. *Research in Science and Technological Education*, 8 (1), 35-52.
- Lubben, F. and Millar, R. (forthcoming). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, in press.
- Millar, R. (1990). A means to an end: The role of processes in science education. In B. Woolnough (ed.), *Practical Science* (pp. 43-52). Milton Keynes: Open University Press.
- Millar, R. and Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Millar, R., Lubben, F., Gott, R. and Duggan S. (1994). Investigating in the school science laboratory: conceptual and procedural knowledge and their influence on performance. *Research Papers in Education*, 9 (2), 207-248.
- Rowell, J. A. and Dawson, C.J. (1984). Controlling variables: Testing a programme for teaching a general solution strategy. *Research in Science and Technological Education*, 2 (1), 37-46.
- Schauble, L., Klopfer, L.E. and Raghavan, K. (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 859-882.
- Séré, M.-G., Journeaux, R. and Larcher, C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement error. *International Journal of Science Education*, 15 (4), 427-438.
- Shymansky, J.A., Kyle, W.C. and Alport, J.M. (1983). The effects of new science curricula on student performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 387-404.
- Song, J. and Black, P. J. (1991). The effect of task contexts on pupils' performance in science process skills. *International Journal of Science Education*, 13 (1), 49-58.
- Song, J. and Black, P. J. (1992). The effect of concept requirements and task contexts on pupils' performance in control of variables. *International Journal of Science Education*, 14 (1), 83-93.
- Wellington, J.J. (1981). 'What's supposed to happen, sir?' - some problems with discovery learning. *School Science Review*, 63 (222), 167-73.

- Wollman, W. and Lawson, A.E. (1977). Teaching the procedure of controlled experimentation: A Piagetian approach. *Science Education*, 61, 57-70.
- Wollman, W. (1977). Controlling variables: Assessing levels of understanding. *Science Education*, 61, 371-83.

ⁱ Note des traducteurs

le mot anglais traduit par investigation est "inquiry" qui peut aussi être traduit par enquête.

ⁱⁱ "Science education" a été traduit par "didactique des sciences"

ⁱⁱⁱ "laboratory" dans la version anglaise

^{iv} "science educators" a été traduit par "didacticiens des sciences"