

Améliorer les connaissances ou les pratiques ? Un point de vue ergonomique

André Tricot

Laboratoire de Psychologie - Epsilon

Université Paul Valéry Montpellier - France

andre.tricot@univ-montp3.fr

Dans ma discipline, la psychologie cognitive et ergonomique, nous essayons d'utiliser des connaissances issues de la psychologie cognitive pour améliorer des situations de travail ou des outils. Ayant consacré 22 ans de ma vie à former des enseignants, je me suis demandé si je pouvais utiliser des connaissances issues pour la psychologie cognitive pour améliorer des situations ou des outils d'enseignement. J'ai vite découvert un domaine de la recherche en psychologie de l'éducation qui correspondait en partie à ce que je voulais faire : l'ingénierie pédagogique (*instructional design*). Je vais essayer, dans ce chapitre, de décrire différentes façons de faire de la recherche et des interventions dans ce domaine, que l'on pourrait donc appeler « ergonomie pédagogique ».

Le point de vue ergonomique consiste à considérer qu'évaluer ou concevoir une situation de travail ou un outil relève du particulier. Nous ne pouvons pas concevoir des pratiques qui seraient efficaces tout le temps, dans toutes les situations (voir la discussion de Kubiszewski, ce volume). En revanche, nous pouvons produire des connaissances, qui ont un certain niveau de généralité, une certaine validité scientifique, une certaine pertinence lors de la conception de telle ou telle situation et une certaine « utilisabilité » : elles peuvent être aisément apprises et mise en œuvre par des professionnels, en situation. La pratique, c'est-à-dire la mise en œuvre de la connaissance, est particulière à la situation.

Dans ce chapitre je vais commencer par décrire l'approche ergonomique et sa mise en œuvre en enseignement, puis je présenterai quatre déclinaisons : l'ingénierie, l'évaluation, la formation et la diffusion des connaissances. Je vais montrer la convergence entre la démarche ergonomique et l'ingénierie pédagogique en conception ; je vais aussi souligner l'apport de l'ergonomie qui ajoute de nouvelles dimensions à l'ingénierie pédagogique en évaluation ; enfin je vais mettre en exergue la grande différence entre les acteurs de l'intervention ergonomique et ceux de l'ingénierie pédagogique.

L'approche ergonomique : définition, exemple, concepts

Comme pratique, l'ergonomie vise à l'amélioration des situations de travail et, par extension, des outils. Cette pratique repose sur plusieurs principes dont le plus important est sans doute de considérer que chaque situation de travail est particulière. L'ergonome doit donc étudier au plus près la situation qu'ils ou elle doit améliorer. Pour cela, l'ergonome dispose de nombreuses méthodes complémentaires entre elles, fondées sur l'observation, l'entretien, la simulation, l'expérimentation, le test de solutions, etc. Les deux grands domaines de l'intervention ergonomique sont l'évaluation et la conception. Lors d'une évaluation ergonomique, l'intervenant.e va se centrer sur l'analyse et le diagnostic des difficultés que les opérateurs rencontrent dans cette situation de travail ou dans l'utilisation de cet outil, puis proposer des pistes d'amélioration à ces opérateurs, qu'il ou elle va ensuite évaluer avec eux. Lors de la conception ergonomique, l'intervenant.e participe, dès l'amont, à la conception d'une nouvelle situation ou d'un nouvel outil, en prenant en compte les humains impliqués, les tâches qu'ils réalisent, ainsi que les contraintes et les ressources présentes dans la

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

situation. L'ergonomie des situations a précédé de plusieurs décennies et englobe l'ergonomie des outils. Il est en effet assez difficile d'évaluer et de concevoir des outils en faisant abstraction des situations de travail. En ergonomie des outils, on étudie donc comment un outil est utilisé ou peut être utilisé dans des classes de situations. L'ergonomie s'est surtout développée dans les pays francophones, tandis qu'en Grande Bretagne et plus encore aux Etats-Unis, l'approche facteurs humains (*human factors*) dominait et domine encore. Selon cette deuxième approche, on peut améliorer les situations de travail en étudiant comment l'opérateur humain produit des erreurs, présente des défaillances. On va alors essayer de corriger ces failles en agissant d'abord sur l'humain. Ainsi l'approche facteurs humains se centre sur l'analyse des erreurs humaines, en s'intéressant aux capacités attentionnelles des opérateurs, à leur mémoire, leur vigilance, leur fatigue mentale ou physique, leur expertise ou leur stress.

Lors de ses interventions, l'ergonome se pose toujours les trois mêmes questions principales : qui est ou qui sont les opérateurs ? Quelles tâches réalisent-ils, avec quels outils ? Dans quelle situation (on dit parfois « environnement ») ? L'ergonome n'est, la plupart du temps, pas un spécialiste métier, il ou elle est simplement ergonome. C'est un regard extérieur, précis et rigoureux, qu'il ou elle apporte aux personnes impliquées dans la situation de travail. Puis ce sont donc des pistes d'amélioration qu'il ou elle propose, fondées sur cette analyse et sur ses connaissances.

L'intervention ergonomique est réalisée à partir d'une demande, qui est adressée par un.e responsable de l'entreprise, parfois les membres du personnel ou un syndicat, la ou le médecin du travail, etc. L'analyse de cette demande donne lieu à une explicitation, une négociation et finalement une reformulation, qui doit avoir du sens pour l'ensemble des parties impliquées. Il me semble que les difficultés analysées par Janosz et al. (ce volume) dans le déploiement du projet québécois CAR « collaborer, apprendre, réussir » montrent bien qu'il peut être très compliqué d'améliorer les situations (ici d'enseignement apprentissage) quand il n'y a pas une demande précise au départ. Je ne sais pas si l'on peut créer une communauté de pratiques au sens de Bryk (2017) s'il n'y a pas d'abord une communauté rassemblée autour d'un problème précis et partagé.

La recherche en ergonomie porte essentiellement sur les méthodes utilisées en intervention et les études de cas « exemplaires ». Amalberti (2014) note au passage que si l'on assume la recherche en ergonomie, comme science du particulier, alors on se confronte à une difficulté : il est difficile de publier. Plus explicitement, il est difficile de diffuser et même d'accumuler de telles connaissances du particulier (Tricot, 2017). Les connaissances utilisées par les ergonomes viennent principalement de disciplines contributives, comme la psychologie, la physiologie humaine, la sociologie des organisations, etc. Elles viennent aussi de la recherche en ergonomie, qui est donc une discipline systémique où l'on essaie de comprendre ensemble des caractéristiques des humains, des tâches et des situations.

Ainsi, une approche ergonomique appliquée à l'enseignement concerne des situations d'enseignement particulières. L'analyse portera sur les humains présents dans la situation (enseignant.e et élèves), les tâches qu'ils réalisent, les outils qu'ils utilisent pour réaliser ces tâches et la classe elle-même (son organisation spatiale, temporelle, sociale, les outils qui s'y trouvent, soit un ensemble de contraintes et de ressources). On pourrait envisager que les interventions des conseillers pédagogiques sont proches de celles des ergonomes, mais les conseillers pédagogiques réalisent des interventions souvent plus courtes que celles des ergonomes, et ce sont des spécialistes métier (dans l'enseignement scolaire en France, ce sont même systématiquement d'anciens enseignants).

Dans la partie suivante je vais présenter un exemple d'intervention ergonomique en relation avec le contexte scolaire.

