

---

## **Un outil informatisé d'aide à l'apprentissage : validation d'une méthodologie et conception**

**Congrès international AREF 2007 (Actualité de la Recherche en Education et en Formation)**

**Jean-François Hérold\***

*\*UMR-ADEF  
Université de Provence  
29, avenue Robert Schuman  
F-13100 Aix-en-Provence  
[jf.herold@free.fr](mailto:jf.herold@free.fr)*

---

*RÉSUMÉ : Un système informatisé d'aide à l'apprentissage a pour objectif de favoriser l'acquisition de connaissances. Cela ne sera vraiment possible qu'en fournissant une aide à l'apprentissage qui soit réellement adaptée à l'apprenant. Pour la réalisation d'un tel système, plusieurs composantes sont à prendre en compte comme la connaissance à faire acquérir, l'apprenant, l'environnement..., l'ensemble de ces composantes étant en interaction et constituant la situation d'apprentissage. Il devient donc nécessaire de caractériser précisément ces différentes composantes et leurs interactions. Nous faisons la proposition d'une méthodologie de conception d'un outil informatisé d'aide à l'apprentissage fondée sur cette stratégie. Nous décrivons la structure de l'outil réalisé et nous présentons quelques résultats expérimentaux.*

*MOTS-CLÉS : système informatisé d'aide à l'apprentissage, connaissances, apprenant, situation d'apprentissage*

---

## 1. Introduction

On peut faire le constat, aujourd'hui, d'un savoir scolaire qui s'est fortement désolidarisé du savoir des élèves, ces derniers étant assaillis dans notre société par de nombreuses et diverses sources de savoirs, mais de nature totalement différente du savoir scolaire. Pour les élèves, ce qu'ils apprennent à l'école n'est pas ce qu'ils voient dans la société (Paper, 2003). Le Collège étant chargé d'accueillir tous les élèves sans possibilité officielle de sélection a donc été confronté à l'arrivée massive d'enfants qui ne se comportent plus spontanément comme des élèves. Il est donc nécessaire, au Collège, de transformer en élèves les enfants scolarisés (Rayou, Van Zanten, 2004), et d'apporter les aides à cette transformation. Or, on ne saurait vraiment aider les élèves sans une bonne compréhension des fondamentaux de leur démarche d'apprentissage (Bastien, 2004).

Comprendre l'activité « apprendre », et plus particulièrement comment on apprend à l'école en adoptant un point de vue de psychologie cognitive à l'analyse du travail de l'élève a donc constitué la ligne directrice de notre travail de recherche.

Nous avons ensuite validé notre approche par la conception d'un outil informatisé d'aide à l'apprentissage des nombres relatifs, cours de mathématiques en classe de cinquième de Collège. Car en effet, le recours à l'ordinateur dans une démarche d'apprentissage présente le double avantage de fournir un « feed-back » immédiat à l'apprenant et surtout lui permet de répondre au problème demandé et non à ce qu'il pense qu'on attend de lui.

## 2. Cadre théorique élaboré pour une compréhension de l'apprentissage

L'élaboration du cadre théorique, support de notre démarche, a été réalisée à partir de différentes approches théoriques de la psychologie cognitive : le constructivisme psychologique (Cellérier, 1992), les théories de la cognition située (Brown, Collins, Duguid, 1989), la théorie de la charge cognitive (Sweller et al., 1998) (Sweller, Van Merreinboer, 2005)..., approches à partir desquelles on peut mettre en évidence un certain nombre de points essentiels :

- L'apprentissage est un processus de construction, d'intégration à une structure de pensée. Ainsi, il ne sera pas possible d'acquérir une nouvelle connaissance sans avoir au préalable activé une connaissance antérieure qui permet un minimum de compréhension de ce dont il s'agit. Toute nouvelle connaissance prend donc nécessairement appui sur une connaissance antérieure de même nature qui permet de donner du « sens » à une situation.
- L'apprentissage est contextualisé et l'utilisation d'une connaissance abstraite et parfaitement décontextualisée pouvant s'appliquer à de nombreuses situations est plutôt l'exception que la règle chez l'individu (Tricot, 1995). Ainsi, l'accès à une connaissance en mémoire ne pourra se faire qu'à travers une tâche à résoudre, tâche qui, avec le contexte qui lui est associé, permettra de situer le système cognitif dans l'espace des schèmes du sujet (Bastien, 1997).

