



Pourquoi un enseignement peu guidé
ne fonctionne pas :
une analyse de l'échec de
l'enseignement constructiviste,
et autres pédagogies par découverte,
par situations problèmes,
par expériences et enquêtes

Paul A. Kirschner

Educational Technology Expertise Center
Open University of the Netherlands
Research Centre Learning in Interaction
Utrecht University, The Netherlands

John Sweller

School of Education
University of New South Wales

Richard E. Clark

Rossier School of Education
University of Southern California

Traduction : Françoise Appy ¹
(07/2010)

Les preuves de la supériorité de l'enseignement guidé s'expliquent dans le contexte de notre connaissance de l'architecture cognitive humaine, de la différence entre experts et novices, et de la charge cognitive. Bien que les approches non guidées ou faiblement guidées soient très populaires et a priori séduisantes, on peut remarquer qu'elles ignorent à la fois les structures constitutives de l'architecture cognitive humaine et les preuves fournies par les études empiriques faites dans les cinquante dernières années ; ces dernières montrent systématiquement qu'un enseignement faiblement guidé est moins efficace et moins rentable

¹ . © "La 3^e voie..."

qu'une approche insistant sur le guidage de l'apprentissage de l'élève. L'avantage du guidage commence à s'estomper seulement quand les apprenants possèdent suffisamment de connaissances préalables pour fournir un "guidage interne". Les récents apports de la recherche en éducation et en modèles pédagogiques soutenant le guidage dans l'enseignement, sont ici décrits brièvement.

Les débats sur l'impact du guidage pédagogique pendant l'acte d'enseignement se poursuivent depuis au moins une cinquantaine d'années (Ausubel, 1964 ; Craig, 1956 ; Mayer, 2004 ; Shulman & Keisler, 1966). D'un côté, il y a ceux qui défendent l'hypothèse selon laquelle on apprend mieux dans un environnement non ou faiblement directif, généralement défini comme un contexte dans lequel les apprenants, plutôt que de se voir proposer des informations essentielles, doivent découvrir ou construire l'information pour eux-mêmes. (ex. : Bruner, 1961 ; Papert, 1980 ; Steffe & Gale, 1995). De l'autre côté, il y a ceux qui suggèrent que les apprenants novices doivent être confrontés avec un guidage pédagogique direct, sur les concepts et procédures exigés par telle ou telle discipline et ne doivent pas avoir à découvrir ces procédures tout seuls. (ex. : Cronbach & Snow, 1977 ; Klahr & Nigam, 2004 ; Mayer, 2004 ; Shulman & Keisler, 1966 ; Sweller, 2003). Un guidage pédagogique direct est défini comme fournissant des informations explicatives sur les concepts et procédures que les élèves doivent apprendre ; il propose aussi l'apprentissage d'un support stratégique compatible avec l'architecture cognitive humaine. Ainsi, l'apprentissage est défini comme un changement en mémoire longue.

L'approche faiblement directive a été appelée de diverses manières comme par exemple : apprentissage par découverte (Anthony, 1973 ; Bruner, 1961), apprentissage par la résolution de problèmes (PBL ; Barrows & Tamblyn, 1980 ; Schmidt, 1983), apprentissage par enquêtes (Papert, 1980 ; Rutherford, 1964), apprentissage expérimental (Boud, Keogh, & Walker, 1985 ; Kolb & Fry, 1975), apprentissage constructiviste (Jonassen, 1991 ; Steffe & Gale, 1995). On trouve dans l'enseignement des sciences des exemples similaires mais aux noms différents : les élèves sont placés dans un contexte d'apprentissage par enquête et on leur demande de découvrir des principes scientifiques fondamentaux bien connus, par la reproduction de procédures d'investigation de chercheurs professionnels. (Van Joolingen, de Jong, Lazonder, Savelsbergh, & Manlove, 2005). C'est ce que l'on retrouve dans des cours de médecine dans lesquels les étudiants doivent découvrir les solutions médicales pour des patients, en utilisant les techniques de résolution de problèmes (Schmidt, 1998, 2000).

Il semble y avoir deux suppositions de base sous-jacentes à ces programmes peu directifs. D'abord, ils mettent les élèves au défi de résoudre d'"authentiques" problèmes ou d'acquérir des connaissances complexes dans des cadres riches en informations, en partant du principe que si les élèves construisent leurs propres solutions, cela les conduira vers un apprentissage plus efficace. Deuxièmement, ils supposent que les connaissances s'acquièrent mieux par l'expérience relative aux procédures de la discipline (i.e. considérer le contenu pédagogique de l'expérience d'apprentissage comme identique aux méthodes et processus, ou épistémologie, de la discipline étudiée ; Kirschner, 1992.) Un guidage minimal se présente sous la forme d'une information pertinente relative au processus ou à la tâche à accomplir, disponible si les apprenants choisissent de l'utiliser. Les défenseurs de cette approche laissent entendre qu'un guidage fournissant ou implantant des stratégies empêche le processus naturel par lequel les apprenants constituent leur première et importante expérience, qu'il interfère avec leurs styles d'apprentissage, et par conséquent avec la construction d'une connaissance nouvelle leur permettant d'atteindre leurs objectifs. Selon Wickens (1992, cité dans Bernstein, Penner, Clarke-Stewart, Roy, & Wickens, 2003), par exemple,

un fort guidage peut produire de très bonnes performances pendant la pratique, mais trop de guidage peut diminuer les performances futures. Par exemple, guider les élèves vers les bonnes réponses en mathéma-

tiques, peut diminuer leur capacité future à reformuler les bonnes réponses de mémoire. (p 221)

Cet argument constructiviste a entraîné derrière lui de nombreux suiveurs.

Le but de cet article est de montrer que, nous basant sur notre connaissance actuelle de l'architecture cognitive humaine, un enseignement faiblement guidé a de nombreuses chances d'être inefficace. Les cinquante dernières années de recherche empirique sur la question ont fourni des preuves écrasantes et non ambiguës qu'un enseignement faiblement guidé est moins efficace de manière significative qu'un guidage conçu spécifiquement pour soutenir le processus cognitif nécessaire à l'apprentissage.

LES CONSÉQUENCES DE L'ARCHITECTURE COGNITIVE HUMAINE SUR UN ENSEIGNEMENT FAIBLEMENT GUIDÉ

Toute procédure pédagogique ignorant la structure constitutive de l'architecture cognitive a de fortes probabilités d'être inefficace. Un enseignement peu guidé ne se réfère pas aux caractéristiques de la mémoire de travail, ni de la mémoire à long terme, ni aux étroites relations entre les deux. Le résultat est une série de recommandations que la plupart des enseignants trouvent impossibles à mettre en œuvre – et beaucoup d'enseignants expérimentés rechignent à le faire – parce que cela nécessite des élèves un engagement dans des activités cognitives ayant peu de chances d'aboutir à des apprentissages effectifs. En conséquence, les enseignants les plus efficaces peuvent ignorer ce type de recommandations, ou, encore mieux, faire semblant (ex Aulls, 2002). Dans cette section, nous discuterons de quelques unes des caractéristiques de l'architecture cognitive humaine et de leurs conséquences pédagogiques.

L'architecture cognitive humaine

L'architecture cognitive humaine parle de la manière dont nos structures cognitives sont organisées. La plupart des traitements de l'architecture cognitive humaine utilisent comme modèle de base, celui d'Atkinson et Shiffrin (1968) basé sur la mémoire sensorielle – la mémoire de travail – la mémoire à long terme. La mémoire sensorielle n'est pas pertinente dans notre propos, nous n'en parlerons donc pas. Les relations entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme, en conjonction avec le processus cognitif qui sous-tend les apprentissages, sont d'une importance cruciale dans notre argumentation.

Notre compréhension du rôle de la mémoire à long terme dans la cognition humaine a considérablement changé pendant les dernières décennies. Désormais, on ne voit plus cela comme le dépositaire passif de petits fragments d'information isolés nous permettant de répéter ce que nous avons appris. Ce n'est plus l'unique composante de l'architecture cognitive humaine responsable essentiellement d'une influence périphérique sur des processus cognitifs complexes tels que la pensée ou la résolution de problèmes. Non, la mémoire à long terme est maintenant considérée comme la structure centrale et dominante de la cognition humaine. Tout ce que nous voyons, entendons et pensons dépend fondamentalement de notre mémoire à long terme et en subit l'influence.