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

Un exemple d'évaluation ergonomique : un logiciel dans le domaine de l'apprentissage du graphisme

Nous avons réalisé une étude ergonomique à la demande d'une entreprise qui développait des outils de rééducation pour les orthophonistes / logopédistes et les psychomotriciens. L'entreprise avait notamment conçu et commercialisé un outil dans le domaine de l'apprentissage du graphisme et ses troubles (dyspraxie, dysgraphie). Ce système, doté d'une tablette graphique, d'une reconnaissance de caractères et d'une synthèse vocale permet de stimuler la boucle « auditivo-visuo-graphique ». En effet, à partir d'une consigne, l'enfant produit une trace graphique sur la tablette, celle-ci est reconnue par l'outil qui délivre alors un feed-back visuel (inscription de la graphie à l'écran) renforcé par un contrôle visuel et/ou auditif (restitution visuelle et/ou auditive du résultat). Une consigne est formulée pour chaque exercice. C'est le professionnel qui choisit l'exercice dans une base d'exercices. Un retour est fourni au professionnel sur plusieurs variables comme la vitesse, la précision, la force de l'appui du stylet, etc.

L'entreprise nous a demandé d'étudier l'opportunité de développer une version pour les enseignants et sous quelles conditions. L'intervention relevait donc de l'ergonomie prospective. Elle a duré 3 mois. Elle impliquait des observations dans des classes, des entretiens avec des enseignants et 75 élèves. Elle a aussi consisté à réaliser une évaluation par inspection de l'outil lui-même, avec les critères classiques en ergonomie cognitive des outils, comme : (a) guidage : incitation, groupement des items, feed-back, lisibilité ; (b) charge de travail : brièveté, densité informationnelle ; (c) contrôle explicite ; (d) adaptabilité ; (e) gestion des erreurs ; (f) homogénéité/cohérence ; (g) signification des codes et dénominations ; (h) compatibilité.

Les tests expérimentaux visaient à évaluer si l'outil détériorait ou non l'activité graphique des élèves (par rapport au papier). Après une phase d'appropriation, les élèves devaient écrire la phrase « je respire le doux parfum des fleurs », d'abord avec stylo-papier puis sur la tablette. Les données recueillies comprenaient : la position du support ; la pronation ; la taille des lettres ; la direction des lettres ; l'espace entre les mots ; le nombre d'erreurs ; le nombre de levés ; la vitesse, et huit autres variables. Les variables contrôlées étaient la position du regard ; le niveau de l'élève en graphisme ; la latéralité.

Nos conclusions ont été, entre autres, que ce n'est pas parce qu'un outil est efficace dans un cabinet d'orthophoniste (c'est-à-dire des interactions un à un avec un adulte ; des séances de +/- 45 minutes), que cet outil va trouver sa place dans une situation de classe (faible nombre d'ordinateurs et, à l'époque, de tablettes ; interactions un à un avec un adulte extrêmement courtes ; les tâches d'apprentissage du graphisme dépassent rarement 10', et souvent tâches secondaires). Lors des entretiens, pourtant, les trois quarts des élèves se sont déclarés favorables à l'utilisation de cet outil en classe. Je souligne cet aspect car parfois le point de vue des personnes impliquées dans la situation est jugé moins pertinent que l'analyse de contraintes temporelles ou des tâches. Notre recommandation a donc été de ne pas développer un outil pour apprendre le graphisme dans les salles de classe.

En ergonomie de conception, la thèse de Juliette Renaud (2020), intitulée « Processus de conception d'un outil didactique d'enseignement de la lecture documentaire numérique au cycle 3 » est un bon exemple d'ergonomie pédagogique (voir aussi Goigoux, Renaud, & Roux-Baron, 2021). Je vais discuter plus précisément des relations entre ingénierie pédagogique et ergonomie de la conception.

Mais avant cela, je vais présenter quelques concepts issus de la recherche en psychologie ergonomique et qui ont eu un certain impact dans la recherche en éducation, notamment via les travaux de Pierre Rabardel.

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

Quelques concepts issus de la recherche en psychologie ergonomique¹

Certains outils sont conçus pour permettre aux humains de réaliser une tâche, parce qu'elle serait impossible sinon, ou pour améliorer la performance lors de la réalisation d'une tâche. L'activité de conception a longtemps été centrée sur l'outil lui-même, qui doit posséder certaines caractéristiques pour améliorer la performance à la tâche. Mais cela ne suffit pas : l'outil n'est efficace que dans la mesure où l'humain réussit à l'utiliser, et même, à se l'approprier pour accomplir une tâche. De nombreux travaux en ergonomie ont pour objectif de comprendre ce processus d'appropriation intrinsèquement lié à l'existence et à l'utilisation d'un outil. Ces travaux sont très utiles pour analyser la façon dont les enseignants et les élèves s'approprient ou non des outils pour enseigner et apprendre. Ces recherches en ergonomie des outils ont connu un certain succès.

Les humains s'approprient un nouvel outil en fonction de la façon dont ils accomplissaient la tâche préalablement, avec un outil plus ancien. La façon d'accomplir une tâche, c'est-à-dire la suite d'actions qui permet de la réaliser, se stabilise chez un individu au fur et à mesure qu'il rencontre et accomplit des tâches du même type. En référence à Piaget, cette pratique stabilisée pour un ensemble de tâches est appelée schème. Il va être difficile de s'approprier un nouvel outil si celui-ci est incompatible avec le schème préalable.

Quand un individu s'est approprié un outil pour réaliser une tâche, on parle d'instrument pour signifier que cet individu a développé un schème d'utilisation associé à l'outil. L'instrumentation désigne le processus qui consiste à construire et modifier le schème d'utilisation. Dit autrement, s'approprier un outil c'est apprendre à l'utiliser, tandis qu'apprendre n'est rien d'autre que modifier ce que l'on sait déjà.

Réciproquement, lorsque l'on considère un outil indépendamment de son appropriation et utilisation par un individu, on parle d'artefact. L'appropriation de l'outil par un individu ne consiste pas seulement à développer un schème mais aussi à prendre en compte, sélectionner, regrouper détourner certaines des caractéristiques de l'artefact. Cet autre aspect du processus d'appropriation de l'instrument est l'instrumentalisation. Ainsi, l'approprier un outil ce n'est pas s'approprier tout l'outil mais les aspects qui nous sont utiles pour faire ce que nous avons à faire.

Ce double processus d'appropriation instrumentation / instrumentalisation est appelé genèse instrumentale. Le lecteur piagétien reconnaîtra sans doute le processus d'équilibration et le couple assimilation / accommodation.

Quand un individu s'approprie un outil, il peut le mettre en œuvre pour des tâches qui n'étaient pas envisagées par le concepteur. L'individu a adapté l'outil à ses besoins et le détourne de son usage prévu initialement. La catachrèse désigne ce processus de détournement. Elle peut aller jusqu'à la modification de l'outil lui-même, révélant des possibilités d'évolution. Ce dernier aspect est assez trivial quand on pense à un outil comme le tournevis qui ne sert pas qu'à visser et dévisser. Il est un peu moins évident, et pourtant crucial, quand on essaie de comprendre la façon dont des outils numériques trouvent leur place dans les salles de classe. Le cas du tableau numérique interactif est célèbre (et affligeant) de ce point de vue, certaines classes s'étant vues équipées du nid à poussière le plus onéreux qui soit.

Les travaux qui utilisent, dans le domaine de l'éducation, ces concepts issus de l'ergonomie, sont nombreux. Mais il me semble que parfois ils oublient que l'ergonomie n'a qu'une seule visée : l'amélioration. Selon un point de vue ergonomique, comprendre, avec ces concepts, comment les enseignants et les élèves s'approprient ou non un outil, n'est pas une fin en soi.

Dans la partie qui suit, je vais aborder l'ingénierie pédagogique et discuter de ses liens avec l'ergonomie de conception dans le domaine de l'enseignement.

¹ Cette partie reprend une note rédigée avec Sophie Soury-Lavergne et publiée sous une autre forme dans Tricot et Chesné (2020).