- Toute tâche d'apprentissage génère une « charge cognitive » qui va, éventuellement gêner l'apprentissage : il est donc nécessaire d'identifier clairement ce qui peut engendrer de la charge cognitive lors de l'élaboration d'une tâche d'apprentissage (cela pourra être une disparité de sources d'informations à traiter par l'apprenant, la nécessité de devoir intégrer des sources d'informations redondantes, le fait de résoudre un problème sans avoir au préalable traité un exemple résolu...).
- L'apprentissage ne peut se départir de l'affect : l'enseignant doit créer des situations qui forcent les confrontations (Giordan, 1998), permettent à l'élève d'être actif dans son processus d'apprentissage afin de maintenir un niveau de motivation et d'estime de soi suffisant. Il doit aussi tenir compte de la « compétence sociale » développée par l'élève (Huguet, 2004), de sa « culture ».
- L'apprentissage est un processus d'interaction dans lequel l'apprenant est non seulement acteur de son apprentissage mais également « auteur » de ce qu'il apprend (Giordan, 1998).

Si l'apprentissage est un processus d'interaction, cette interaction implique de nombreux paramètres : l'apprenant et l'état de ses connaissances, l'enseignant, la connaissance à faire acquérir à l'élève, le ou les outils mis en œuvre par l'enseignant pour la transmission de cette connaissance, l'environnement. Ces différents paramètres en interaction définissent une *situation* d'apprentissage et il est donc nécessaire de pouvoir caractériser ces paramètres. Ainsi, par exemple, si l'outil mis en œuvre par l'enseignant est un outil informatique, il sera nécessaire de caractériser l'interaction élève-ordinateur par une analyse didactique afin de déterminer si le projet d'insertion de l'ordinateur répond correctement aux besoins de l'apprentissage visé (Lagrange, 2000) (Balacheff, 2002), analyse qui devra privilégier une approche cognitive (Lagrange, 2000). Certaines interactions, comme l'interaction élève-enseignant, seront plus difficiles à caractériser. En effet, pour celle-ci, trop de variables et d'impondérables entrent en jeu dans une situation d'apprentissage pour que ce qui réussit à un élève convienne à un autre; ainsi l'idée que l'on peut trouver à coup sûr une solution pédagogique simple, définitive, complète et valable pour tous est donc à abandonner (Giordan, 1998).

Caractériser précisément une situation d'apprentissage n'est donc pas chose aisée car on manque, pour l'instant, d'outils pour pouvoir répondre à l'ensemble des problèmes posés. Néanmoins, nous disposons d'un certain nombre de résultats qui permettent l'élaboration d'une méthodologie s'insérant dans la perspective présentée. C'est cette méthodologie qui a servi de support à notre démarche.

### 3. Méthodologie de recherche mise en oeuvre

Notre démarche de conception<sup>1</sup> d'une situation d'apprentissage a alors été la suivante :

---

<sup>1</sup> Voir (Tricot, 2003) pour démarche apparentée.

- 1) décrire la connaissance visée en lui donnant suffisamment de « sens » pour permettre son intégration dans le réseau de connaissances de l'élève,
- 2) décrire l'état des connaissances de l'élève par rapport à la connaissance visée,
- 3) tenter d'identifier les processus cognitifs qui seront mis en œuvre par l'élève pour la construction de la connaissance visée,
- 4) concevoir un outil d'apprentissage en accord avec les descriptions et constats effectués précédemment.

Ainsi, si nous reprenons les différentes étapes de la démarche présentée, nous avons effectué :

- la description de la connaissance visée, à savoir opérationnaliser la fonctionnalité du signe moins dans le cadre des nombres relatifs, en lui redonnant son sens premier, c'est-à-dire la relativisation d'un nombre par rapport à un autre nombre
- la description de l'état des connaissances de l'élève par rapport à la connaissance visée qui a consisté à déterminer quel était le point de vue des élèves d'une part, sur le traitement arithmétique simple des nombres relatifs (opérandes de type entier, de faible valeur) et d'autre part, sur la notion d'ordonnement des nombres (placement de nombres sur un axe gradué, ordre des nombres par rapport au 0); cette étape nous a également permis d'identifier un certain nombre de schèmes familiers conduisant l'élève à l'erreur et qui devront être inhibés pour permettre l'apprentissage de la connaissance visée (Houdé, 1999)
- une réflexion sur les processus cognitifs qui seront mis en œuvre lors de l'apprentissage avec notre outil informatisé (transfert analogique, procéduralisation...) tout en tenant compte des effets connexes aux situations d'apprentissage (motivation, facteurs conatifs, charge cognitive imposée par la tâche d'apprentissage...)
- la conception d'un outil informatisé d'aide à l'apprentissage du traitement arithmétique des nombres relatifs (programme de mathématiques, cinquième de Collège) en accord avec les descriptions et constats effectués.