Les travaux de De Groot (1945/1965) sur l'expertise au jeu d'échecs, suivis par ceux de Chase et Simon (1973) ont eu une influence majeure dans la reconceptualisation du rôle de la mémoire à long terme. La découverte selon laquelle les joueurs d'échecs experts sont de loin, plus aptes que les novices à reproduire rapidement des configurations de jeux déjà vues, mais qu'ils ne diffèrent pas dans la reproduction de configurations prises au hasard, a été répliquée dans une large variété d'autres do-

maines. (par exemple, Egan & Schwartz, 1979 ; Jeffries, Turner, Polson, & Atwood, 1981 ; Sweller & Cooper, 1985). Ces exemples suggèrent que les experts en résolution de problèmes tiennent leur habileté de leurs expériences intensives emmagasinées dans leur mémoire à long terme ; ils sélectionnent ensuite rapidement les meilleures procédures pour résoudre le problème. Le fait que ces différences entre experts et novices puissent être utilisées pour expliquer complètement les habiletés de résolution de problèmes, accroît l'importance de la mémoire à long terme en matière de cognition. Nous sommes habiles dans un domaine parce que notre mémoire à long terme contient d'énormes quantités d'informations relatives à ce domaine. Cette information nous permet de reconnaître rapidement les caractéristiques d'une situation et nous indique, souvent de manière inconsciente, que faire et quand le faire. Sans notre énorme magasin d'informations dans notre mémoire à long terme, nous serions complètement incapables de faire quoi que ce soit, qu'il s'agisse d'actes simples comme traverser une rue (les informations dans la mémoire à long terme nous indiquent comment éviter la circulation, habileté que beaucoup d'animaux sont incapables d'emmagasiner dans leur mémoire à long terme) jusqu'à des tâches complexes comme jouer aux échecs ou résoudre des problèmes mathématiques. Ainsi, notre mémoire à long terme incorpore une base massive de connaissances, centrale pour toutes nos activités cognitives.

Quelles sont les conséquences de la mémoire à long terme ? Dans un premier temps, et dans sa forme la plus basique, l'architecture de la mémoire à long terme nous fournit la justification ultime de l'enseignement. Le but de tout enseignement est d'altérer la mémoire à long terme. Si rien n'a changé dans la mémoire à long terme, rien n'a été appris. Toute recommandation pédagogique qui ne spécifie pas, qui ne peut pas spécifier ce qui doit changer en mémoire à long terme, ou qui n'augmente pas l'efficacité avec laquelle des informations pertinentes sont stockées ou récupérées de la mémoire à long terme, peut être soupçonnée d'inefficacité.

Les caractéristiques et fonctions de la mémoire de travail

La mémoire de travail est la structure cognitive dans laquelle opèrent des processus conscients. Nous sommes conscients de l'information en cours de traitement dans la mémoire de travail, mais nous ne le sommes pas quant à la quantité, autrement importante, de données stockées dans notre mémoire à long terme.

La mémoire de travail possède deux caractéristiques bien connues : le traitement d'une information nouvelle est limité en temps et en capacité. Nous savons, au moins depuis Peterson and Peterson (1959), que presque toute l'information stockée en mémoire de travail et non récupérée, est perdue dans les 30 secondes; nous savons, au moins depuis Miller (1956), que la capacité de la mémoire de travail est limitée à un très petit nombre d'éléments. Ce nombre est d'environ sept selon Miller, pouvant aller jusqu'à quatre, plus ou moins un (voir par exemple, Cowan, 2001). De plus, lors du traitement de l'information, plus que lors du stockage, on peut raisonnablement penser que le nombre d'items pouvant être traités, soit seulement d'un ou deux, selon la nature du traitement requis.

Les interactions entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme peuvent être encore plus importantes que les limitations de traitement (Sweller, 2003, 2004). Les limitations de la mémoire de travail s'appliquent seulement aux informations nouvelles devant être acquises et non encore stockées en mémoire à long terme. Les informations nouvelles, comme de nouvelles combinaisons de nombres ou de lettres, peuvent y être stockées uniquement pour une brève durée et avec de sévères limitations sur la quantité à traiter. Au contraire, quand on a affaire à des informations déjà stockées en mémoire à long terme, ces limitations disparaissent. Dans le sens où une information peut être récupérée de la mémoire à long terme vers la mémoire de travail sur des durées indéfinies, la limitation dans le temps de la mémoire de travail n'est plus pertinente. De

la même manière, il n'y a pas de limite connue à la quantité d'informations pouvant être ramenée en mémoire de travail depuis la mémoire à long terme. Bien sûr, les caractéristiques changeantes de la mémoire de travail selon que les données sont familières ou nouvelles, a conduit Ericsson et Kintsch (1995) à proposer une structure séparée, la mémoire de travail à long terme, pour gérer les informations déjà connues et automatisées.

Toute théorie de l'enseignement ignorant les limites de la mémoire de travail lors du traitement de données nouvelles, ou ignorant la disparition de ces limites dans le cas d'informations familières, a beaucoup de chances de se révéler inefficace. Les recommandations préconisant un guidage minimal lors de l'enseignement, procèdent comme si la mémoire de travail n'existait pas, ou bien comme si, malgré son existence, elle n'avait aucune limitation pertinente lors du traitement d'une information nouvelle, ce qui est la caractéristique même des procédures constructivistes d'enseignement. Nous savons que la résolution de problèmes, centrale dans une procédure soutenant un guidage minimal, appelé enseignement basé sur l'enquête, impose un lourd fardeau à la mémoire de travail (Sweller, 1998). Obligation devrait être faite aux partisans de ce mode pédagogique, d'expliquer comment une telle procédure court-circuite les limites bien connues de la mémoire de travail, lors du traitement de données nouvelles.

Implications de l'architecture cognitive humaine pour l'enseignement constructiviste

Ces structures de mémoire et leurs relations ont des implications directes dans le design pédagogique (ex. : Sweller, 1999 ; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). L'enseignement par enquête exige que l'apprenant cherche un emplacement pour une information utile à la résolution de problème. Toutes les recherches basées sur la résolution de problèmes pèsent lourd sur la mémoire de travail. De plus, cette charge de la mémoire de travail ne contribue pas à l'accumulation de connaissances dans la mémoire à long terme : en effet, tandis que la mémoire de travail est utilisée pour chercher des solutions à des problèmes, elle n'est pas disponible et ne peut donc pas être utilisée pour apprendre. Bien sûr, il est possible de rechercher des extensions temporelles avec des altérations minimales en mémoire à long terme (ex. : voir Sweller, Mawer, & Howe, 1982). Le but de l'enseignement se limite rarement à chercher ou à découvrir des informations. Le but est de donner aux apprenants un guidage spécifique sur la façon de manipuler cognitivement l'information, de sorte que cela soit cohérent avec un objectif d'apprentissage, et de leur permettre de stocker le résultat dans la mémoire à long terme.

Demander à des novices de chercher des solutions en utilisant une mémoire de travail limitée, ou des mécanismes par lesquels un enseignement non ou faiblement guidé peut faciliter le changement en mémoire à long terme, a des conséquences qui sont systématiquement ignorées. Le résultat en est toute une série d'approches pédagogiques faiblement guidées, déconnectées de la plupart de ce que nous savons de la cognition humaine. Recommander un guidage minimal pouvait se comprendre quand Bruner (1961) proposait l'apprentissage par découverte comme outil pédagogique, parce que les structures et relations qui forment l'architecture cognitive humaine n'avaient pas été encore répertoriées. Maintenant, nous sommes dans un environnement complètement différent parce que nous en savons beaucoup plus sur les structures, les fonctions et les caractéristiques de la mémoire de travail et de la mémoire à long terme ; les relations entre elles ; leurs conséquences pour l'apprentissage et la résolution de problèmes. Cette nouvelle compréhension a été la base d'une recherche systématique et le développement de théories pédagogiques qui reflètent notre compréhension courante de l'architecture cognitive (ex. : Anderson, 1996 ; Glaser, 1987). Ce travail devrait être central pour la conception d'un enseignement efficace, guidé.

Bien sûr, les suggestions issues de la théorie soutenant qu'un enseignement faiblement guidé aura une efficacité faible, ne vaudraient pas grand chose sans preuves empiriques. Le travail empirique de comparaison de l'enseignement guidé et peu guidé sera discuté après une révision des arguments couramment évoqués pour justifier un guidage faible.

LES ORIGINES DU CONSTRUCTIVISME ET L'IDÉE COURANTE D'UN ENSEIGNEMENT FAIBLEMENT GUIDÉ

Connaissant l'incompatibilité d'un enseignement peu guidé avec notre connaissance de l'architecture cognitive humaine, nous pouvons nous demander quelle a été la justification de ces approches ? La plus récente version d'une forme pédagogique peu guidée vient du constructivisme (ex. : Steffe & Gale, 1995) qui semble dériver d'observations selon lesquelles les connaissances sont construites par les apprenants et que, par conséquent :

a – Ils ont besoin d'avoir l'opportunité de cette construction en étant soumis à des objectifs et des informations minimaux et

b – l'apprentissage est idiosyncratique ; par conséquent, un enseignement ou des stratégies communes à tous sont inefficaces.

La description constructiviste de l'apprentissage est correcte mais les conséquences pédagogiques suggérées ne le sont pas forcément.

