Utilisation de dispositifs de robotique pédagogique en classe : un regard sur l'activité des élèves.

Jean-François Hérold

▶ **To cite this version:**

Jean-François Hérold. Utilisation de dispositifs de robotique pédagogique en classe : un regard sur l'activité des élèves.. 1° Journées ExAO, May 2015, Rabat, Maroc. hal-01774053

HAL Id: hal-01774053
https://hal.science/hal-01774053

Submitted on 23 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Utilisation de dispositifs de robotique pédagogique en classe : un regard sur l'activité des élèves.

Jean-François HÉROLD

Université d'Aix-Marseille, ADEF EA 4671 Gestepro, ENS Lyon
32, rue Eugène Cas, 13248 Marseille Cedex 4
jean-françois.herold@univ-amu.fr

Résumé :

Très souvent, le recours à un dispositif de robotique pédagogique dans une situation d'enseignement-apprentissage dans les classes de technologie et de sections professionnelles amène les élèves à devoir réaliser au moins deux tâches : la tâche d'apprentissage, porteuse des savoirs et savoir-faire visés par la situation d'enseignement-apprentissage et la tâche d'utilisation, de mise en œuvre du dispositif de robotique pédagogique. Le coût cognitif engendré par la réalisation de ces deux tâches peut, pour certains élèves, s'avérer être élevé et dépasser leurs capacités cognitives, ce qui peut les conduire à ne pas pouvoir réaliser la tâche prescrite. Il est alors nécessaire d'analyser la tâche prescrite en termes de connaissances que l'élève devra mobiliser pour réaliser la tâche en prenant en compte, non seulement, les connaissances relatives au savoirs et savoir-faire visés par la situation d'apprentissage, mais également, les connaissances relatives à la mise en œuvre du dispositif de robotique pédagogique. Les résultats de trois études sont présentés afin d'apporter des éléments de réflexion sur l'utilisation de dispositifs de robotique pédagogique en classe pour l'apprentissage de la technologie, que cela soit au collège, au lycée ou dans l'enseignement supérieur.

Introduction

En France, l'enseignement de la technologie, que cela soit au collège (élèves âgés de 11 à 15 ans) ou au lycée (élèves âgés de 15 à 18 ans), s'inscrit dans une démarche où l'activité de travaux pratiques et l'activité de projet sont deux activités fortement préconisées. Dans ces activités, l'élève est amené à être confronté à des objets techniques, voire à des systèmes techniques, proches du monde réel et des réalités industrielles ; systèmes techniques pouvant être réels ou virtuels, didactisés ou non, correspondre à une maquette ou à une simulation informatisée. Les modalités d'accès aux connaissances sont ainsi plus concrètes et peuvent s'appuyer sur des activités d'apprentissage qui prendront plus facilement du sens pour l'élève. Les activités proposées aux élèves offrent des possibilités d'individualisation du rythme d'apprentissage des élèves et leur donnent un plus grand pouvoir d'action sur leur propre apprentissage (Leroux, 2005), tout en facilitant leur engagement dans une réflexion technico-pratique qui repose sur l'intégration de savoirs et de savoir-faire, scientifiques et technologiques (Nonnon, 2002). L'identification de ces savoirs et savoir-faire se fait à partir des prescriptions institutionnelles (programmes et référentiels), et constitue la première étape de la conception d'une séquence d'enseignement. Ensuite, l'enseignant structure les contenus, élabore les documents d'accompagnement pour la mise en œuvre d'un guidage approprié et conçoit les différentes tâches d'enseignement-apprentissage (Bellec & Tricot, 2013). L'organisation de la séquence d'enseignement, sa mise en œuvre par l'enseignant (nature de l'activité, choix du support, formes et types de documents …) induisent alors la façon dont l'élève va s'accomplir des tâches prescrites, la nature des difficultés qu'il va rencontrer et ainsi conditionner le fait qu'il y ait apprentissage ou pas (Ginestié & Tricot, 2013).
Ainsi, si l'utilisation des outils informatiques et didactiques issus de la robotique pédagogique au sein du processus enseignement-apprentissage a pour but d'aider, de soutenir l'apprenant dans son apprentissage (Nonnon, 2002), leur mise en œuvre nécessite de bien comprendre la tâche prescrite en termes de savoirs et savoir-faire, qu'ils soient explicites en termes de savoirs et savoir-faire visés et issus des prescriptions institutionnelles, ou implicites car imposées par la nature de la tâche prescrite dont la mise en œuvre repose sur un dispositif de robotique pédagogique. Il est donc nécessaire et indispensable d'identifier précisément ce qui peut relever de difficultés inhérentes à la situation d'enseignement-apprentissage proposée à l'élève et ce qui peut relever d'obstacles à l'apprentissage notamment lorsque l'élève doit abandonner une connaissance familière (Boder, 1992) pour en construire une nouvelle, plus appropriée à la situation proposée avec un dispositif de robotique pédagogique, afin de pouvoir réaliser la tâche prescrite et résoudre le problème proposé (Ginestié & Tricot, 2013).