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

L'ingénierie pédagogique et l'ergonomie de conception

Les recherches en ingénierie pédagogique visent à produire des connaissances utiles aux enseignants lors de leur activité de conception, lorsqu'ils ou elles préparent leur enseignement. Elles relèvent du paradigme des sciences de l'ingénieur. L'idée générale de l'ingénierie pédagogique est que les enseignants (ou formateurs) conçoivent leurs séances d'enseignement en fonction d'objectifs à atteindre, de moyens disponibles et de contraintes. Faire varier un seul moyen ou une seule contrainte modifie la conception de la séance.

Par exemple, changer la contrainte « 20 élèves dans la classe » en contrainte « 10 élèves dans la classe » peut avoir un effet plutôt modeste, si on le compare à un autre effet, comme les années d'expérience professionnelle des enseignants. Bressoux et Lima (2011) ont réanalysé des données d'une étude de la Direction de l'Évaluation et de la Prospective (DEP) en France, qui comparait les progrès des élèves de 72 classes avec 10,43 élèves en moyenne avec les progrès des élèves de 66 classes avec 21,15 élèves. Les chercheurs indiquent « nos estimations montrent que, pour les élèves de niveau moyen, deux années d'expérience supplémentaires de leur enseignant en CP dépassent l'effet d'un élève en moins par classe. Pour les élèves faibles, une seule année supplémentaire suffit pour dépasser cet effet ». Comment expliquer un effet aussi faible de la diminution du nombre d'élèves ? Une hypothèse simple peut être formulée : la façon d'enseigner ne change pas tellement entre une classe à 20 et à 10 élèves, quand les enseignants n'ont eu jusque-là que des classes à 20 élèves ; et qu'ils n'ont pas été spécialement formés ou accompagnés pour concevoir autrement leur enseignement.

Les recherches en *instructional design* produisent des connaissances (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011) et des méthodes (van Merriënboer & Kirschner, 2017). La validité scientifique de ces connaissances ne permet pas de prédire leur utilisation réelle, ni même l'efficacité d'une formation à ces connaissances, comme Baye et Dachet (ce volume) le montrent implacablement. Plus encore, la littérature empirique en ergonomie montre que dans bien des cas les concepteurs n'utilisent pas ou peu les connaissances en sciences de l'ingénieur (Chevalier & Cegarra, 2008). Les méthodes notamment sont souvent perçues comme trop contraignantes, menaçant la créativité, trop nombreuses ou difficiles à prendre en compte. L'effort à produire pour apprendre puis mettre en œuvre ces méthodes peut sembler exorbitant comparé au faible coût de la mise en œuvre de routines ou du recyclage de solutions antérieures. C'est à peu près la même chose en ingénierie pédagogique. Ces contraintes sont cependant mieux acceptées dans les domaines à fort enjeu de sécurité et de fiabilité, comme l'aéronautique.

Malgré ces limites, dans un article récent (Tricot, 2021), j'ai défendu le point de vue selon lequel parmi les connaissances utiles aux enseignant.e.s lorsqu'elles ou ils conçoivent une situation ou un support d'enseignement, certaines relèvent de l'ingénierie, c'est-à-dire de connaissances utiles pour résoudre des problèmes complexes et mal définis (Dessus, 2006 ; Musial & Tricot, 2020). Ces connaissances peuvent relever de l'expérience professionnelle, qui permet de trouver des solutions aux problèmes complexes en utilisant de façon plus ou moins contrôlée des analogies avec des situations déjà mises en œuvre. Ce sont aussi des connaissances qui peuvent être issues de travaux scientifiques, qui peuvent être utilisées de façon plus contrôlée et méthodique. Mais l'activité de conception ne relève pas en elle-même de l'activité scientifique. Le tableau 1 présente les principales différences entre ces deux activités (Tricot, 2017), puis met en correspondance l'ingénierie en général avec le cas particulier de l'ingénierie pédagogique.

Générer des connaissances scientifiques	Élaborer une solution à un problème de conception : démarche d'ingénierie	Concevoir une situation d'enseignement : démarche d'ingénierie pédagogique
Les objectifs sont largement auto-décidés : c'est la ou le chercheur.e qui définit (souvent collectivement) ses objectifs de recherche, elle ou il ne répond pas à une commande	Définir progressivement l'objectif à atteindre à partir d'une commande qui est souvent sous-spécifiée.	La commande se trouve dans les programmes scolaires : elle est largement sous-spécifiée. L'objectif est élaboré progressivement, il permet de répondre à la question : « qu'est-ce que les élèves auront appris à la fin de cette séquence ? à la fin de cette séance ? »
Le rôle du hasard est très important dans la découverte scientifique. La méthode utilisée pour générer cette connaissance est reconnue par une communauté.	Tenir compte des contraintes et des moyens qui sont fournis, par exemple le temps disponible. Utiliser des connaissances et des méthodes pour construire une solution optimale. Une autre solution aurait pu être trouvée si l'on avait donné plus de moyens, ou imposé moins de contraintes.	La situation d'enseignement est élaborée en fonction de moyens : « quels temps, matériels, lieux sont disponibles ? » ; de contraintes : « combien d'élèves dans la classe ? Quelles sont leurs connaissances sur le sujet ? Sont-ils intéressés par ce sujet ? Quelle confiance dans leur capacité à apprendre dans cette discipline ? ». Elle utilise des connaissances et des méthodes issues de travaux de recherche en ingénierie pédagogique.
La validité scientifique de la connaissance est le critère majeur, qui arrive loin devant les questions de temps et de moyens mis en œuvre pour élaborer cette connaissance.	La validité de la solution réside dans son optimalité : elle est relative à un équilibre entre l'atteinte de l'objectif, l'utilisation des moyens et le respect des contraintes.	L'objectif est de construire une solution optimale, qui réponde aux questions : « Quelle progression ? Quelles tâches ? Quel engagement dans ces tâches ? Quels supports ? Quelles aides ? Quelle régulation des apprentissages ? Quelle évaluation ? » (Musial & Tricot, 2020).

Tableau 1. Quelques différences entre la recherche scientifique et l'ingénierie ; correspondance avec l'ingénierie pédagogique.

L'activité de conception est tout aussi différente de la mise en œuvre d'une solution ou d'une procédure prédéfinies, pour résoudre un problème bien défini.

Ainsi l'ingénierie pédagogique semble converger vers la même démarche et le même questionnement que l'ergonomie de conception. Tout se passe comme si, avec deux origines différentes (l'enseignement vs. le domaine industriel), mais un même objectif (améliorer les situations et les outils), on avait atteint deux résultats analogues.

Quelle est la validité scientifique de l'ingénierie pédagogique ?

Comme dans toute démarche qui se veut scientifiquement fondée, la recherche en ingénierie pédagogique doit répondre à la question de la validité. Quelle est la validité externe ou écologique, c'est-à-dire le fait que les résultats ont été produits dans des situations qui sont réelles, authentiques, ou à tout le moins fidèles à la réalité ? Quelle est la validité interne, c'est-à-dire la rigueur scientifique qui a présidé à l'élaboration de la théorie, des hypothèses, de la méthode, des mesures et à l'analyse des résultats ? Plus encore, quel équilibre trouver entre ces deux registres de validité scientifique (voir la réflexion approfondie de März et Coppe, ce volume) ?

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

Parmi les travaux en ingénierie pédagogique, certains tentent de répondre aux deux registres de validité :

- exigence de validité externe : les hypothèses portent sur l'efficacité de telle manière de présenter un support ou des tâches qui relèvent véritablement des apprentissages scolaires ;
- exigence de validité interne : les hypothèses sont fondées sur une description précise des structures et des fonctions cognitives impliquées dans les apprentissages, ainsi que sur une démarche expérimentale reposant sur des essais randomisés contrôlés.