La plupart des apprenants de tous âges savent comment construire leurs connaissances, si on leur donne des informations adéquates ; il n'y a aucune preuve montrant que si on leur fournit des informations partielles, plutôt que des informations complètes, cela augmentera leur capacité à mieux construire une représentation. En fait, c'est le contraire qui semble être vrai. Les apprenants doivent construire une représentation mentale ou un schéma, sans considérer si on leur a donné ou non une information complète. Une information complète aura pour résultat une représentation plus juste et plus facilement acquise. Ainsi, le constructivisme est basé sur une observation qui, malgré une description correcte, ne conduit pas à une théorie normative du design pédagogique ni à des techniques pédagogiques efficaces (Clark & Estes, 1998, 1999 ; Estes & Clark, 1999 ; Kirschner, Martens, & Strijbos, 2004). Pourtant, beaucoup d'enseignants, de chercheurs en enseignement, de concepteurs de méthodes et de matériaux d'apprentissage semblent avoir embrassé l'idée d'un enseignement faiblement guidé et essaient de le mettre en application.

Mais il y a une autre conséquence de ces tentatives de mise en application des théories constructivistes : on n'enseigne plus une discipline comme un corpus de connaissances mais au contraire, on met l'accent sur l'apprentissage d'une discipline en expérimentant les procédés et processus de ladite discipline (Handelsman et al., 204 ; Hodson, 1998). Ce changement de focus fut accompagné par une supposition partagée par de nombreux leaders en éducation et par des spécialistes disciplinaires : ils soutenaient que les connaissances s'apprennent mieux, ou même s'apprennent exclusivement, à travers l'expérience basée essentiellement sur les procédures de la discipline. Ce point de vue a conduit à un engagement des éducateurs dans une pratique extensive des travaux par projets pratiques, et au rejet d'un enseignement basé sur les faits, les lois, les principes et les théories qui forment le contenu d'une discipline, le tout accompagné par l'utilisation de méthodes par découverte et par enquêtes. L'adjonction d'une emphase plus importante sur les applications pratiques des habiletés d'enquête et de résolution de problèmes semble très positive. Néanmoins, c'est peut-être une erreur fondamentale de supposer que le contenu pédagogique d'une expérience d'apprentissage est identique aux méthodes et processus (c'est-à-dire l'épistémologie) de la discipline étudiée et une faute

de supposer que l'enseignement devrait focaliser exclusivement sur les méthodes et les processus.

Shulman (1986 ; Shulman & Hutchings, 1999) nous a permis de comprendre pourquoi les approches peu guidées échouent, dans sa discussion sur l'intégration de l'expertise du contenu et des habiletés pédagogiques. Il définissait la *teneur de la connaissance* comme la « *quantité et l'organisation de la connaissance en soi dans l'esprit du professeur* » (Shulman, 1986, p 9), et la *teneur pédagogique de la connaissance* comme une connaissance « *qui dépasse la connaissance disciplinaire en soi pour aller vers le sujet disciplinaire à enseigner* » (p 9). Ensuite, il définissait la connaissance curriculaire comme « *la pharmacopée de laquelle l'enseignant tire les outils pédagogiques qui présentent ou exemplifient un contenu particulier* » (p 10). Kirschner (1991, 1992) a aussi soutenu que la façon dont un expert travaille dans son domaine (épistémologie), n'est pas équivalente à la façon dont on apprend dans ce domaine (pédagogie). Un raisonnement identique fut suivi par Dehoney (1995), qui postula que les modèles mentaux et les stratégies d'experts ont été développés pendant le lent processus d'accumulation d'expérience dans leurs domaines spécifiques.

En dépit de cette claire distinction entre apprendre une discipline et la pratiquer, beaucoup de concepteurs pédagogiques, techniciens en éducation, ou éducateurs semblent confondre l'enseignement d'une discipline comme recherche (i.e. une emphase curriculaire sur les processus de recherche à l'intérieur d'une science) avec l'enseignement de la discipline par recherche (i.e. utilisant le processus de recherche de la discipline comme une pédagogie ou pour l'apprentissage). La base de cette confusion réside peut-être dans ce que Hurd (1969) appelait le *rationale*² des scientifiques, qui soutient qu'un cours d'enseignement des sciences

devrait être le reflet d'une discipline scientifique, prenant en considération à la fois sa structure conceptuelle et ses modèles de recherche. Les théories et les méthodes des sciences modernes devraient se refléter dans les classes. Dans l'enseignement de la science, les actions en classe devraient être en harmonie avec ses processus d'investigation et soutenir la structure théorique intuitive et conceptuelle de sa connaissance. (p 16).

Ce rationale suppose

que l'accession à certaines attitudes, le développement de l'intérêt pour la science, l'acquisition d'habiletés de laboratoire, l'apprentissage de connaissances scientifiques, et la compréhension de la nature de la science sont des choses à approcher par la méthodologie scientifique, ce qui, en général est perçu en termes inductifs. (Hodson, 1988 , p 22).

L'erreur majeure de ce rationale est qu'il n'y a aucune distinction entre les comportements et les méthodes d'un chercheur qui est un expert professionnel et ces étudiants, nouveaux dans la discipline et essentiellement novices.

Selon Kyle (1980), l'enquête scientifique est une habileté de performance investigative et systématique faite d'aptitudes à penser très développées, obtenues par l'acquisition de connaissances critiques générales sur un sujet, selon des processus d'enseignement reconnus. On ne peut comparer cela ni aux méthodes investigatives de l'enseignement scientifique, ni aux techniques d'auto-enseignement, ni à celle de l'enseignement *Open ended*³. Les enseignants qui confondent les deux sont coupables d'un usage incorrect de l'enquête comme paradigme sur lequel bâtir une stratégie d'enseignement.

Finalement, Novak (1988), remarquant l'effort majeur pour améliorer l'enseignement des sciences dans le secondaire, dans les années 50 et 60, fut à court d'attentes ; il

² . Note de la traductrice : *Rationale*, raisonnement tenu pour justifier quelque chose.

³ . Note de la traductrice : *Open ended approach*, dans les classes Open-ended, les élèves sont encouragés à construire leurs propres expériences et stratégies, plutôt que de suivre un processus figé et imposé.

alla jusqu'à dire que l'obstacle majeur qui s'opposait « à l'amélioration révolutionnaire de l'enseignement scientifique (...) était l'épistémologie obsolète à l'origine de l'emphase mise sur la science tournée vers l'enquête » (pp 79- 80).

LES RECHERCHES RELATIVES À LA COMPARAISON DE L'ENSEIGNEMENT GUIDÉ ET DE L'ENSEIGNEMENT NON GUIDÉ

Aucun des arguments ou théories précédents n'auraient eu d'importance s'il n'y avait eu un corpus clair de recherches utilisant les expériences contrôlées, pour indiquer que l'enseignement non guidé ou peu guidé était plus efficace que l'enseignement guidé. En fait, précisément, comme on peut s'y attendre par notre connaissance de la cognition humaine et les distinctions entre apprendre et pratiquer une discipline, c'est le contraire qui est vrai. Les expériences contrôlées indiquent presque uniformément que lorsque l'on traite une information nouvelle, on doit montrer explicitement aux apprenants ce que l'on doit faire et comment le faire.

Nombre de révisions d'études empiriques ont constitué un argumentaire solide, basé sur la recherche, s'élevant contre l'utilisation d'un enseignement faiblement guidé. Bien qu'un répertoire exhaustif de ces études, soit hors du propos du présent article, Mayer (2004) a récemment inventorié les preuves contenues dans les études menées depuis 1950 jusqu'à la fin des années 80 ; ces études comparent l'apprentissage par découverte pure, qualifié de non guidé, l'enseignement par la résolution de problèmes, avec diverses formes d'enseignement guidé. Selon lui, dans toutes les décennies à partir du milieu des années 50, alors que les études empiriques fournissaient de solides preuves de l'inefficacité de l'approche non guidée, alors très populaire, une approche similaire apparaissait sous un nom différent et le cycle se reproduisait à nouveau. Chaque nouveau lot de défenseurs des pratiques non guidées semblait soit ignorant, soit non intéressé par les preuves précédentes, selon lesquelles les approches non guidées n'étaient pas valides. Ce modèle donna naissance à l'apprentissage par découverte, qui ouvrit la voie à l'apprentissage expérimental, qui lui-même ouvrit la voie à l'apprentissage par résolution de problèmes et par enquête, qui maintenant ouvre la voie aux techniques d'enseignement constructivistes. Mayer (2004) en conclut que le « débat sur la découverte a été rejoué plusieurs fois dans l'éducation mais à chaque fois, les preuves ont favorisé une approche guidée. » (p 18)

La recherche actuelle soutient un guidage direct

Parce que les élèves apprennent si peu par l'approche constructiviste, la plupart des enseignants qui tentent de l'utiliser dans leur classe, terminent en fournissant aux élèves un guidage conséquent. Cela est une interprétation raisonnable, par exemple, d'études qualitatives de cas, conduites par Aulls (2002), qui observa un certain nombre d'enseignants alors qu'ils mettaient en place des activités constructivistes dans leurs classes. Il décrit "l'échafaudage" que les plus efficaces enseignants introduisent quand leurs élèves ne progressent pas dans leurs apprentissages selon un processus de découverte. Il rapporte que l'enseignant dont les élèves avaient atteint tous les objectifs d'apprentissage, avaient passé beaucoup de temps dans des actions d'enseignement avec les élèves en enseignant simultanément des contenus et en échafaudant des procédures cohérentes.