De la nécessité de comprendre le fonctionnement d'un élève en situation d'enseignement-apprentissage …

Différentes synthèses de travaux en psychologie des apprentissages fournissent des éléments sur la compréhension des démarches d'apprentissage des élèves et sur la manière de construire des situations d'enseignement-apprentissage. Par exemple, Schneider & Stern (2010) en propose une avec dix constats : c'est l'apprenant qui apprend et les situations d'enseignement-apprentissage, élaborées par les enseignants, sont simplement des moyens pour les engager dans les processus d'apprentissage ; un apprentissage optimal se construit à partir des connaissances antérieures de l'élève, et pour construire de nouvelles connaissances, le système cognitif cherche à les mettre en lien avec des connaissances déjà acquises ; l'apprentissage est un processus d'intégration, c'est-à-dire que les nouvelles connaissances s'associent aux structures de connaissances antérieures, ce qui peut faciliter l'apprentissage ou

l'empêcher si la connaissance antérieure n'est pas appropriée à la nouvelle situation d'apprentissage ; l'apprentissage optimal est l'acquisition équilibrée de concepts, d'habiletés et d'une compétence métacognitive ; l'apprentissage optimal développe des structures complexes de connaissances en structures hiérarchiques d'éléments de connaissances simples ; l'apprentissage s'appuie sur les éléments d'informations du monde extérieur afin de structurer les connaissances en mémoire ; l'apprentissage est tributaire des limites du système cognitif en terme de capacité de traitement de l'information ; l'apprentissage résulte de l'interaction dynamique des émotions, de la motivation et de la cognition ; l'apprentissage optimal élabore des structures de connaissances transférables ; l'apprentissage demande du temps et des efforts.

En résumé, pour être efficace, une situation d'enseignement-apprentissage doit donc être motivante pour que l'élève accepte de s'engager dans les tâches prescrites et fassent les efforts nécessaires à l'apprentissage des connaissances visées par ces tâches ; elle doit prendre en compte les acquis des élèves en termes de connaissances antérieures qui peuvent être plus ou moins familières, de nature implicite ou explicite ; et enfin, la situation d'enseignement-apprentissage doit être compatible avec les possibilités de traitement et de mémorisation du système cognitif de l'élève à cet instant.

Ce dernier point peut être argumenté à partir des propositions issues de la théorie de la charge cognitive proposée par Sweller.

La théorie de la charge cognitive de Sweller est une théorie psychologique qui prend en compte les phénomènes de surcharge cognitive dans les activités d'apprentissage. Le point de départ des travaux de Sweller est de poser la question quels sont les éléments d'une situation d'apprentissage qui permettent à l'élève d'apprendre ou quels sont les éléments qui font que l'élève n'apprend pas (Sweller, 1988 ; Tricot, 1998). A travers cette démarche, Sweller cherche à identifier les éléments de surcoût cognitif dans les activités d'apprentissage, notamment ce qui concerne les supports d'apprentissage. Dans son modèle, il distingue trois formes de charge cognitive (Sweller, 2010) : la charge intrinsèque, qui est la charge cognitive liée aux ressources cognitives mobilisées par la complexité du contenu d'apprentissage (traitement et réalisation de la tâche prescrite); la charge pertinente, qui est la charge cognitive liée aux caractéristiques de la connaissance à apprendre, à la construction de connaissances relatives à un savoir (moins le sujet à de connaissances en mémoire relatives au savoir visé par la situation d'enseignement, plus la charge pertinente est importante); la charge extrinsèque ou inutile, qui est la charge cognitive imposée par les activités qui ne contribuent pas directement aux apprentissages et/ou qui est imposée par le support, l'outil de mise en œuvre de la situation d'enseignement (traitement de toutes les informations qui ne correspondent pas directement à l'apprentissage du savoir visé). De ce fait, pour faciliter l'apprentissage, il faut limiter au maximum la charge extrinsèque (organisation et adaptation de l'information à traiter par l'apprenant, fournir des aides et des instructions adaptées) et limiter la charge intrinsèque en analysant la tâche prescrite afin de déterminer la quantité d'éléments à traiter et leurs niveaux d'interaction pour la réalisation de la tâche (van Merrienboer & Sweller, 2005 ; Tanguy, 2011 ; Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011 ; Bellec & Tricot, 2013).