La théorie de la charge cognitive (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011) et la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Fiorella & Mayer, 2022) sont parmi les théories les plus souvent citées en ingénierie pédagogique. Elles font partie des travaux qui répondent aux deux exigences de validité interne et externe.

- Concernant la validité externe, ces théories s'opposent aux travaux dans le domaine de la psychologie cognitive, qui ont comme source des expériences de laboratoire. C'est le cas par exemple de travaux sur l'efficacité des apprentissages distribués (avec des interruptions, en plusieurs sessions) vs. massés (sans interruption, en une seule session) (e.g. Donovan & Radosevich, 1999) ou de ceux consacrés au *testing effect* (e.g. Rowland, 2014). Ces travaux ne portent pas au départ sur les apprentissages scolaires mais typiquement sur la mémorisation de listes de mots. Les effets solidement établis au plan expérimental sont ensuite exportés, avec plus ou moins de bonheur, vers les apprentissages scolaires (e.g. McDaniel, Roediger, & McDermott, 2007). Cette démarche qui part des résultats de la psychologie cognitive des apprentissages peut donner lieu à des développements très aboutis en ingénierie pédagogique comme dans le grand classique de Gagne et Briggs (1974).
- Concernant la validité interne, la théorie de la charge cognitive ou celle de l'apprentissage multimédia s'opposent aussi à de nombreux travaux : la recherche en ingénierie pédagogique oublie parfois de réaliser des essais randomisés contrôlés ; elle n'a pas besoin, dans la plupart des cas, d'une architecture cognitive qui décrit précisément comment les humains apprennent. Beaucoup plus centrée sur l'activité de conception d'un enseignement, elle propose des méthodes pour celle-ci, c'est-à-dire des manières de définir des objectifs, des moyens et des contraintes, ainsi que des procédures pour atteindre ces objectifs en utilisant ces moyens et en prenant en compte ces contraintes.

Mise en œuvre des démarches en ingénierie pédagogique

Les travaux en ingénierie pédagogique sont différents de l'ergonomie de conception sur un point important. Dans cette dernière approche en effet, l'ergonome est le membre d'une équipe de conception, ce que l'on peut retrouver dans les équipes de conception chez les éditeurs de manuels scolaires, les services de formation des grandes entreprises ou les cellules d'innovation pédagogique dans les universités. Les travaux en ingénierie pédagogique semblent au contraire s'adresser à chaque enseignant.e, lors de l'activité de conception. Les recherches qui ont évalué cet usage des connaissances et des méthodes de l'ingénierie pédagogique montrent souvent un usage très limité. Par exemple, Roscoe, Gutierrez, Wylie et Chi (2014) ont évalué la mise en œuvre du cadre d'ingénierie pédagogique ICAP. Le cadre ICAP a été élaboré à partir d'un constat : la littérature dans le domaine des apprentissages scolaires peine à montrer que telle tâche est plus efficace que telle autre : à chaque fois, cela dépend de l'apprentissage visé et de l'avancement des élèves. Chi et Wylie (2014) ont récemment proposé de distinguer les tâches scolaires et les niveaux d'engagement des apprenants dans la tâche. Elles définissent quatre de ces niveaux (correspondant aux quatre lettres ICAP) :

- Interactif : lorsque deux (ou plus) élèves collaborent à travers un dialogue à une co-construction.
- Constructif : lorsque les élèves génèrent de l'information au-delà de ce qui a été présenté (ils comprennent plus que ce qu'on leur explique par exemple).

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

- Actif : lorsque les élèves manipulent sélectivement et physiquement les supports d'apprentissage.
- Passif : lorsque les élèves sont focalisés sur et reçoivent des explications, ils leur accordent de l'attention.

A partir d'une analyse de la littérature empirique, ces auteures montrent que chaque fois que tout est comparable (même connaissance à apprendre, même tâche, mêmes apprenants), alors il est possible de classer l'efficacité des niveaux d'engagement : passif < actif < génératif < interactif. Ainsi, une même tâche, comme « lire un texte », peut être réalisée de manière plus ou moins engageante : Juste lire, lire à haute voix < Souligner, surligner, résumer avec des copié-collés < Fabriquer des tableaux, des schémas, résumer avec ses propres mots < Élaborer un résumé commun, mettre en discussion les schémas de chacun. Cette plus grande efficacité et ce plus grand engagement dans la tâche, s'accompagnent d'une plus grande exigence : la tâche est plus longue à réaliser, elle est moins à la portée des élèves ayant le moins de connaissances, elle nécessite plus d'accompagnement.

Roscoe, Gutierrez, Wylie et Chi (2014) ont sollicité 10 enseignants aguerris, pour participer à un atelier qui présentait le cadre ICAP. Ces enseignants devaient ensuite concevoir deux cours chacun. Ils disposaient de deux jours pour cette activité de conception. Les chercheurs ont constaté que si le cadre avait un effet sur la façon dont les enseignants concevaient leurs cours, il avait peu d'effet sur les apprentissages des élèves, sans doute parce que le cadre était difficile à mettre en œuvre, nécessitant, d'après les auteurs, plusieurs cycles de conception - reconception (par ailleurs, plusieurs études montrent l'efficacité de ICAP, par ex. Lim et al. 2019).

Pour améliorer l'acceptabilité des connaissances *instructional design* il me semble que nous devrions en améliorer le rapport bénéfice / coûts + risques, objectivement et subjectivement. Nous ne devons pas produire des solutions (des pratiques d'enseignement) mais des connaissances (Tricot, 2017), pertinentes pour les enseignant.e.s lorsqu'ils et elles conçoivent des situations d'enseignement. Ces connaissances doivent être avoir une forte validité externe et doivent être peu coûteuses à apprendre puis à mettre en œuvre. Les « pratiques d'enseignement », les outils et les méthodes « prêts à l'emploi » sont utiles quand les enseignants n'ont pas le temps ou les ressources pour concevoir une situation (par exemple lorsqu'ils débutent dans le métier).

Je vais maintenant présenter deux exemples de connaissances émanant de la recherche en ingénierie pédagogique, qui présentent à la fois une forte validité scientifique et un faible coût d'appropriation ou de mise en œuvre, tellement elles sont simples.

Un exemple de connaissance en ingénierie pédagogique : la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia

La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Fiorella & Mayer, 2022) est fondée sur trois grandes hypothèses :

1. Deux canaux de traitement : les humains disposent de deux canaux pour traiter séparément un support visuel (images fixes ou animées, mots écrits) et un support audio (discours oraux, sons). En référence au modèle de la mémoire de travail de Baddeley (1992), l'hypothèse est que l'élève sélectionnera les discours oraux pertinents à traiter avec un système de traitement (appelé boucle phonologique) et les images pertinentes ou les mots écrits avec un autre système de traitement (appelé calepin visuo-spatial).
2. Une capacité limitée : il y a une limite à la quantité d'informations que les humains peuvent traiter simultanément. Cette seconde hypothèse prend sa source dans l'article de Miller (1956) et correspond explicitement au fonctionnement et aux contraintes du principal système de traitement du modèle de Baddeley, appelé administrateur central.
3. Le traitement actif : les humains sont capables de sélectionner les informations qu'ils traitent dans leur environnement (c'est le rôle de l'attention). Ils sont capables d'organiser ces informations de façon significative pour eux (comme avec la comparaison, la généralisation,

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

l'énumération, la classification, le calcul). Enfin, ils peuvent intégrer ces informations à leurs connaissances préalables en mémoire à long terme.