... en (a) modelant des procédures pour identifier et vérifier les informations importantes, (b) montrant aux élèves comment réduire cette information à des paraphrases, (c) faisant en sorte que les élèves utilisent les notes pour construire des collaborations et des routines et (d)

en promouvant un dialogue collaboratif à l'intérieur des problèmes (p 533).

Une preuve encore plus forte issue d'études expérimentales contrôlées soutient aussi l'enseignement direct guidé (ex. : voir Moreno, 2004 ; Tuovinen & Sweller, 1999). Hardiman, Pollatsek, et Weil (1986) et Brown et Campione (1994) ont remarqué que lorsque les élèves apprennent les sciences avec des méthodes de découverte pures, et un feedback minimal, ils sont souvent perdus, frustrés, et leur confusion peut les conduire à une compréhension erronée. D'autres (ex. : Carlson, Lundy & Schneider, 1992 ; Schauble, 1990) ont trouvé que de telles situations d'apprentissage induisent couramment de faux départs, et de ce fait, la découverte non guidée est la plupart du temps inefficace. Moreno (2004) conclut à l'existence d'un corpus grandissant de recherches montrant que les élèves apprennent beaucoup plus avec un enseignement fortement guidé plutôt qu'avec une méthode basée sur la découverte. Des conclusions similaires sont tirées par Chall (2000), McKeough, Lupart et Marini (1995), Schauble (1990) et Singley et Anderson (1989). Klarh et Nigam (2004), dans une étude très importante, n'ont pas seulement testé si les élèves apprenant les sciences apprenaient mieux par découverte ou par un enseignement direct guidé ; ils se sont aussi intéressés à la qualité de l'apprentissage réalisé et ont montré qu'elle diffère. Ils ont en particulier réalisé des tests pour savoir si ceux qui avaient appris par les méthodes de découverte étaient plus aptes à transférer leurs apprentissages dans des contextes nouveaux. Les conclusions furent sans ambiguïté. L'enseignement direct, comprenant un guidage important, y compris des exemples, a pour résultat un apprentissage plus étendu que les méthodes de découverte. La petite minorité d'élèves qui a réussi à apprendre par les méthodes de découverte, n'a révélé aucun signe d'un meilleur apprentissage.

La charge cognitive

Sweller et al. (Mayer , 2001 ; Paas, Renkl, & Sweller, 2003, 2004 ; Sweller, 1999, 2004 ; Winn, 2003) ont remarqué qu'en dépit des faibles avantages d'un environnement peu guidé pour aider les élèves à accéder au sens à partir des matériaux d'apprentissage, la théorie de la charge cognitive suggère que l'exploration libre d'un environnement très complexe peut générer une charge dans la mémoire de travail néfaste à l'apprentissage. Cette suggestion est particulièrement importante dans le cas d'élèves novices, qui n'ont pas les schémas pour intégrer la nouvelle information à leurs connaissances déjà en mémoire. Tuovinen et Sweller (1999) ont montré que la pratique d'exploration (technique de découverte) cause une charge cognitive beaucoup plus importante et conduit à des apprentissages plus pauvres qu'une pratique à base d'exemple résolu. Les élèves les plus experts n'ont pas expérimenté un effet négatif et ont bénéficié de manière égale des deux types de traitement. Mayer (2001) a décrit une série extensive d'expériences dans l'enseignement des multimédia que lui et ses collègues avaient conçue à partir de la théorie de la charge cognitive de Sweller (1988, 1999) et d'autres sources théoriques cognitives. Dans la totalité des nombreuses études qu'il mentionne, l'enseignement guidé produit des rappels de faits plus immédiats que par les approches non guidées, mais permet de plus, des transferts à plus long terme et des habiletés de résolution de problèmes.

Les exemples résolus

Un exemple résolu est l'épitomé d'un enseignement fortement guidé, alors que la découverte de la solution d'un problème dans un environnement riche en informations est l'épitomé d'un apprentissage par découverte guidé minimalement. L'effet du problème résolu, qui est basé sur la théorie de la charge cognitive, intervient, quand les apprenants qui doivent résoudre des problèmes réussissent moins bien sur des tests de problèmes à venir que les apprenants qui ont étudié des problèmes équivalents déjà résolus. En conséquence, l'effet du problème résolu, qui a été répliqué nombre de fois, fournit l'une des preuves les plus fortes de la supériorité de l'enseignement direct guidé

sur un guidage minimal. Le fait que l'effet s'appuie sur des expériences contrôlées, lui donne encore plus d'importance.

L'effet du problème résolu fut démontré pour la première fois par Sweller et Cooper (1985) et Cooper et Sweller (1987), qui trouvèrent que les étudiants en algèbre apprenaient plus en étudiant des problèmes d'algèbre résolus qu'en résolvant des problèmes équivalents. Depuis ces premières démonstrations de l'effet, on l'a répliqué à de multiples occasions, utilisant une large variété d'apprenants, étudiant une toute aussi large variété de matériaux. (Carroll, 1994 ; Miller, Lehman, & Koedinger, 1999 ; Paas, 1992 ; Paas & van Merriënboer, 1994 ; Pillay, 1994 ; Quilici & Mayer, 1996 ; Trafton & Reiser, 1993). Pour les novices, étudier des exemples résolus, semble invariablement supérieur à la découverte ou à la construction de la solution d'un problème.

Pourquoi l'effet du problème résolu intervient-il ? Cela s'explique par la théorie de la charge cognitive, qui est partie de l'architecture cognitive humaine évoquée précédemment. Résoudre un problème nécessite une recherche de solution et cette recherche doit intervenir en utilisant notre mémoire de travail, qui est limitée. La recherche de solution est une façon inefficace d'altérer la mémoire à long terme parce que sa fonction est de trouver une solution, non de modifier la mémoire à long terme. Bien sûr, la recherche de solution peut fonctionner parfaitement en l'absence de tout apprentissage (Sweller, 1998). Ainsi, la recherche de solution surcharge la mémoire de travail limitée et nécessite des ressources en mémoire de travail qui seront utilisées pour des activités sans rapport avec l'apprentissage. En conséquence, les apprenants peuvent s'engager dans des activités de résolution pour des périodes élargies et ne rien apprendre du tout. (Sweller et al. 1982).

Par contraste, étudier un exemple résolu réduit la charge en mémoire de travail parce que la recherche est réduite ou éliminée et dirige l'attention (i.e. dirige les ressources en mémoire de travail) vers l'apprentissage des relations essentielles entre les mouvements de résolution de problèmes. Les élèves apprennent à reconnaître quels mouvements sont nécessaires pour certains problèmes, ce qui est la base pour l'acquisition de schémas de résolutions (Chi, Glaser, & Rees, 1982). Quand on les compare aux élèves qui ont résolu des problèmes plutôt qu'étudié des exemples résolus, la conséquence est l'effet du problème résolu.

Voilà les conditions dans lesquelles l'effet du problème résolu n'est pas possible. D'abord, on ne peut l'obtenir quand les exemples résolus sont eux-mêmes structurés de manière qui impose une lourde charge cognitive. En d'autres mots, il est tout-à-fait possible de structurer des exemples résolus de manière qui impose une charge cognitive aussi lourde que celle provoquée par un apprentissage par découverte pour trouver la solution d'un problème. (Tarmizi & Sweller, 1988 ; Ward & Sweller, 1990). Deuxièmement, l'effet du problème résolu disparaît d'abord puis s'inverse alors que l'expertise de l'apprenant augmente. La résolution de problèmes ne devient vraiment effective que lorsque les apprenants sont suffisamment expérimentés pour que l'étude d'un exemple résolu soit pour eux une activité redondante augmentant la charge de la mémoire de travail, comparé à la génération d'une solution connue (Kalyuga, Chandler, Tuovinen, & Sweller, 2001). Ce phénomène est un exemple de l'effet de renversement dû à l'expertise (Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003). Cela souligne l'importance de fournir aux novices un guidage extensif parce qu'ils n'ont pas les connaissances suffisantes dans leur mémoire à long terme pour prévenir une recherche de solution improductive. Ce guidage peut s'atténuer seulement au moment où l'expertise s'accroît, c'est-à-dire quand les connaissances en mémoire à long terme peuvent prendre le dessus sur un guidage externe.

Des grilles de procédure

Une autre façon de guider l'enseignement est l'utilisation de grilles de procédures (Van Merriënboer, 1997). De telles feuilles proposent une description des phases de ce qui doit être fait lors de la résolution d'un problème, des indices et des méthodes empiriques qui peuvent aider à accomplir chaque phase avec succès. Les élèves peuvent consulter la feuille de procédure tandis qu'ils travaillent sur les tâches d'apprentissage et ils

peuvent l'utiliser pour noter les résultats intermédiaires du processus de résolution du problème.

Par exemple, Nadolski, Kirschner et van Merriënboer (2005) ont étudié les effets des grilles de procédure avec des étudiants en droit et trouvé que la validité d'une feuille de processus était positive sur la performance d'apprentissage d'une tâche, indiquée par une plus haute cohérence et un contenu plus précis, relatif à l'étude juridique développée. Les élèves recevant ce genre de grilles ont dépassé les élèves qui devaient découvrir les processus appropriés eux-mêmes.