Si la conception de situations d'enseignement amène à définir les tâches qui seront prescrites aux élèves en fonction des savoirs et savoir-faire visés et relevant des prescriptions officielles, il est également nécessaire d'effectuer une analyse précise de ces tâches afin de bien identifier les savoirs et savoir-faire véritablement en jeu, qu'ils soient clairement explicités, ou qu'ils apparaissent de façon implicite, pour pouvoir mettre en évidence les connaissances que l'élève devra utiliser, ou sera amené à utiliser, dans son activité de réalisation de ces tâches (Ginestié & Tricot, 2013).

Quelques éléments de réflexion sur des exemples de situations d'enseignement mises en œuvre avec une approche robotique pédagogique

L'identification des connaissances nécessaires à l'élève pour mettre en œuvre son activité de réalisation de tâches prescrites dans une situation d'enseignement s'appuyant sur des supports pédagogiques relevant, par exemple, de la robotique pédagogique, nécessite de considérer le fait que, très souvent, cette activité impose à l'élève une double tâche : la tâche prescrite, enjeu des savoirs et savoir-faire à transmettre aux élèves, et une tâche de mise en œuvre du dispositif qui sert de support à la situation d'enseignement. Pour cette tâche de mise en œuvre du dispositif, les savoirs et savoir-faire associés ne sont pas toujours clairement identifiés par l'enseignant, car souvent considérés comme implicites. Or, souvent, le traitement de cette tâche de mise en œuvre est mal effectué par l'élève en activité, soit parce qu'il ne dispose pas des connaissances nécessaires, soit parce que la réalisation de ces deux tâches amène son système cognitif en surcharge cognitive. Alors, l'élève ne parvient pas à faire la tâche prescrite dans sa globalité, non pas qu'il ne possède pas les connaissances en mémoire relatives aux savoirs et savoir-faire visés par la tâche prescrite, mais parce que, très souvent, ses ressources cognitives sont absorbées par la réalisation de la tâche de mise en œuvre du dispositif, mise en œuvre qui accapare toute son attention au détriment de ce qu'il a à faire.
Pour illustrer ce point de vue, nous présentons, ci-après, les résultats de trois études dont les deux premières font partie d'un travail plus global de recherche pour lequel une analyse de l'activité d'élèves de Section de Techniciens Supérieurs en Informatique Industrielle a été effectuée, les élèves étant en démarche de projet : cette analyse s'est appuyée sur l'observation indirecte des élèves, une analyse de leurs protocoles individuels lorsqu'ils sont en phase de résolution de problème, le recueil d'une partie de leurs verbalisations (Hérold & Ginestié, 2011) ; la troisième étude est issue de travaux réalisés en collaboration avec des étudiants de Master deuxième année dans le cadre de leur mémoire professionnel, travaux portant sur l'utilisation de logiciels à caractère professionnel en classe, dans des sections professionnelles ou en enseignement de la technologie au collège.