Plusieurs milliers de travaux empiriques publiés dans le cadre de cette théorie ont mis à jour des « principes de conception » (ces principes étant souvent communs avec ceux de la théorie de la charge cognitive, que j'ai présentée en détail dans un article récent : Tricot, 2021). Dans Tricot et Puma (2021), nous avons présenté plusieurs principes de conception de situations d'enseignement issus des travaux de la théorie de la charge cognitive et la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia. Je les présente ici (tableau 2) avec les tailles d'effet que j'ai trouvées dans les méta-analyses. Quand la taille d'effet n'est pas indiquée, c'est que je n'ai pas trouvé de méta-analyse. Il me semble que ce tableau illustre bien que des connaissances avec une forte validité externe peuvent être simples à mettre en œuvre en situation, lorsque l'on conçoit une situation d'enseignement. Mayer (2021) a réalisé une présentation très proche de quelques-uns de ces principes de conception dans un article consacré à la conception de vidéos d'enseignement.

Voici une explication d'un des effets (le N° 10 dans le tableau) : quand deux sources d'information doivent être présentées à un.e élève, l'attention de l'élève est partagée entre ces deux sources, ce qui génère des difficultés. Une façon de limiter ces difficultés est d'intégrer les deux sources, dans l'espace et dans le temps. Les humains ne peuvent pas faire attention à plusieurs choses à la fois pour deux raisons : perceptives (ils ne peuvent pas regarder dans deux directions à la fois), et attentionnelles. Quand deux sources sont présentées à deux endroits différents d'une page (ou à deux moments différents, ou sur deux supports différents), le regard de l'élève va de l'un à l'autre. Ces allers-retours sont coûteux et peuvent générer des erreurs de référencements. Par exemple, elle / il attribue tel passage de texte à tel aspect du schéma, de façon non pertinente. La méta-analyse de Ginns (2005) confirme le principe de contiguïté et montre un effet important ($d = 0,85$), confirmé ensuite par Schroeder et Ceneci (2018) qui se sont focalisés sur la contiguïté spatiale ($g = 0,63$). La solution qui consiste à simplement signaler les relations (par des flèches par exemple) est moins efficace ($r = 0,17$) selon la méta-analyse de Richter, Scheiter et Eitel (2016).

1.	Si l'élève est peu avancé-e sur l'apprentissage visé, il est efficace de soulager l'exigence de la tâche d'apprentissage avec les principes suivants ; mais cette facilitation doit disparaître progressivement (principe de renversement lié à l'expertise, qui s'applique à tous les autres principes).	Taille de l'effet
2.	Problème résolu En début d'apprentissage, donner des problèmes résolus à étudier plutôt que des problèmes à résoudre	$d = 0,57$
3.	Pré-apprentissage Définir, expliquer ou rappeler les mots, les notions et les objets qui vont être évoqués lors de l'apprentissage	$d = 0,83$
4.	Signalement Guider l'attention des élèves vers l'endroit pertinent au moment pertinent ; synchroniser ce que l'on dit et ce que l'on montre Effet sur la rétention Effet sur le transfert	$g = 0,53$ $g = 0,33$
5.	Rythme de présentation Ralentir le rythme de présentation ou mieux encore introduire des pauses ; réserver le contrôle du défilement aux élèves les plus avancés	$g = 0,31$
6.	Information transitoire Pour une présentation longue, privilégier l'information statique (texte écrit, image fixe) plutôt que transitoire (fichier son ou vidéo sans pause)	
7.	Animation Pour apprendre une notion, même dynamique, l'animation n'est pas toujours plus efficace que la succession d'images fixes	$d = 0,37$
8.	Mouvement humain Pour apprendre un geste, ne pas montrer des images statiques ou irréalistes ; présenter plutôt des vidéos montrant des mouvements humains	$d = 1,06$
9.	Multimédia Présenter un texte illustré par une image pertinente plutôt qu'un texte seul	$g = 0,39$
10.	Contiguïté Quand deux sources d'information doivent être présentées à un.e élève, intégrer les deux sources, dans l'espace et dans le temps	$d = 0,85$
11.	Modalité Utiliser les modalités visuelle et auditive plutôt qu'une seule pour présenter deux informations complémentaires	$d = 0,72$
12.	Redondance Chez les novices ou élèves en difficultés, on peut utiliser les modalités visuelle et auditive pour présenter deux fois la même information	$d = 0,29$
13.	Cohérence Éliminer toutes les informations inutiles ou décoratives Notamment statiques Et encore plus les informations inutiles multimédia	$g = 0,33$ $g = 0,43$ $g = 0,87$
14.	Segmentation Si l'information à présenter est complexe (beaucoup d'éléments et de relations), alors la présenter progressivement, partie par partie	$d = 0,42$
15.	Variabilité Ne pas utiliser une série de tâches ayant des caractéristiques de surface similaires, mais plutôt une série de tâches qui diffèrent les unes des autres	
16.	Mémoire de travail collective Si le travail peut être réalisé par l'élève seul-e, alors il doit être réalisé seul-e ; sinon proposer du travail en groupe, selon un scénario précis.	

Tableau 2. Seize principes de conception de situations d'enseignement, fondés empiriquement

Favoriser les apprentissage génératifs

Voici un autre exemple (tableau 3), que j'ai déjà présenté ailleurs (Tricot, 2017) : après bien d'autres, Fiorella et Mayer (2015) montrent qu'il existe des centaines de publications qui attestent de l'efficacité des apprentissages où les élèves sont cognitivement actifs (cela correspond exactement à ce que Chi et Wylie appellent le niveau « constructif »). Quand les élèves doivent comprendre quelque chose (un exemple, un cas, un texte, une notion), ils comprennent mieux quand ils se posent des questions, font des hypothèses, traitent de façon profonde l'information, que quand ils sont passifs cognitivement (ils ne se posent pas de question, traitent superficiellement l'information, s'intéressent plus à la forme qu'au fond). Fiorella et Mayer proposent de classer en huit grandes catégories les activités qui permettent aux élèves d'être cognitivement plus actifs. Pour chaque catégorie, ils ont analysé la littérature empirique, et recensé les études qui produisent des résultats qui attestent de l'efficacité de telle activité sur l'apprentissage par compréhension, qu'ils rapportent au nombre total d'études ayant évalué l'efficacité de cette activité. Ils ont aussi calculé la taille de l'effet.

Activité	Description de l'activité	Nb d'études avec un effet positif / Nb d'études	Taille de l'effet
Résumer	Réaliser un résumé oral ou écrit de ce que l'on est en train d'essayer de comprendre, comme une explication, un texte, un document multimédia, etc.	26 / 30	$d = 0,50$
Cartographier	Représenter ce que l'on est en train d'essayer de comprendre comme un ensemble de nœuds représentant les concepts centraux, reliés entre eux par des liens signifiants. Sous la forme	23 / 25	$d = 0,62$
	- d'une carte conceptuelle	5 / 6	$d = 0,43$
	- d'une carte mentale	8 / 8	$d = 1,07$
	- d'une matrice conceptuelle		
Dessiner, schématiser	Réaliser un dessin qui décrit, représente, illustre ce que l'on est en train d'essayer de comprendre	26 / 28	$d = 0,40$
Imaginer	Imaginer un dessin, se représenter mentalement la carte, le schéma que l'on réaliserait pour décrire, représenter, illustrer ce que l'on est en train d'essayer de comprendre	16 / 22	$d = 0,65$
S'auto-évaluer	Répondre à des questions d'évaluation, voire créer pour soi-même une évaluation qui met en œuvre la connaissance apprise	70 / 76	$d = 0,57$
S'auto-expliquer	Produire une explication écrite ou orale de ce que l'on est en train d'étudier	44 / 54	$d = 0,61$
Expliquer à autrui	Expliquer à autrui ce que l'on est en train d'étudier	17 / 19	$d = 0,77$
Agir physiquement	Manipuler des objets, réaliser des gestes en relation avec ce que l'on est en train d'étudier	36 / 49	$d = 0,51$

Tableau 3. Huit façons de soutenir un apprentissage où les élèves sont cognitivement actifs, Fiorella et Mayer (2015)

Les conditions pour que les enseignants et les élèves s'approprient un outil au service de l'enseignement et de l'apprentissage sont nombreuses et difficiles à réunir, que l'usage de cet outil soit prescrit ou non. Il en est de même pour les connaissances et les méthodes, alors qu'il existe des

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

connaissances qui semblent très simples. Je vais maintenant montrer comment l'évaluation ergonomique peut aider à mieux prévenir ces difficultés d'appropriation.