Pour pouvoir effectuer la description de l'état des connaissances de l'élève par rapport à la connaissance visée, nous avons réalisé un recueil d'observables au moyen d'un dispositif papier-crayon. Cette expérimentation a été faite auprès de 50 élèves de cinquième de Collège, répartis en deux classes ayant toute les deux le même professeur de mathématiques.

Quatre types de calculs étaient proposés aux élèves :

- (1) additions de nombres relatifs
- (2) soustractions de nombres relatifs
- (3) combinaisons d'additions et de soustractions
- (4) combinaisons d'additions et de soustractions avec présence de calculs entre parenthèse (notion de priorité).

Pour les séries de calculs (1) et (2), la nature de l'opération était précisée dans l'énoncé sous la forme « effectue les additions suivantes... » et « effectue les soustractions suivantes... », et quelquefois les opérandes étaient entre parenthèses.

Pour la série (3), la nature de l'opération n'est pas précisé : l'énoncé indique seulement « effectue les calculs suivants : ». Par contre, il n'y a aucun opérande entre parenthèses.

De même pour la série (4) : la nature de l'opération n'est évidemment pas précisé, l'énoncé est donc identique à celui de la série (3). Quelques opérandes sont entre parenthèses.

Ces quatre séries de calculs étaient précédées de deux questions permettant une évaluation de la connaissance de l'ordre des relatifs (1 avec présence du 0, l'autre sans la valeur 0).

Notre expérimentation a été effectuée après la fin de la séquence sur les relatifs effectuée par leur professeur.

La conception de notre outil informatisé d'aide à l'apprentissage s'est faite en deux temps. Une première version constituée d'une simple interface-utilisateur a permis la validation écologique du principe retenu pour l'apprentissage de la connaissance visée, à savoir tenter d'opérationnaliser la fonctionnalité du signe moins dans des opérations arithmétiques portant sur des nombres relatifs, soit la relativisation d'un nombre par rapport à un autre nombre selon la valeur du ou des signes le précédent en s'appuyant sur la construction d'un schème opératoire « déplacement sur un axe gradué ». Ainsi, à une valeur numérique donnée correspond un certain déplacement d'un curseur sur un axe gradué, le sens de déplacement étant fonction du ou des signes précédent ce nombre.

Dans un deuxième temps, la version finalisée de l'outil a été élaborée. L'outil d'aide comporte plusieurs fenêtres. La première est une fenêtre de présentation du pourquoi de l'outil dont l'objectif est d'expliquer à l'élève, par l'intermédiaire d'un texte court l'intérêt et le pourquoi de ce nouvel outil qu'on lui propose d'utiliser : appréhender de façon différente la notion de nombres relatifs qu'il a déjà vue en cours avec son professeur. Le deuxième écran a pour but d'acquérir des informations concernant l'élève (de façon à renseigner la table « élèves » de la base de données du dispositif), et, indirectement, de permettre à l'élève une première prise en main du logiciel (comme par exemple la nécessité de pointer avec la souris dans une édition avant de commencer à taper son texte). De plus, le fait de « s'identifier » à la machine en donnant son nom, son prénom et sa classe, peut amener l'élève à s'impliquer plus fortement dans l'utilisation de l'outil (notion de modification du « contrat didactique » (Chevallard, 1991), passé ici implicitement entre l'élève et l'enseignant). La troisième fenêtre correspond à une séquence de pré-évaluation des connaissances de l'élève sur le traitement des nombres relatifs. L'élève est amené à faire une série d'exercices à faible niveau de difficulté (un seul opérateur et deux opérandes) avec la possibilité de choisir l'énoncé de l'exercice parmi ceux proposés, de revenir en arrière, de donner plusieurs réponses à un même exercice. Les seules contraintes imposées ici par le « tuteur » du logiciel sont l'obligation d'une réponse à chaque exercice et la validation d'un nombre minimal d'exercices. Chaque réponse de l'élève est sauvegardée dans la table « élève » qui lui correspond. Une fois sa série d'exercices terminée, une fenêtre d'analyse de ses résultats s'ouvre et lui donne le nombre de bonnes réponses accompagné d'un message toujours positif. La fenêtre suivante correspond à la phase de remédiation. L'interface de cette fenêtre propose à