Ordinateur contrôlant un objet périphérique : le pilotage d'une station météorologique

Nous présentons ici quelques résultats concernant l'activité d'élèves impliqués dans la mise en œuvre du pilotage d'une station météorologique à partir d'un ordinateur de type PC.
Dans le cadre de ce travail de projet, les élèves devaient recueillir les données fournies par une station météorologique via une interface de communication et élaborer une prévision météorologique à court terme en s'appuyant sur les données, issues d'autres stations, et disponibles à partir de sites web. La tâche prescrite impliquait ainsi la mise en œuvre de savoirs et savoir-faire techniques, en relation avec leur formation de techniciens supérieurs, mais également des savoirs relatifs au métier traité par l'application, c'est-à-dire des savoirs relatifs à la prévision météorologique.
Par exemple, à un moment donné, les élèves ont été confrontés à élaborer une prévision de l'évolution de la pression atmosphérique.
De par la charge cognitive importante imposée par cette tâche qui comprend en fait deux sous-tâches, la sous-tâche, plus technique et relativement complexe, de conception de la partie logicielle du traitement des informations, et la sous-tâche relative à l'élaboration d'une prévision météorologique, les élèves, dans la mise en œuvre de cette sous-tâche, ont fait appel à une connaissance familière, en faisant une moyenne des différentes valeurs de pression atmosphérique issues des différentes sites web, ce qui ne correspondait, évidemment, pas du

tout aux éléments de modèle théorique proposés par les élèves eux-mêmes pour établir une prévision sur la pression atmosphérique en un lieu donné.
Ainsi, confrontés en fait à gérer simultanément deux tâches en une, les élèves, afin de pouvoir produire leur réponse, ont utilisé une connaissance plus familière (faire une moyenne des valeurs qui correspondent à la même grandeur physique, ici la pression atmosphérique) ce qui a permis à leur système cognitif de libérer des ressources mentales par diminution de charge cognitive intrinsèque en faisant appel à cette connaissance familière. Cette connaissance familière est bien plus facilement accessible en mémoire que les éléments de connaissances relatifs au modèle de prévision élaboré par les élèves lors de travaux antérieurs, mais éléments de connaissances bien moins maîtrisés car ne relevant pas de champs de savoirs relatifs à leur spécialité : la prévision météorologique ne fait pas partie de leur futur métier.

Apprentissage à l'aide d'un système didactisé : utilisation d'un instrument de mesure complexe

Ici, une des tâches prescrites aux élèves consistait en une mise en œuvre du pilotage par ordinateur de type PC d'un oscilloscope numérique via une interface d'instrumentation sur le bus IEEE-488 (Hérold & Ginestié, 2011).
Cette tâche s'inscrit dans une démarche de projet qui avait comme support un banc didactisé de mesure des caractéristiques d'un moteur à courant continu. Deux élèves étaient concernés par le projet qui comportait, entre autres, des tâches de mise en œuvre d'IHM, de gestion d'une base de données, d'édition d'une fiche des caractéristiques du moteur.
La situation observée et analysée correspond à la phase de recherche d'informations dans la documentation de l'oscilloscope numérique, recherche d'informations effectuée par un des deux élèves.
Pour réaliser cette tâche, l'élève disposait du manuel de programmation de l'oscilloscope numérique. Outre le fait que ce manuel soit écrit en langue anglaise, la syntaxe des commandes à générer pour pouvoir commander une fonction de l'oscilloscope est relativement complexe à comprendre (commandes par envois de chaînes de caractères). Les mots-clés à utiliser sont peu explicites, les exemples proposés en illustration sont relativement confus. La tâche prescrite est donc difficile pour l'élève.
Ainsi, l'analyse de son activité montre qu'il est rapidement incapable de planifier la mise en œuvre de la tâche. Il a beaucoup de difficultés à extraire de la documentation-constructeur les informations pertinentes. La charge cognitive extrinsèque imposée par la documentation l'amène rapidement dans une impasse (alors que l'élève est parfaitement capable d'utiliser l'oscilloscope avec les commandes frontales pour faire la mesure visée par la tâche prescrite).
L'observation montre alors que l'élève va réaliser une activité par « défaut » afin de pouvoir produire quelque chose plutôt que de rester inactif, cette activité étant de recopier une partie de la documentation, mais activité inutile du point de vue de la tâche à réaliser.
Son enseignant a donc été amené à intervenir pour le guider dans sa lecture de la documentation et lui fournir l'aide nécessaire à la réalisation de la tâche, avec le risque, dans ce cas typique de situations, que cela soit finalement l'enseignant qui réalise la tâche et non l'élève (Ginestié, 2005).