L'évaluation ergonomique des outils d'enseignement

Comme indiqué plus haut dans ce chapitre, l'évaluation ergonomique des outils considère que l'efficacité d'un outil ne suffit pas à définir sa qualité. En effet, bien des outils efficaces quand ils sont utilisés avec des personnes qui les ont conçus, sont très difficiles voire impossibles à utiliser par d'autres personnes. Il faut considérer que l'utilisabilité fait partie de la qualité d'un outil (c'est l'objet de la norme ISO 9241). Il y a une trentaine d'années, le critère d'acceptabilité a émergé comme troisième composante de la qualité d'un outil (avec de développement des *technology acceptance models*, qui ont eu un grand succès ; voir la revue de ces modèles dans le domaine de l'éducation, Granić & Marangunić, 2019). Ainsi, on considère souvent que les outils pour la classe doivent avoir les mêmes critères de qualité que les autres outils (Tricot et al., 2003) :

- (a) utilité : l'outil doit permettre de mieux enseigner et/ou de mieux apprendre, objectivement (son efficacité pour l'enseignement-apprentissage visé doit être avérée) et subjectivement (il doit être perçu comme utile par les enseignants et les élèves) ;
- (b) utilisabilité : l'outil doit être facile à prendre en main et perçu comme tel ;
- (c) acceptabilité : l'outil doit être compatible avec l'organisation du temps, de l'espace, avec les outils, les tâches, les valeurs (exactement au sens où Gutzwiller-Helfenfinger, ce volume, aborde l'éthique des enseignants) et les motivations des individus et les caractéristiques de l'institution dans lesquelles ils travaillent.

L'évaluation ergonomique conçoit et met en œuvre des méthodes pour évaluer ces trois dimensions de la qualité d'un outil, y compris en cours de conception (tableau 4). On peut ainsi prendre en compte les résultats de ces évaluations pour ensuite modifier l'outil, procéder à des modifications, évaluer à nouveau, plusieurs fois pendant le cycle de conception.

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

Type d'évaluation	Empirique	Par inspection
Utilité	Adéquation entre objectif défini et apprentissage effectif Adéquation entre dispositif et format de la connaissance à acquérir Différence entre niveau de connaissances initial et terminal Mesures par des tâches de : <ul style="list-style-type: none"> - reconnaissance - rappel (contenu / structure) - résolution de problème - détection d'erreurs - production 	Précision et présentation des objectifs Adéquation contenus /objectifs Précision du scénario didactique Adéquation scénario / objectifs / contenus Mise en œuvre des processus cognitifs et méta cognitifs Régulation Évaluation
Utilisabilité	Possibilité d'apprendre à utiliser le système Gestion et Prévention des erreurs Mémorisation du fonctionnement Efficience Sentiment de satisfaction Évaluation par : <ul style="list-style-type: none"> - observations - entretiens - analyse des parcours 	Guidage et Incitation Groupement / Distinction des items par localisation ou format Feed-back immédiat et nature du feed-back Charge de travail Contrôle explicite Adaptabilité Gestion des erreurs Qualité des messages Homogénéité et cohérence Signifiante des codes et dénominations
Acceptabilité	Motivation Affects Culture Valeurs Évaluation par : <ul style="list-style-type: none"> - observations - entretiens - questionnaires 	Acceptabilité en termes d'adéquation aux : <ul style="list-style-type: none"> - besoins ou objectifs de l'institution - attentes des apprenants - caractéristiques des apprenants Acceptabilité en termes de compatibilité avec : <ul style="list-style-type: none"> - l'organisation du temps - l'organisation des lieux Présence du matériel nécessaire Planification et suivis lisibles et cohérents Visibilité des résultats

Tableau 4. Quelques critères d'évaluation de l'utilité, de l'utilisabilité et de l'acceptabilité selon des approches empiriques ou par inspection (Tricot et al., 2003)

D'autres travaux enfin insistent sur l'importance de la formation, nécessaire à la transformation des schèmes et à la compréhension de l'utilité de l'outil. Je vais aborder ce point maintenant.

La formation des enseignants

La littérature montre que les programmes de formation des enseignants mis en œuvre à grande échelle n'ont le plus souvent pas d'effet détectable ni sur les pratiques des enseignants ni sur les performances des élèves (Fryer, 2017). J'ai participé à un tel projet d'évaluation de l'effet d'une formation, que je présente maintenant, et qui illustre bien ces limites.

Le projet FORMSCIENCES (ANR-13-APPR-0004-02) avait pour objectif la conception et la mise en œuvre d'un dispositif d'évaluation capable de mesurer l'impact des actions de formation professionnelle aux pratiques pédagogiques fondées sur la démarche d'investigation des enseignants, sur leurs pratiques des enseignants d'une part, et sur l'apprentissage des élèves d'autre part. Une littérature conséquente analyse cette démarche pédagogique au sein des enseignements scientifiques. La méta-analyse de Furtak et al. (2012) sur la démarche d'investigation, à partir de 37 études expérimentales ou quasi-expérimentales, montre que les objectifs d'apprentissage visés avec

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

la démarche d'investigation et les activités mises en œuvre dans ce cadre sont extrêmement divers. La démarche d'investigation comme moyen d'acquérir des connaissances scientifiques est peu représentée. Les résultats de la méta-analyse de Furtak et al. (2012) montrent que :

- Enseigner la démarche d'investigation a un effet positif sur l'apprentissage de la démarche d'investigation, particulièrement quand l'objectif est épistémique mais aussi quand les aspects sociaux et procéduraux sont mobilisés.
- Les effets obtenus sont plus importants pour les études où les enseignants conduisent l'activité, alors que quand les élèves conduisent ce type d'apprentissage en autonomie ce n'est pas forcément efficace. Ce résultat est confirmé par la méta-analyse de Lazonder et Harmsen (2016) : la démarche d'investigation est efficace comme moyen quand elle est guidée par l'enseignant.e
- Des travaux didactiques restent à conduire pour identifier la manière la plus efficace d'enseigner la démarche d'investigation.
- La démarche d'investigation ne semble pas particulièrement efficace quand l'objectif est d'apprendre des connaissances scientifiques factuelles.

Dans une autre synthèse de la littérature, Minner, Levy et Century (2010) montrent qu'introduire la démarche d'investigation en sciences produit un effet positif sur l'apprentissage de la démarche d'investigation : il est difficile de prouver quoi que ce soit d'autre. Comme moyen d'apprendre des connaissances en sciences, la démarche d'investigation, si elle est conçue comme une pratique non-guidée, n'a pas à ce jour apporté de preuve de son efficacité. Selon Kirschner, Sweller et Clark (2006) ce serait même l'inverse (voir aussi le rapport PISA 2015, page 40).

Or la démarche d'investigation est promue en France, notamment par la Fondation « La main à la pâte », qui souhaitait évaluer rigoureusement l'effet de ses actions de formation, et plus largement, la démarche d'investigation. Notre projet a donc évalué l'impact d'une formation de 80 heures à la démarche d'investigation déployé en grandeur réelle et dans des conditions écologiques (134 enseignants et leurs 2694 élèves ont participé à l'étude) par une expérimentation aléatoire contrôlée couplée avec une approche d'observation qualitative fine, ainsi que des questionnaires. Les observations concernaient les formations elles-mêmes et les pratiques en classes (avant et après la formation).