l'élève un énoncé d'exercice, un texte informatif situé dans une bulle, correspondant à un message court et directif propre à l'action à accomplir par l'élève à un instant donné de la procédure de mise en œuvre. Le « tuteur » n'autorise qu'une seule action possible au niveau de l'interface. De ce fait, chaque étape de la procédure à réaliser par l'élève pour déterminer la réponse à l'exercice est guidée par le « tuteur » qui affiche la bulle de message adéquat à l'instant donné et à l'endroit de l'interface-utilisateur concerné, valide les boutons de l'interface nécessaires à la mise en œuvre de l'action tout en interdisant ceux qui n'entrent pas dans cette mise en œuvre. La durée de la phase de remédiation dépend des résultats de l'élève en pré-évaluation et est déterminée par le diagnostic cognitif effectué par l'outil informatique. Enfin, une fois le travail de remédiation effectué par l'élève, le tuteur propose à l'élève un travail d'évaluation qui s'appuie sur une fenêtre identique à la pré-évaluation et qui reprend les principes de fonctionnement. De la même façon, une fenêtre d'analyse de ses résultats en post-évaluation est affichée.

#### **4. Résultats et analyse**

##### **4.1. Concernant le recueil des observables**

Le questionnement pour notre recueil d'observables comportait 30 exercices différents ce qui représente donc un total de 1500 réponses. Nous avons recensé 496 erreurs ce qui donne un taux d'erreurs moyen de 33 %<sup>2</sup>. Cette phase de recueil d'observables dans notre démarche avait pour objectif, rappelons-le, de pouvoir identifier l'état des connaissances de l'élève. Or, l'erreur est révélatrice de la nature des connaissances activées et de la nature du traitement réalisé par l'élève (Bastien, 2004). C'est donc une analyse des réponses fausses et des protocoles-élèves (quand ils ont été fournis) que nous avons réalisée.

A titre d'illustration, nous donnons deux exemples de mauvaises réponses avec l'analyse qui en a été faite.

A l'énoncé «  $-5 + 8$  », un tiers des élèves répondent faux avec comme erreur la plus fréquente le résultat «  $-13$  ». On peut donc proposer l'interprétation suivante : à la lecture de cet énoncé, le système cognitif de l'élève interprète et mémorise dans un premier temps le symbole moins comme étant représentatif d'un nombre négatif. Puis, dans un deuxième temps, le système cognitif de l'élève réinterprète ce qui est pour lui de l'inintelligible, le traitement arithmétique de deux nombres relatifs, et propose le schème de l'addition, meilleur candidat à cette réinterprétation de l'énoncé. Dans l'élaboration de la réponse, l'élève effectue donc l'addition de 5 avec 8 ce qui donne bien 13 et s'il a gardé la trace de la première représentation ajoute un signe moins devant son résultat.

---

<sup>2</sup> A titre de comparaison, on pourra consulter les banques d'évaluation de l'IREM de Besançon qui pour l'item des nombres relatifs donne un taux moyen d'erreurs de 38% (certes pour des énoncés d'exercices pas toujours similaires aux nôtres), ce qui permet de considérer notre échantillon d'élèves comme représentatif.

Le deuxième exemple proposé correspond à l'énoncé «  $5 - (-3) + 2$  » pour lequel 50 % des élèves répondent faux avec comme erreur la plus courante le résultat « 4 ». Dans ce cas, il s'agissait d'une opération à deux opérateurs différents et trois opérands pas toutes du même signe. La charge cognitive supportée par le système cognitif de l'élève à la lecture de l'énoncé est donc bien plus grande que pour l'exemple précédent. Ici, la réinterprétation par le système cognitif de l'élève l'amène, ainsi, à proposer le schème du regroupement, traditionnellement plus « ancien ». La procédure mise en place consiste alors, dans un premier temps, à regrouper les termes positifs, donc 5 et 2 ce qui donne 7, puis prendre l'opérande -3 et faire la soustraction  $7 - 3$  ce qui donne comme résultat 4.