Utilisations d'outils logiciels en classe

Pour cette étude (Hérold, 2014), des observations indirectes de l'activité des élèves ont été effectuées. Les données d'observation recueillies concernaient essentiellement la

compréhension par les élèves de la tâche prescrite (entrée rapide ou non dans l'activité, réussite ou non de la tâche prescrite, identification des difficultés rencontrées …), leur engagement dans l'activité pour réaliser la tâche prescrite (identification des instants d'abandon, des phases d'essais-erreurs, de recommencements …) et leurs habiletés à identifier les informations nécessaires à la réalisation de la tâche prescrite.

Un premier exemple d'analyse d'une utilisation d'outil logiciel en classe portait sur l'utilisation du logiciel Solidworks en cours de technologie au collège. Solidworks est un logiciel de conception 3D de pièces mécaniques qui permet également les opérations de simulation. Les élèves (élèves de collège, âgés de 13-14 ans) devaient réaliser une pièce simple. L'activité était fortement guidée par l'enseignant et correspondait à un exercice de prise en main du logiciel, logiciel qui était nouveau pour les élèves. Très rapidement, malgré les explications de leur enseignant, une majorité d'élèves s'est retrouvée en difficulté, voire pour certains élèves en très grande difficulté, et donc dans l'incapacité de réaliser la tâche prescrite. Ici, c'est la charge cognitive extrinsèque imposée par l'interface homme-machine du logiciel qui a posé problème. En effet, l'interface propose de nombreux icônes à cliquer, porteurs des nombreuses fonctionnalités proposées par le logiciel. Apprendre à connaître l'interface demande donc du temps et des efforts de la part des élèves. En proposant à l'enseignant de limiter les icônes affichés à seulement ceux qui étaient nécessaires à l'opération à effectuer à un instant donné, et en introduisant par la suite les icônes au fur et à mesure des besoins, cela a permis à faire en sorte que tous les élèves sont alors parvenus à réaliser la tâche prescrite (principe de l'effet du guidage progressif sur la charge cognitive, voir Renkl et al. (2000, 2002) par exemple).

Le deuxième exemple d'analyse correspond à l'utilisation en classe d'un logiciel de dimensionnement de pièces pour systèmes de réfrigération. L'analyse de l'activité a concerné 12 élèves de section professionnelle (élèves âgés de 16-17 ans). La tâche prescrite consistait à dimensionner le compresseur d'une chambre froide en fonction des caractéristiques de cette dernière, et à effectuer le choix des pièces nécessaires et correspondantes à la nature de l'installation. Pour cela, deux groupes ont été constitués : un groupe a travaillé avec le catalogue constructeur en version papier, l'autre groupe avec le logiciel de dimensionnement de pièces, proposé par le même constructeur. Les résultats montrent que les élèves qui ont travaillé avec le catalogue version papier ont peu réussi dans la tâche prescrite : erreurs de calcul dans le dimensionnement, nombreux mauvais choix dans les pièces et plusieurs pièces manquantes. Par contre, les élèves qui ont travaillé avec le logiciel de dimensionnement ont tous réussi à faire le travail demandé (une seule erreur détectée pour un élève qui, globalement dans son activité, manquait grandement d'attention). Dans cet exemple, ce sont les élèves avec le catalogue version papier qui ont été soumis à une forte charge cognitive extrinsèque : ils devaient dimensionner eux-mêmes le compresseur en faisant les calculs, parcourir le catalogue pour trouver un compresseur dont les caractéristiques correspondaient, définir le plan du système avec toutes les pièces, choisir les pièces correspondantes. Parcourir le catalogue est une tâche difficile pour les élèves, car l'organisation des informations dans un catalogue s'appuie sur une organisation thématique qui est donc non fonctionnelle. Par contre, le logiciel de dimensionnement proposé par le constructeur a guidé les élèves dans leur activité : les calculs étaient pris en charge par le logiciel (diminution de la charge cognitive intrinsèque), les pièces à utiliser pour la mise en œuvre du système étaient proposées automatiquement une fois le choix du compresseur effectué : les élèves n'avaient donc pas à parcourir de catalogue (faible charge cognitive extrinsèque) et leurs choix étaient validés par le logiciel, donc pas ou peu de risque d'erreur (bonne interaction entre motivation et cognition). De ce fait, la charge cognitive imposée par la tâche prescrite a été dans ce cas relativement faible ce qui a permis aux élèves d'utiliser leurs ressources cognitives quasiment à la seule activité de mise en œuvre de la tâche.