RECHERCHE SUR LES MODÈLES PÉDAGOGIQUES FAVORISANT UN GUIDAGE MINIMAL LORS DE L'ENSEIGNEMENT, SOUS DIVERSES FORMES

Ayant discuté à la fois de l'architecture cognitive humaine responsable de l'apprentissage et de la recherche actuelle soutenant l'enseignement direct par le guidage, cette section discute maintenant quelques modèles pédagogiques alternatifs utilisant un guidage minimal comme approche à l'apprentissage et à l'enseignement.

L'apprentissage expérientiel au travail

Kolb (1971) et Kolb et Fry (1975) ont argumenté que le processus d'apprentissage commence souvent avec une personne exécutant une action et puis constatant ou découvrant l'effet de cette action dans le contexte. La deuxième étape est de comprendre ces effets dans l'exemple particulier d'une action faite dans les mêmes circonstances : il serait alors possible d'anticiper la suite. Utilisant ce modèle, la troisième étape serait de comprendre le principe général auquel appartient cet exemple particulier. Ils ont aussi suggéré nombre de styles d'apprentissage, dont ils ont supposé qu'ils influenceraient la façon dont les élèves tireraient avantage des situations expérimentales.

Les tentatives pour valider l'apprentissage expérientiel et les styles d'apprentissage, (Kolb, 1971, 1984, 1999) semblent n'avoir pas été totalement réussies. Iliff (1994), par exemple, reporte dans une « *méta analyse de 101 études quantitative LSI tirées de 275 mémoires et 624 articles qui étaient à la fois qualitatifs, théoriques et quantitatifs d'ELT et de Learning Style Inventory de Kolb* » (Kolb, Boyatzis, & Mainemelis, 2001, p20) des corrélations classées comme basses ($< .5$) et des effets de taille de faibles (.2) à moyens (.5). Il conclut que la magnitude de ces statistiques est insuffisante pour atteindre les standards de validité prédictive soutenant l'utilisation des mesures des méthodes expérientielles pour l'entraînement au travail. De la même façon, Ruble et Stout (1993) citant un grand nombre d'études réalisées entre 1980 et 1991 concluent que : le Learning Style Inventory de Kolb (KLSI-1976 ; Kolb, 1976) a une fiabilité test-retest basse, qu'il y a peu ou pas de corrélation entre les facteurs devant être liés à la classification des styles d'apprentissage, et qu'ils n'aiment pas la reconnaissance générale de son utilité, particulièrement dans des buts de recherche.

Roblyer (1996) et Perkins (1991) ont examiné les preuves pour une pédagogie faiblement guidée dans l'architecture pédagogique et dans les études technologiques pédagogiques. Les deux chercheurs ont conclu que la preuve disponible ne soutient pas l'utilisation d'un faible guidage et tous deux ont suggéré qu'une forme de guidage plus fort est nécessaire à la fois pour un apprentissage et un transfert efficaces.

Différences individuelles dans l'apprentissage issu de l'enseignement

Les approches constructivistes de l'enseignement sont basées, d'une part, sur l'idée que les différences individuelles modèrent l'impact de l'enseignement. Cela a été partagé par un grand corpus d'études sur le thème interaction – aptitude – traitement (ATI ⁴) qui examine si les effets des différentes méthodes d'enseignement sont influencées par les aptitudes et caractéristiques des élèves (ex, Cronbach & Snow, 1977 ; Kyllonen & Lajoie, 2003 ; Snow, Corno, & Jackson, 1996). La plupart de ce travail fournit un antécédent clair à l'effet de renversement dû à l'expertise, abordé précédemment, selon lequel les méthodes pédagogiques qui sont efficaces pour des novices deviennent moins efficaces quand l'expertise augmente.

La recherche de Cronbach and Snow's (1977) dans la revue de l'ATI décrivait un certain nombre d'interactions ordinales et non ordinales entre différentes méthodes et aptitudes d'enseignement. Une des plus courantes découvertes de l'ATI selon Kyllonen et Lajoie (2003) fut que « *les traitements forts profitaient aux apprenants les plus faibles et les traitements plus faibles profitaient aux apprenants les meilleurs* » (p 82) Cette conclusion anticipait l'effet maintenant reconnu d'étagage.

Dans les méthodes d'enseignement décrites par Cronbach et Snow (1977) des traitements forts impliquaient des présentations hautement structurées dans lesquelles l'organisation explicite des informations et des supports d'apprentissage étaient fournies. Les traitements plus faibles étaient peu structurés et ainsi fournissaient moins de support d'apprentissage. Les mesures des aptitudes utilisées dans la révision de Cronbach et Snow étaient variées mais comprenaient des mesures de sujets disciplinaires particuliers et des mesures des capacités de fluidité et de cristallisation. Snow et Lohman (1984) ont encouragé la recherche pour comprendre le processus cognitif requis pour certains buts d'apprentissage spécifiques. Ils ont soutenu l'idée de décrire les processus cognitifs requis pour l'apprentissage de certaines tâches spécifiques ; celle de savoir comment ces processus apparaissent dans les attitudes des apprenants, comment les caractéristiques des traitements pédagogiques peuvent assister les élèves plus faibles en fournissant les processus cognitifs nécessaires pour les aider dans leurs apprentissages ainsi que dans la réalisation des transferts.

En savoir moins après l'enseignement

Un jeu de découvertes reliées au paradigme de la recherche ATI fut décrit par Clark (1989). Il examina environ 70 études ATI et décrivit un nombre d'expériences dans lesquelles les élèves faibles qui choisissaient, ou à qui l'on imposait des traitements peu guidés, avaient des scores plus bas aux post-tests qu'aux pré-tests. Il argumenta que l'échec à fournir un support d'apprentissage fort pour les élèves les moins expérimentés ou les moins capables, pourrait en fait produire une perte mesurable dans les apprentissages. Les niveaux d'enseignement représentés dans les études allaient des classes élémentaires jusqu'à l'université et à des contextes de travail ; ils comprenaient une variété de problèmes et de tâches. Encore plus bouleversante est la preuve que Clark (1982) présenta : quand on demande aux apprenants de sélectionner entre une même leçon en traitement plus ou moins guidé, les élèves les plus faibles qui choisissent les approches les plus faiblement guidées tendent à aimer l'expérience, même s'ils apprennent moins. Les élèves meilleurs qui choisissent les approches plus guidées tendent à les aimer mais réussissent moins bien qu'avec des versions moins structurées ; néanmoins, ils ne souffrent pas d'en savoir moins après l'enseignement. Clark a émis l'hypothèse que les composants les plus efficaces du traitement aident les apprenants les moins expérimentés en fournissant des stratégies d'apprentissage de tâches spécifiques insérées dans les pré-

⁴ . Note de la traductrice : ATI *Aptitude-Treatment Interaction*, Interaction aptitude traitement.

sentations pédagogiques. Ces stratégies nécessitent un effort explicite sur l'attention de la part des apprenants et de ce fait, ont tendance à ne pas être appréciées, même si elles sont utiles à l'apprentissage. Les apprenants les plus avancés, suggère-t-il, ont acquis des stratégies implicites d'apprentissage de tâches spécifiques plus efficaces pour eux que celles insérées dans la version structurée de la leçon. Clark a fourni la preuve suggestive que les élèves capables choisissant la version guidée de la leçon le font parce qu'ils croient qu'ainsi, ils réussiront avec un minimum d'efforts. Les études décrites par Woltz (2003) sont un exemple récent et positif d'une recherche ATI examinant le processus cognitif nécessaire pour les tâches d'apprentissage. Il fournit la preuve que le même apprenant peut bénéficier de traitements forts ou faibles selon le type d'apprentissage et de transfert désirés.

Preuves empiriques à propos de l'apprentissage des sciences par un enseignement non guidé

Les travaux de Klahr et Nigam (2004), évoqués précédemment, ont montré sans ambiguïté les avantages d'un enseignement direct en sciences. Il y a abondance de preuves. Une série de révisions par le the U.S. National Academy of Sciences a récemment décrit les résultats d'expériences fournissant la preuve des conséquences négatives d'un enseignement non guidé des sciences, à tous âges, tous niveaux et sur une grande variété de contenus scientifiques et mathématiques. McCray, DeHaan, and Schuck (2003) ont révisé les études et expériences pratiques dans l'enseignement des étudiants de collège en ingénierie, technologie, sciences et mathématiques. Gollub, Berthenthal, Labov, et Curtis (2003) ont révisé les études et expériences sur l'enseignement des sciences et mathématiques dans les lycées. Kilpatrick, Swafford, et Findell (2001) ont rapporté des études et émis des suggestions pour l'enseignement des mathématiques dans les écoles élémentaires et au collège. Chacune de ces publications ainsi que d'autres faites par la U.S. National Academy of Sciences ont amplement documenté le manque de preuve pour des approches non guidées, comme ils ont montré les bénéfices d'un enseignement fortement guidé. La plupart fournissent un ensemble de principes pédagogiques pour les enseignants basés sur de solides recherches. Ces rapports furent préparés, en partie, à cause du piètre état de l'enseignement des sciences et des mathématiques aux États-Unis. A la fin, en accord avec les découvertes de l'ATI et avec l'effet de renversement dû à l'expertise, Roblyer, Edwards et Havriluk (1997) ont rapporté que les enseignants avaient constaté que l'enseignement par découverte portait ses fruits uniquement quand les élèves avaient des connaissances préalables et avaient suivi des expériences structurées auparavant.