Impact de la formation sur les pratiques d'enseignement des sciences

Le chapitre de Galand, Tolmatcheff et Baudoin (ce volume) montre que seule une analyse précise de l'implantation permet de diagnostiquer (expliquer) et pas seulement constater l'effet (ou l'absence d'effet) d'une formation. C'est ce que nous avons commencé à faire dans cette recherche. Dans les questionnaires subjectifs, les enseignants ont été très satisfaits des formations et ont déclaré que cela avait modifié leurs pratiques. Pourtant, nos observations ont montré « un effet très limité du parcours de formation à la fois sur les apprentissages des élèves et sur les pratiques des enseignants » (Munier et al., 2021). Les analyses qualitatives des formations permettent de proposer des pistes d'explication de ces effets. Les formations que nous avons observées sont fondées sur des hypothèses qui nous semblent erronées :

- l'intervention de chercheurs en sciences dites « dures » (physique, biologie, etc.) suffit pour développer la vision des sciences des enseignants et l'influence de cette vision des sciences sur leurs pratiques ;
- les formations en termes de transmission de situations suffisent à modifier les pratiques, même quand elles ne prennent pas en compte des pratiques effectives des enseignants ;
- l'évolution des connaissances ou des pratiques des enseignants concernent les enseignants, et non pas les équipes ou établissements.

Plus généralement, cela pose la question de l'ingénierie de formation qui préside à l'organisation du parcours et du modèle de formation qui le sous-tend (Munier et al., 2021). Ici le modèle de formation implicite semble être celui d'une formation par homologie (Houdement & Kuzniak, 1996),

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

c'est-à-dire basée sur l'imitation, l'enseignant devant mettre en place en classe des situations inspirées de celles qu'il a pu vivre en formation, avec ajout de connaissances didactiques, spécifiques à la manière d'enseigner telle connaissance, et susceptibles d'avoir un effet sur les apprentissages disciplinaires des élèves « au fil de l'eau » : les connaissances didactiques spécifiques ne font pas l'objet de situations de formation visant leur appropriation. Bref, la formation n'était pas sous-tendue par un modèle de construction de ces connaissances didactiques spécifiques par les enseignants.

Impact sur les connaissances, les compétences, les attitudes envers la science des élèves

Nous avons élaboré et validé psychométriquement un test d'évaluation des connaissances en sciences, avec un questionnaire de 44 questions. Les cinq dimensions évaluées étaient : la maîtrise des procédures d'investigation ; la nature de la science ; les connaissances déclaratives en sciences ; le raisonnement à partir de documents scientifiques ; la motivation pour les sciences. Ces tests étaient passés en début et en fin d'année, pendant 3 ans, par les élèves des enseignants qui avaient bénéficié de la formation (groupe expérimental) et par les élèves des enseignants qui n'avaient bénéficié pas de la formation (groupe contrôle). Les groupes étaient établis par tirage aléatoire, parmi des enseignants volontaires pour bénéficier de la formation. Les professeurs du groupe contrôle bénéficiaient de la formation l'année suivante. Les résultats (Bellue, Bouguen, Gurgand, Munier & Tricot, soumis) ne montrent aucune différence entre le groupe expérimental et le groupe contrôle à part sur une dimension : les connaissances déclaratives en sciences. Un autre effet a été obtenu : les professeurs du groupe consacraient 13% de temps en plus à l'enseignement des sciences que les professeurs du groupe contrôle. Mais, la formation n'a eu aucun effet direct, ni indirect (via l'augmentation du temps consacré aux sciences) sur les procédures d'investigation, la nature de la science, le raisonnement scientifique, ni sur la motivation pour les sciences.

Le chapitre de Bressoux, Pansu et Thiboud (ce volume) illustre à quel point la conception et la mise en œuvre d'une formation d'enseignants doit réunir des conditions nombreuses et précises pour espérer être efficace.

La diffusion des connaissances

Il y a 25 ans, j'ai été recruté comme formateur d'enseignants alors que je n'avais jamais enseigné en contexte scolaire. J'ai découvert une culture professionnelle qui m'était étrangère. Comme dans chaque culture, il y avait des affirmations qui allaient de soi, tellement évidentes que personne ne les discutait. Ces affirmations étaient et sont aujourd'hui encore reprises par des formateurs-trices, des cadres, des journalistes, des enseignants, des élus, des chercheurs. Ces affirmations, ou « doxas » selon le réseau Reseida de l'université Paris 8, fonctionnent comme des dogmes. Il me semble que pour améliorer les pratiques d'enseignement on peut simplement évaluer la validité de ces « doxas », avec des recherches empiriques ou des synthèses de la littérature empirique. Pour avoir coordonné la rédaction des programmes des trois premières années de l'école primaire en France, je sais à quel point il est difficile de se débarrasser de ces « doxas » même quand elles ne sont fondées sur aucune recherche empirique. Il me semble que s'il est difficile de montrer qu'une pratique est tout le temps efficace, et plus difficile encore de diffuser efficacement cette pratique, on peut au moins diffuser des évaluations des pratiques, notamment quand ces pratiques sont inefficaces.

Lutter contre les idées reçues en éducation

Une des spécificités des chercheuses et des chercheurs est qu'elles et ils ont accès à une très importante littérature scientifique, et qu'ils savent rédiger des revues de la littérature. On peut ainsi confronter un dogme largement diffusé en éducation à un état (temporaire) des connaissances scientifiques

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), *La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence*. Presses Universitaires de Louvain.

Kirschner et van Merriënboer (2013) ont mis en œuvre cette confrontation. Ils abordent les fameux cas des « styles d'apprentissages » (certains élèves seraient auditifs, d'autres visuels, d'autres kinesthésiques), celui des *digital natives* (les élèves apprendraient différemment aujourd'hui car ils sont nés et ont grandi dans un monde numérique) ou celui qui considère que le numérique favoriserait l'autonomie des apprenants. A chaque fois, l'état des connaissances scientifiques contredit radicalement le mythe : les « styles d'apprentissage » (Coffield et al., 2004, en ont répertorié 71 déclinaisons !) ne sont étayés par aucun résultat empirique concluant (Pashler et al. 2008) ; les *digital natives* apprennent exactement de la même manière que les générations précédentes, même s'ils sont parfois persuadés du contraire ; le numérique ne facilite pas l'autonomie des apprenants, c'est plutôt l'inverse : l'autonomie est une compétence nécessaire à la conduite d'apprentissages autorégulés, souvent sollicités avec les outils numériques.

J'ai créé une collection d'ouvrages intitulée « mythes et réalités en éducation »² dont l'objectif est de diffuser vers les professionnels de l'éducation des synthèses de la littérature sur des questions d'éducation, à partir d'une critique documentée des « légendes urbaines ». Cette démarche est donc fondée sur l'idée que l'enseignement peut relever d'une certaine rationalité et à ce titre, subir ou bénéficier de l'effet de connaissances scientifiques, pour décider ensuite en conscience de faire ceci ou cela. En attendant que les connaissances scientifiques évoluent.

Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai présenté une approche ergonomique de la question de l'amélioration des pratiques des enseignants. Comme chaque situation d'enseignement est particulière, je ne pense pas que l'on puisse identifier des pratiques qui seraient toujours efficaces. En revanche on peut diffuser des connaissances, faciles à apprendre et à mettre en œuvre, ainsi que validées scientifiquement, pour que les enseignants puissent utiliser ces connaissances lorsqu'ils conçoivent une situation d'enseignement. Pour cela, nous disposons de plusieurs voies : l'ingénierie, l'évaluation, la formation et la diffusion des connaissances. Dans ce chapitre, je crois avoir montré qu'aucune de ces voies n'est pleinement probante, considérée toute seule. C'est peut-être en le considérant ensemble que ces voies sont porteuses d'amélioration.