Conclusion

Définir une situation d'enseignement-apprentissage suppose de définir les tâches qui seront prescrites aux élèves (Ginestié & Tricot, 2013). Dans une situation d'enseignement-apprentissage avec un environnement de type robotique pédagogique, bien souvent, l'élève se retrouve confronté à devoir réaliser au moins deux tâches : la tâche prescrite, dont l'objet est l'apprentissage de savoirs et savoir-faire visés par la situation d'enseignement-apprentissage et une tâche de mise en œuvre, d'utilisation du dispositif de robotique pédagogique. L'activité d'apprentissage des élèves portera alors sur ces deux tâches. Or, souvent, la tâche de d'utilisation du dispositif de robotique pédagogique est rarement analysée par l'enseignant comme tâche d'apprentissage. Aussi, pour que l'apprentissage puisse se faire, il faut, notamment, prendre en compte les limites du système cognitif des apprenants et identifier la ou les connaissances qui favoriseront, ou feront obstacle, à l'apprentissage du savoir visé par la situation d'enseignement-apprentissage (Schneider & Stern, 2010). L'analyse de l'activité des élèves en classe permet alors de comprendre comment les élèves utilisent leurs connaissances, que cela soit pour réaliser la tâche prescrite ou pour réaliser la tâche d'utilisation du dispositif de robotique pédagogique dans le cas où la situation d'enseignement-apprentissage s'appuie sur un tel dispositif, dispositif souvent vecteur de motivation pour les élèves car contribuant à leur engagement cognitif dans la réalisation des tâches prescrites (Nonnon, 2002).

Bibliographie

Bellec, D. & Tricot, A. (2013). Étude des systèmes techniques en enseignement secondaire : apports de la théorie de la charge cognitive. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies, 8*, 47-64.

Boder, A. (1992). Le schème familier, unité cognitive procédurale privilégiée. In B. Inhelder & G. Cellérier (Eds.), *Le cheminement des découvertes de l'enfant* (pp. 217-302). Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.

Ginestié, J. & Tricot, A. (2013). Activité d'élèves, activité d'enseignants en éducation scientifique et technologique. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies, 8*, 9-22.

Ginestié, J. (2005). Résolution de problèmes en éducation technologique. *Education Technologique*, 10, 41-48. CRDP de l'académie de Versailles. Editions Delagrave.

Hérold, J.F. (2014). Learning with an IT tool: analysis of students' activity. In ACM (Ed.), *Proceedings of the XV International Conference on Human Computer Interaction, Tenerife, Spain, September 10-12* (pp. 302-324). ISBN: 978-1-4503-2880-7/14/09.

Hérold, J.F., & Ginestié, J. (2011). Help with solving technological problems in project activities. *International Journal of Technology and Design Education*, *21*, 55-70.

Leroux, P. (2005). Réalisation de micro-robots au collège. Mise au point d'une démarche pédagogique et d'un environnement informatique support des activités. *Aster, 41,* 49-77.

van Merrienboer, J. G. V., & Sweller, J., (2005). Cognitive load theory and complex learning: recent developments and future direction. *Educational Psychology Review, 17*(2), 147-177.

Nonnon, P. (2002). Robotique pédagogique et formation de base en science et technologie. *Aster, 34,* 33-49.

Renkl, A. (2002). Worked-out examples: instructional explanations support learning by self-explanations. *Learning and Instruction, 12*, 529-556.

Renkl, A., Atkinson, R., & Maier, U. H. (2000). From studying examples to solving problems: fading worked-out solution steps helps learning. In L. Gleitman & A. Joshi (Eds.), *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 393-398). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Schneider, M., & Stern, E. (2010). The cognitive perspective on learning: Ten cornerstone findings. In Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) (Ed.), *The nature of learning: Using research to inspire practice* (pp. 69-90). Paris: OECD.

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

Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review, 22*, 123-138.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, *12*(2), 257–285.

Tanguy, F. (2011). Effets du guidage sur l'apprentissage de connaissances primaires et de connaissances secondaires. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux 2.

Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Éducation, 3*, 37-64.