La recherche sur l'apprentissage médical basé sur les problèmes ⁵

Globalement, un manqué de clarté sur la différence entre apprendre une discipline et mener une recherche dans cette discipline, associée à la priorité accordée à l'observation impartiale dans la meilleure tradition inductive et empiriste a conduit de nombreux enseignants à défendre les méthodes basées sur la résolution de problèmes comme le moyen d'enseigner une discipline (Allen, Barker, & Ramsden, 1986 ; Anthony, 1973 ; Barrows & Tamblyn, 1980 ; Obioma, 1986). Le PBL s'entremêle à des idées, comme par exemple, celles de la philosophie des sciences ; mais de plus, il s'imbrique aussi avec les vues progressivistes centrées sur l'apprenant, mettant en exergue l'expérience directe et la recherche individuelle. Cawthron and Rowell (1978) ont déclaré que cela semblait être cohérent. La logique et la psychologie de la connaissance se mélangent sous le terme générique de découverte. Pourquoi, demande-t-il, les enseignants devraient-ils regarder plus loin que les explications traditionnelles inductives et empiristes du processus ?

⁵ . Note de la traductrice : *PBL Problem-Based Learning*, apprentissage basé sur les problèmes.

Dans une tentative de venir au secours d'étudiants en médecine ayant à affronter des cours et des examens impliquant la mémoire, environ 60 universités de médecine en Amérique du Nord ont adopté le PBL dans les deux dernières décennies. Cette variante de l'enseignement constructiviste avec un guidage minimal, introduite à l'université Mc Master de médecine en 1969, demande aux étudiants en médecine de travailler en groupes pour diagnostiquer et suggérer les traitements relatifs aux symptômes courants. Les groupes d'étudiants PBL sont supervisés par un membre de la faculté clinique, formé non à résoudre les problèmes pour les étudiants, mais à offrir des alternatives et à suggérer des sources d'information.

La plus connue des enquêtes comparatives du PBL avec l'enseignement médical traditionnel, fut conduite par Albanese et Mitchell (1993). Leur méta-analyse de la littérature de langue anglaise sur l'efficacité du PBL a produit un nombre de découvertes négatives relatives à son impact : scores aux examens sur des sciences de base, aucune différence dans les sélections à l'internat, et plus d'heures d'étude chaque jour. Ils ont rapporté que, bien que les étudiants PBL aient eu de meilleurs scores pour leur performance clinique, ils ont aussi prescrit beaucoup plus d'examen inutiles et de manière significative, occasionnant ainsi un coût par patient beaucoup plus élevé, avec moins de bénéfice. Il y avait aussi dans leur étude une indication attribuant l'augmentation des scores de pratique clinique au fait que les étudiants PBL devaient passer plus de temps en contexte clinique.

Berkson (1993) a aussi révisé une grande partie de la littérature sur le PBL et est parvenu à des conclusions identiques à celles d'Albanese et Mitchell (1993). Elle a révisé les études où les aptitudes à la résolution de problème des étudiants PBL étaient comparées avec les habiletés identiques d'étudiants ayant eu des méthodes conventionnelles et elle n'a pas trouvé de différences, échouant ainsi à répliquer l'avantage clinique trouvé par Albanese et Mitchell. Colliver (2000) a révisé des études existantes comparant l'efficacité du PBL en médecine au curriculum médical conventionnel. Il a conclu que les études sur le PBL ne montrent pas d'effet statistique sur les performances des étudiants en médecine sur les tests standardisés ou sur les tests des enseignants pendant les deux premières années du cursus de médecine. D'égale importance pour les enseignants en médecine, fut la découverte récurrente dans les sommaires de recherches, stipulant que le PBL n'est pas plus efficace, mais plus coûteux que l'instruction conventionnelle. Bien sûr, certains défenseurs du PBL sont conscients de ses limites. Hmelo-Silver (2004) a posé d'importantes questions relatives à la validité générale du PBL. Selon elle, certains aspects du modèle PBL devraient être adaptés au niveau développemental des apprenants (...) il y a peut-être une place pour l'enseignement direct à un moment propice. En d'autres termes, comme les étudiants se débattent avec un problème et sont confrontés avec le besoin de certaines connaissances particulières, une conférence au bon moment peut être bénéfique... Certaines techniques comme la facilitation procédurale, la coopération scriptée, et les journaux structurés peuvent prouver leur utilité pour transformer le PBL en d'autres formes (pp 260-261).

Deux composants majeurs du PBL sont l'enseignement explicite des stratégies de résolutions de problèmes sous la forme de la méthode hypothético-déductive de raisonnement (Barrows & Tamblyn, 1980), et l'enseignement du contenu de base dans le contexte d'un cas particulier ou d'un exemple. Les partisans argumentent que l'enseignement basé sur la résolution de problèmes est supérieur à l'enseignement conventionnel. Les élèves à qui l'on a appris les habiletés de résolution de problèmes, en particulier avec l'utilisation de la méthode hypothético-déductive, et à qui l'on a donné des problèmes pour mettre en pratique ces méthodes, apprennent d'une manière plus axée sur le sens. Il est admis que des étudiants exposés à des problèmes depuis le début, auront plus d'opportunités de mettre en pratique ces habiletés ; également, par une application ex-

placite de la méthode hypothético-déductive, ils apprennent à analyser les problèmes et à chercher des explications, améliorant leur compréhension des problèmes cliniques (Norman & Schmidt, 1992). Patel et ses collègues ont argumenté que la méthode hypothético-déductive n'était peut-être pas le moyen le plus efficace pour résoudre des problèmes cliniques (Patel & Groen, 1986 ; Patel, Arocha, & Kaufman, 1994).

Dans le domaine médical, Patel, Groen et Norman (1993) ont montré que l'enseignement des sciences de base dans un contexte clinique pouvait avoir le désavantage suivant : lorsque la connaissance scientifique de base est contextualisée, il est alors difficile de la séparer du problème clinique particulier dans lequel elle avait été intégrée au départ. Ils ont montré que les étudiants ayant suivi un curriculum PBL échouaient à séparer les connaissances scientifiques de base des connaissances cliniques spécifiques associées à certains patients particuliers. Bien que les étudiants PBL aient élaboré des explications plus élaborées, celles-ci étaient moins cohérentes et il y avait plus d'erreurs. Si les étudiants ont des difficultés pour séparer les connaissances biomédicales qu'ils ont apprises dans des cas cliniques particuliers associés, il n'est pas surprenant que lorsqu'on leur donne un problème différent, ils attribuent à ce nouveau problème des connaissances biomédicales inappropriées.

Cela semble persister même après l'entraînement. Dans une étude sur l'effet des étudiants en PBL – au regard d'un curriculum conventionnel – sur la performance des internes sur l'organisation des connaissances biomédicales et cliniques et sur l'usage des stratégies de raisonnement, Arocha et Patel (1995) ont trouvé que les étudiants PBL retenaient le modèle de raisonnement de type rétrospectif, mais ne semblaient pas acquérir un raisonnement de type prospectif, qui est la marque de l'expertise. Cette découverte signifie que quelque chose dans le PBL freine le développement du raisonnement prospectif.

Les experts utilisent un modèle de reconnaissance basé sur un schéma pour déterminer la cause de la maladie d'un patient. Selon Elstein (1994), l'organisation et les schémas d'acquisition des connaissances sont plus importants pour le développement de l'expertise que l'utilisation de méthodes particulières de résolution de problèmes. À cet égard, la recherche cognitive a montré que pour réussir l'expertise dans un domaine, les apprenants doivent acquérir les schémas nécessaires qui leur permettent d'interpréter correctement et efficacement l'information et d'identifier la structure du problème. Les schémas accomplissent cela en guidant la sélection d'information pertinente et l'élimination de l'information non pertinente.

Arocha et Patel (1995) ont conclu que les résultats négatifs peuvent être mis sur le compte de l'effet de dispersion de l'attention et sur la lourde charge de la mémoire de travail pour l'acquisition des schémas pendant la résolution de problèmes. Dans la résolution des problèmes cliniques, les sujets doivent s'occuper de l'hypothèse du diagnostic courant, des données du problème qui leur est présenté, et toute hypothèse intermédiaire entre le diagnostic et les données du patient (ex. : un processus patho-physiologique à la base des signes et symptômes). Si nous considérons que plus d'une hypothèse a été émise, les ressources cognitives sont laissées de côté pour acquérir le schéma du problème. Bien que les problèmes puissent être résolus avec succès en utilisant la méthode hypothético-déductive, le manque de ressources d'attention et de mémoire peut avoir pour résultat chez les étudiants des difficultés pour apprendre les schémas du problème de manière adéquate. Cette étude rend possible l'hypothèse selon laquelle l'une des raisons de l'échec des sujets soumis au PBL pour acquérir un style de raisonnement prospectif, serait l'utilisation des stratégies de résolution de problèmes, telles que la méthode hypothético-déductive, comme stratégie d'apprentissage.