Références

Amalberti, R. (2014). Entretien, dans : *Histoire(s) de l'ergonomie (2/7) – La conceptualisation : l'essor des concepts et méthodes en ergonomie*. Canal-U.

Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.

Bellue, S., Bouguen, A., Gurgand, M., Munier, V., & Tricot, A. (soumis). Teacher training programs, teacher practices and student performance in science: evidence from a randomized study in French primary schools.

Bressoux, P., & Lima, L. (2011). La place de l'évaluation dans les politiques éducatives : le cas de la taille des classes à l'école primaire en France. *Raisons éducatives*, 15, 99-123.

² Au sein de cette collection, plusieurs ouvrages sont parus et ont su trouver leur public : *L'apprentissage des langues*, par S. Roussel et D. Gaonac'h ; *L'apport des neurosciences en éducation*, par E. Sander, H. Gros, K. Gvozdic et C. Scheibling-Sève ; *L'intelligence*, par V. Tartas et C. Sorsana ; *L'effet de l'origine sociale des élèves*, par P. Rayou et coll. ; *Enseigner, ça s'apprend*, par le collectif « Didactique pour enseigner » ; *L'apprentissage par le jeu*, par M. Romero et E. Sanchez ; *L'échec scolaire*, par J. Ravestain, C. Ladage et C. Hache ; *Le harcèlement à l'école*, par B. Galand ; *La mémoire et l'apprentissage*, par D. Gaonac'h ; *Les cultures à l'école*, par V. Trémion et V. Lemoine-Bresson. Les prochains ouvrages à paraître concernent de beaux nids à mythes : *les enfants et les écrans*, *l'apprentissage à distance*, *l'école inclusive*, *l'apprentissage de l'écriture*. J'ai en outre rédigé deux volumes : *L'innovation pédagogique et Apprendre avec le numérique*, avec F. Amadieu.

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence. Presses Universitaires de Louvain.

S. Bryk, A. (2017). Accelerating how we learn to improve. *Education & didactique*, 11, 11-29.

Chevalier, A., & Cegarra, J. (2008). Une approche psychologique de la notion de contrainte en résolution de problèmes. *Le Travail Humain*, 71, 173-198.

Chi, M. T., & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational psychologist*, 49, 219-243.

Coffield, F., Moseley, D., Hall, E., & Ecclestone, K. (2004). *Learning styles and pedagogy in post-16 learning: A systematic and critical review*. Learning and Skills Research Centre.

Dessus, P. (2006). Quelles idées sur l'enseignement nous révèlent les modèles d'Instructional Design?. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 28, 137-157.

Donovan, J. J., & Radosevich, D. J. (1999). A meta-analytic review of the distribution of practice effect: Now you see it, now you don't. *Journal of Applied Psychology*, 84, 795-805.

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2015). *Learning as a generative activity*. Cambridge University Press.

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (Eds.), (2022). *Multimedia learning* (3rd ed). Cambridge University Press.

Fryer, R. G. (2017). The production of human capital in developed countries: Evidence from 196 randomized field experiments. In A. V. Banerjee & E. Duflo (Eds.), *Handbook of economic field experiments* (Vol. 2, pp. 95-322). North-Holland.

Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: A meta-analysis. *Review of educational research*, 82, 300-329.

Gagne, R. M., & Briggs, L. J. (1974). *Principles of instructional design*. Holt, Rinehart & Winston.

Ginns, P. (2005). Meta-analysis of the modality effect. *Learning & Instruction*, 15, 313-331.

Goigoux, R., Renaud, J., & Roux-Baron, I. (2021). Comment influencer positivement les pratiques pédagogiques de professeurs expérimentés?. In B. Galand & M. Janosz (Eds.), *Améliorer les pratiques en éducation : qu'en dit la recherche?* (pp. 67-76). Presses universitaires de Louvain.

Granić, A., & Marangunić, N. (2019). Technology acceptance model in educational context: A systematic literature review. *British Journal of Educational Technology*, 50, 2572-2593.

Houdement, C., & Kuzniak, A. (1996). Autour des stratégies utilisées pour former les maîtres du premier degré en mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 16, 289-322.

Kirschner, P. A., & van Merriënboer, J. J. (2013). Do learners really know best? Urban legends in education. *Educational psychologist*, 48, 169-183.

Kirschner, P., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational psychologist*, 41, 75-86.

Lim, J., Ko, H., Yang, J. W., Kim, S., Lee, S., Chun, M. S., ... & Park, J. (2019). Active learning through discussion: ICAP framework for education in health professions. *BMC medical education*, 19, 1-8.

Mayer, R. E. (2021). Evidence-based principles for how to design effective instructional videos. *Journal of applied research in memory and cognition*, 10, 229-240.

McDaniel, M. A., Roediger, H. L., & McDermott, K. B. (2007). Generalizing test-enhanced learning from the laboratory to the classroom. *Psychonomic bulletin & review*, 14, 200-206.

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.

A paraître dans T. Coppe, A. Baye & B. Galand (Eds.), *La recherche et l'amélioration des pratiques en éducation : vers un cadre de référence*. Presses Universitaires de Louvain.

Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of research in science teaching*, 47, 474-496.

Munier, V., Bächtold, M., Cross, D., Chesnais, A., Lepareur, C., Molvinger, K., Gurgand, M. & Tricot, A. (2021). Étude didactique de l'impact d'un dispositif de formation continue à un enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Impact sur les élèves / impact sur les enseignants. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 23, 109-136.

Musial, M., & Tricot, A. (2020). *Précis d'ingénierie pédagogique*. De Boeck Supérieur.

Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2008). Learning styles: Concepts and evidence. *Psychological science in the public interest*, 9, 105-119.

PISA (2015). PISA 2015 – Volume II Politiques et pratiques pour des établissements performants. OCDE.

Puma, S., & Tricot, A. (2021). Prendre en compte la mémoire de travail lors de la conception de situations d'apprentissage scolaire. *Analyse neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 171, 217-225

Renaud, J. (2020). Processus de conception d'un outil didactique d'enseignement de la lecture documentaire numérique au cycle 3. Thèse, Université Clermont Auvergne.

Richter, J., Scheiter, K., & Eitel, A. (2016). Signaling text-picture relations in multimedia learning: A comprehensive meta-analysis. *Educational research review*, 17, 19-36.

Roscoe, R., Gutierrez, P. J., Wylie, R., & Chi, M. (2014). Evaluating lesson design and implementation within the ICAP framework. *Proceedings of international conference of the learning sciences, ICLS*, 2(January), 972-976.

Rowland, C. A. (2014). The effect of testing versus restudy on retention: a meta-analytic review of the testing effect. *Psychological bulletin*, 140, 1432-1463.

Schroeder, N. L., & Cenkci, A. T. (2018). Spatial contiguity and spatial split-attention effects in multimedia learning environments: A meta-analysis. *Educational psychology review*, 30, 679-701.

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer.

Tricot, A. (2017). La connaissance et la solution. *Éducation & didactique*, 11-2, 57-61.

Tricot, A. (2021). Articuler connaissances en psychologie cognitive et ingénierie pédagogique. *Raisons éducatives*, 25, 141-162.

Tricot, A., & Chesné, J.-F. (2020). Numérique et apprentissages scolaires: rapport de synthèse. Cnesco.

Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In C. Desmoulins, P. Marquet & D. Bouhineau (Eds). *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (pp. 391-402). ATIEF / INRP.

van Merriënboer, J. J., & Kirschner, P. A. (2017). *Ten steps to complex learning: A systematic approach to four-component instructional design*. Routledge.