C'est tout-à-fait en accord avec notre demande de ne plus assimiler l'épistémologie d'une discipline avec la pédagogie mise en œuvre pour l'enseigner ou pour l'apprendre. La pratique d'un métier n'est pas la même chose que l'apprentissage de ce métier.

CONCLUSIONS

Après un demi-siècle de défense de l'enseignement à guidage minimal, il apparaît qu'il n'existe aucun corpus de recherche pour soutenir cette technique. Cette absence de preuves issues d'études vérifiées soutient presque uniformément un guidage fort et direct, bien plus qu'un guidage minimal basé sur le constructivisme, autant pour l'enseignement des novices que pour celui des apprenants intermédiaires. Même pour les élèves possédant d'importantes connaissances préalables, un guidage fort lors de l'apprentissage est la plupart du temps aussi efficace qu'une approche non guidée. Non seulement un enseignement non guidé est moins effectif en temps normal mais il y a aussi des preuves montrant que si les élèves acquièrent des conceptions erronées ou des connaissances incomplètes et désorganisées, cela provoque un impact négatif.

Bien que les raisons de la popularité d'une approche erronée soient peu claires, les origines du soutien à l'enseignement faiblement guidé en science et en médecine peuvent se trouver dans les réformes consécutives aux programmes de sciences post Spoutnik, comme les Biological Sciences Curriculum Study, Chemical Education Material Study, et Physical Science Study Committee. A l'époque, les enseignants ne voulaient pas enseigner une discipline comme un corpus de connaissances ; ils parlaient de la supposition que les connaissances s'acquièrent mieux par l'expérience qui est basée uniquement sur les procédures de la discipline. Ce point de vue a conduit à des projets de travail faiblement guidés et au rejet d'un enseignement basé sur les faits, les lois, les principes, et les théories qui font le contenu d'une discipline. L'emphase mise sur l'application pratique de ce qui est appris semble très positive. Cependant, ce serait une erreur de supposer que le contenu pédagogique des expériences d'apprentissage est identique aux méthodes et aux processus (c'est-à-dire à l'épistémologie) de la discipline étudiée et une faute de supposer que l'enseignement devrait exclusivement se fixer sur les applications. Il est regrettable que les vues courantes constructivistes soient devenues des vues idéologiques et souvent épistémologiques, en opposition à la présentation et à l'explication des connaissances. Le résultat : il est facile de partager la stupéfaction d'Handelman (2004), qui, en discutant de l'enseignement des sciences demandait : « *Pourquoi des scientifiques de renom, qui s'appuient sur des preuves rigoureuses pour toute assertion scientifique dans leurs recherches, continuent d'utiliser et donc de justifier le biais de l'intuition seule et les méthodes d'enseignement qui ne sont pas les plus efficaces ?* » (p 521). Il est aussi facile d'être d'accord avec la recommandation de Mayer (2004) selon laquelle nous devrions « *déplacer les réformes éducatives du monde confus et improductif de l'idéologie – qui quelquefois se cache sous les diverses bannières du constructivisme – vers le monde productif et pointu de la théorie basée sur la recherche à propos de la manière dont les gens apprennent* » (p18).

RÉFÉRENCES

- Albanese, M., & Mitchell, S.** (1993). Problem-based learning: A review of the literature on its outcomes and implementation issues. *Academic Medicine*, 68, 52–81.
- Allen, J. B., Barker, L. N., & Ramsden, J. H.** (1986). Guided inquiry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 63, 533–534.
- Anderson, J. R.** (1996). ACT: A simple theory of complex cognition. *American Psychologist*, 51, 355–365.
- Anthony, W. S.** (1973). Learning to discover rules by discovery. *Journal of Educational Psychology*, 64, 325–328.
- Arocha, J. F., & Patel, V. L.** (1995). Novice diagnostic reasoning in medicine: Accounting for clinical evidence. *Journal of the Learning Sciences*, 4, 355–384.
- Atkinson, R., & Shiffrin, R.** (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. Spence & J. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 2, pp 89–195). New York: Academic.
- Aulls, M. W.** (2002). The contributions of co-occurring forms of classroom discourse and academic activities to curriculum events and instruction. *Journal of Educational Psychology*, 94, 520–538.
- Ausubel, D. P.** (1964). Some psychological and educational limitations of learning by discovery. *The Arithmetic Teacher*, 11, 290–302.
- Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M.** (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. New York: Springer.
- Berkson, L.** (1993). Problem-based learning: Have the expectations been met? *Academic Medicine*, 68(Suppl.), S79–S88.
- Bernstein, D. A., Penner, L. A., Clarke-Stewart, A., Roy, E. J., & Wickens, C. D.** (2003). *Psychology* (6th ed.). Boston: Houghton-Mifflin.
- Boud, D., Keogh, R., & Walker, D. (Eds.)**. (1985). *Reflection: Turning experience into learning*. London: Kogan Page.
- Brown, A., & Campione, J.** (1994). Guided discovery in a community of learners. In K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (pp 229–270). Cambridge, MA: MIT Press.
- Bruner, J. S.** (1961). The art of discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 21–32.
- Carlson, R. A., Lundy, D.H., & Schneider, W.** (1992). Strategy guidance and memory aiding in learning a problem-solving skill. *Human Factors*, 34, 129–145.
- Carroll, W.** (1994). Using worked examples as an instructional support in the algebra classroom. *Journal of Educational Psychology*, 86, 360–367.
- Cawthron, E. R., & Rowell, J. A.** (1978). Epistemology and science education. *Studies in Science Education*, 5, 51–59.
- Chall, J. S.** (2000). *The academic achievement challenge*. New York: Guilford.
- Chase, W. G., & Simon, H. A.** (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55–81.
- Chi, M., Glaser, R., & Rees, E.** (1982). Expertise in problem solving. In R. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp 7–75). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Clark, R. E.** (1982). Antagonism between achievement and enjoyment in ATI studies. *Educational Psychologist*, 17, 92–101.
- Clark, R. E.** (1989). When teaching kills learning: Research on mathemathantics. In H. N. Mandl, N. Bennett, E. de Corte, & H. F. Freidrich (Eds.), *Learning and instruction: European research in an international context* (Vol. 2, pp 1–22). London: Pergamon.
- Clark, R. E., & Estes, F.** (1998). Technology or craft: What are we doing? *Educational Technology*, 38(5), 5–11.
- Clark, R. E., & Estes, F.** (1999). The development of authentic educational technologies. *Educational Technology*, 37(2), 5–16.
- Colliver, J. A.** (2000). Effectiveness of problem-based learning curricula: Research and theory. *Academic Medicine*, 75, 259–266.
- Cooper, G., & Sweller, J.** (1987). The effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of Educational Psychology*, 79, 347–362.
- Cowan, N.** (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 87–114.
- Craig, R.** (1956). Directed versus independent discovery of established relations. *Journal of Educational Psychology*, 47, 223–235.
- Cronbach, L. J., & Snow, R. E.** (1977). *Aptitudes and instructional methods: A handbook for research on interactions*. New York: Irvington.
- De Groot, A. D.** (1965). *Thought and choice in chess*. The Hague, Netherlands: Mouton. (Original work published 1946)
- Dehoney, J.** (1995). Cognitive task analysis: Implications for the theory and practice of instructional design. *Proceedings of the Annual National Convention of the Association for Educational Communications and Technology (AECT)*, 113–123. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 383 294)
- Egan, D. E., & Schwartz, B. J.** (1979). Chunking in recall of symbolic drawings. *Memory and Cognition*, 7, 149–158.
- Elstein, A. S.** (1994). What goes around comes around: Return of the hypothetico-deductive strategy. *Teaching & Learning in Medicine*, 6, 121–123.
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W.** (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, 102, 211–245.
- Estes, F., & Clark, R. E.** (1999). Authentic educational technologies: The lynchpin between theory and practice. *Educational Technology*, 37(6), 5–13.

- Glaser, R.** (1987). Further notes toward a psychology of instruction. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology* (Vol. 3, pp 1–39). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Gollub, J. P., Berthenthal, M., Labov, J., & Curtis, C.** (Eds.). (2003). *Learning and understanding: Improving advanced study of mathematics and science in U.S. high schools*. Washington, DC: National Academies Press.
- Handelsman, J., Egert-May, D., Beichner, R., Bruns, P., Change, A., DeHaan, R., et al.** (2004). Scientific teaching. *Science*, 304, 521–522.
- Hardiman, P., Pollatsek, A., & Weil, A.** (1986). Learning to understand the balance beam. *Cognition and Instruction*, 3, 1–30.
- Hmelo-Silver, C. E.** (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16, 235–266.
- Hodson, D.** (1988). Experiments in science and science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20, 53–66.
- Hurd, P. D.** (1969). *New directions in teaching secondary school science*. Chicago, IL: Rand McNally.
- Iliff, C. H.** (1994). *Kolb's learning style inventory: A meta-analysis*. Unpublished doctoral dissertation, Boston University, Boston.
- Jeffries, R., Turner, A., Polson, P., & Atwood, M.** (1981). Processes involved in designing software. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp 255–283). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Jonassen, D.** (1991). Objectivism vs. constructivism. *Educational Technology Research and Development*, 39(3), 5–14.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J.** (2003). Expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23–31.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J.** (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 93, 579–588.
- Kilpatrick, J., Swafford, J., & Findell, B. (Eds.)**. (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. Washington, DC: National Academies Press.
- Kirschner, P. A.** (1991). *Practicals in higher science education*. Utrecht, Netherlands: Lemma.
- Kirschner, P. A.** (1992). Epistemology, practical work and academic skills in science education. *Science and Education*, 1, 273–299.
- Kirschner, P. A., Martens, R. L., & Strijbos, J.-W.** (2004). CSCL in higher education? A framework for designing multiple collaborative environments. In P. Dillenbourg (Series Ed.) & J.-W. Strijbos, P. A. Kirschner, & R. L. Martens (Vol. Eds.), *Computer-supported collaborative learning: Vol. 3. What we know about CSCL ... and implementing it in higher education* (pp 3–30). Boston, MA: Kluwer Academic.
- Klahr, D., & Nigam, M.** (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15, 661–667.
- Kolb, D. A.** (1971). *Individual learning styles and the learning process* (Working Paper No. 535–71). Cambridge, MA: Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.
- Kolb, D. A.** (1976). *The learning style inventory: Technical manual*. Boston, MA: McBer.
- Kolb, D. A.** (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kolb, D. A.** (1999). *Learning Style Inventory, version 3*. Boston: TRG Hay/McBer, Training Resources Group.
- Kolb, D. A., Boyatzis, R. E., & Mainemelis, C.** (2001). Experiential learning theory: Previous research and new directions. In R. J. Sternberg & L. Zhang (Eds.), *Perspectives on thinking, learning, and cognitive styles. The educational psychology series* (pp 227–247). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Kolb, D. A., & Fry, R.** (1975). Toward an applied theory of experiential learning. In C. Cooper (Ed.), *Studies of group process* (pp 33–57). New York: Wiley.
- Kyle, W. C., Jr.** (1980). The distinction between inquiry and scientific inquiry and why high school students should be cognizant of the distinction. *Journal of Research on Science Teaching*, 17, 123–130.
- Kyllonen, P. C., & Lajoie, S. P.** (2003). Reassessing aptitude: Introduction to a special issue in honor of Richard E. Snow. *Educational Psychologist*, 38, 79–83.
- Mayer, R.** (2001). *Multi-media learning*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Mayer, R.** (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59, 14–19.
- McCray, R., DeHaan, R. L., & Schuck, J. A. (Eds.)**. (2003). *Improving undergraduate instruction in science, technology, engineering, and mathematics: Report of a workshop*. Washington, DC: National Academies Press.
- McKeough, A., Lupart, J., & Marini, A. (Eds.)**. (1995). *Teaching for transfer: Fostering generalization in learning*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Miller, C., Lehman, J., & Koedinger, K.** (1999). Goals and learning in microworlds. *Cognitive Science*, 23, 305–336.
- Miller, G. A.** (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81–97.
- Moreno, R.** (2004). Decreasing cognitive load in novice students: Effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional Science*, 32, 99–113.
- Nadolski, R. J., Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. G.** (2005). Optimising the number of steps in learning tasks for complex skills. *British Journal of Educational Psychology*, 75, 223–237.
- Norman, G. R., & Schmidt, H. G.** (1992). The psychological basis of problem-based learning: A review of the evidence. *Academic Medicine*, 67, 557–565.
- Novak, J. D.** (1988). Learning science and the science of learning. *Studies in Science Education*, 15, 77–101.

- Obioma, G. O.** (1986). Expository and guided discovery methods of presenting secondary school physics. *European Journal of Science Education*, 8, 51–56.
- Paas, F.** (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84, 429–434.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J.** (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38, 1–4.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J.** (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science*, 32, 1–8.
- Paas, F., & van Merriënboer, J.** (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86, 122–133.
- Papert, S.** (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books.
- Patel, V. L., Arocha, J. F., & Kaufman, D. R.** (1994). Diagnostic reasoning and expertise. *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, 31, 137–252.
- Patel, V. L., & Groen, G. J.** (1986). Knowledge-based solution strategies in medical reasoning. *Cognitive Science*, 10, 91–116.
- Patel, V. L., Groen, G. J., & Norman, G. R.** (1993). Reasoning and instruction in medical curricula. *Cognition & Instruction*, 10, 335–378.
- Perkins, D. N.** (1991). Technology meets constructivism: Do they make a marriage? *Educational Technology*, 13, 18–23.
- Peterson, L., & Peterson, M.** (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 193–198.
- Pillay, H.** (1994). Cognitive load and mental rotation: Structuring orthographic projection for learning and problem solving. *Instructional Science*, 22, 91–113.
- Quilici, J. L., & Mayer, R. E.** (1996). Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems. *Journal of Educational Psychology*, 88, 144–161.
- Roblyer, M. D.** (1996). The constructivist/objectivist debate: Implications for instructional technology research. *Learning and Leading With Technology*, 24, 12–16.
- Roblyer, M. D., Edwards, J., & Havriluk, M. A.** (1997). *Integrating educational technology into teaching* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Ruble, T. L., & Stout, D. E.** (1993, March). Learning styles and end-user training: An unwarranted leap of faith. *MIS Quarterly*, 17, 115–117.
- Rutherford, F. J.** (1964). The role of inquiry in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 2, 80–84.
- Schauble, L.** (1990). Belief revision in children: The role of prior knowledge and strategies for generating evidence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49, 31–57.
- Schmidt, H. G.** (1983). Problem-based learning: Rationale and description. *Medical Education*, 17, 11–16.
- Schmidt, H. G.** (1998). Problem-based learning: Does it prepare medical students to become better doctors? *The Medical Journal of Australia*, 168, 429–430.
- Schmidt, H. G.** (2000). Assumptions underlying self-directed learning may be false. *Medical Education*, 34, 243–245.
- Shulman, L. S.** (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, 4–14.
- Shulman, L. S., & Hutchings, P.** (1999, September–October). The scholarship of teaching: New elaborations, new developments. *Change*, 11–15.
- Shulman, L., & Keisler, E. (Eds.)**. (1966). *Learning by discovery: A critical appraisal*. Chicago: Rand McNally.
- Singley, M. K., & Anderson, J. R.** (1989). *The transfer of cognitive skill*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Snow, R. E., Corno, L., & Jackson, D. N., III.** (1994). Individual differences in conation: Selected constructs and measures. In H. F. O’Neil & M. Drillings (Eds.), *Motivation: Theory and research* (pp 71–99). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Snow, R. E., Corno, L., & Jackson, D.** (1996). Individual differences in affective and conative functions. In D. Berliner & R. Calfee (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp 243–310). New York: Simon & Schuster.
- Snow, R. E., & Lohman, D. F.** (1984). Toward a theory of cognitive aptitude for learning from instruction. *Journal of Educational Psychology*, 76, 347–376.
- Steffe, L., & Gale, J. (Eds.)**. (1995). *Constructivism in education*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Sweller, J.** (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257–285.
- Sweller, J.** (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.
- Sweller, J.** (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 43, pp 215–266). San Diego, CA: Academic.
- Sweller, J.** (2004). Instructional design consequences of an analogy between evolution by natural selection and human cognitive architecture. *Instructional Science*, 32, 9–31.
- Sweller, J., & Cooper, G. A.** (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2, 59–89.
- Sweller, J., Mawer, R., & Howe, W.** (1982). The consequences of history-cued and means-ends strategies in problems solving. *American Journal of Psychology*, 95, 455–484.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F.** (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251–296.
- Tarmizi, R., & Sweller, J.** (1988). Guidance during mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 80, 424–436.

- Trafton, J. G., & Reiser, R. J.** (1993). The contribution of studying examples and solving problems to skill acquisition. In M. Polson (Ed.), *Proceedings of the 15th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp 1017–1022). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Tuovinen, J. E., & Sweller, J.** (1999). A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. *Journal of Educational Psychology, 91*, 334–341.
- Van Joolingen, W. R., de Jong, T., Lazonder, A. W., Savelsbergh, E. R., & Manlove, S.** (2005). Co-Lab: Research and development of an online learning environment for collaborative scientific discovery learning. *Computers in Human Behavior, 21*, 671–688.
- Van Merriënboer, J. J. G.** (1997). *Training complex cognitive skills*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Ward, M., & Sweller, J.** (1990). Structuring effective worked examples. *Cognition and Instruction, 7*, 1–39.
- Winn, W.** (2003). Research methods and types of evidence for research in educational psychology. *Educational Psychology Review, 15*, 367–373.
- Woltz, D. J.** (2003). Implicit cognitive processes as aptitudes for learning. *Educational Psychologist, 38*, 95–104.