En résumé, le recueil des observables montre que, dans le cas de réponses fausses, le système cognitif de l'élève réinterprète l'énoncé afin de pouvoir proposer un schème familier à l'élève, meilleur candidat à l'élaboration d'une procédure.

De plus, on constate également que le nombre d'erreurs augmente fortement avec la charge cognitive induite par l'énoncé : par exemple, cet énoncé de la série (4) «  $(-3) - (-5 + 4) = ?$  » qui combine la notion de priorité d'une opération, la présence de parenthèses autour d'une opérande, une séquence de deux signes moins, présente un taux d'erreurs de 72 %.

#### **4.2. Suite à l'utilisation de l'outil en version finalisée**

24 élèves d'une classe de 5<sup>o</sup> de Collège ont participé à l'expérimentation. Ils ont travaillé en salle informatique, 1 élève par poste, pendant une durée de 40 minutes. Comme il a été dit précédemment la séquence se déroule en trois phases : une phase de pré-évaluation pendant laquelle l'élève effectue des exercices sur les relatifs en essayant d'appliquer les règles enseignées par leur professeur, une phase de remédiation de durée variable en fonction des résultats obtenus lors de la phase précédente, et une phase de post-évaluation. Tous les résultats des exercices sont saisis informatiquement et mémorisés sur la machine.

Le taux d'erreurs moyen en pré-évaluation est de 56 %, ce qui correspond à un niveau de classe relativement faible mais en accord avec la propre évaluation de leur professeur : ce n'est donc pas l'activité en elle-même qui les pénalise. Le taux d'erreurs moyen en post-évaluation est de 37 %, donc en nette amélioration ce qui démontre l'efficacité du dispositif mis en place, d'autant que la durée d'utilisation a été finalement relativement courte (la durée de la remédiation en elle-même a duré entre 10 et 15 minutes suivant le résultat des élèves en pré-évaluation).

L'analyse des résultats-élèves montre que pour 67 % d'entre eux leur réussite est bien meilleure en post-évaluation et sont donc en progression parfois très nette comme par exemple l'élève qui fait 12 fautes en pré-évaluation et 1 faute en post-évaluation. Ils sont 9 élèves à doubler ou plus que doubler leur nombre de bonnes réponses en post-évaluation. 2 élèves seulement ont une performance moins bonne en post-évaluation.

## **5. Conclusion.**

Nous avons montré que l'apprentissage d'une connaissance par un élève se fait d'autant plus facilement que cette connaissance a un sens pour lui. Nous avons également montré que cet apprentissage ne peut s'effectuer qu'en s'appuyant sur d'autres connaissances et que cet apprentissage est d'autant plus facilité que la charge mentale liée aux tâches d'apprentissage en est allégée. Par rapport à ce dernier aspect, la charge cognitive, nous avons vu qu'il était nécessaire d'analyser la situation d'apprentissage, les interactions entre les différents éléments la constituant, afin de pouvoir garantir véritablement l'apprentissage de la connaissance visée. La mise en œuvre de notre outil nous a donc permis de valider le fait que la réussite de l'apprentissage d'une connaissance est réalisée par un élève à certaines conditions qui tiennent compte notamment de ses contraintes cognitives. En allégeant la charge cognitive par rapport à un travail écrit, en considérant la représentation que l'élève se fait de la tâche à réaliser et en plaçant l'élève dans des situations de construction réelle de connaissances, l'utilisation d'un outil informatisé en apprentissage peut alors s'avérer véritablement efficace.



### **Bibliographie**

- Balacheff N. (2002). Note de préparation aux journées Guy Brousseau, Grenoble.  
<http://www.univ-lemans.fr/Balacheff>
- Bastien C. (1997). *Les connaissances de l'enfant à l'adulte*. Paris : Armand Collin.
- Bastien C., Bastien-Toniazzo M. (2004). *Apprendre à l'école*. Paris : Armand Colin.
- Brown J.S., Collins A., Duguid P. (1989). Situated Cognition and the culture of learning, *Educational Research*, janvier-février 1989, 32-42.
- Cellérier G. (1992). Le constructivisme génétique aujourd'hui. Organisation et fonctionnement des schèmes. in B. Inhelder & G. Cellérier (Eds.). *Le cheminement des découvertes de l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé, 217-302.
- Chevallard Y. (1991). *La transposition didactique*. Editions La Pensée Sauvage.
- Giordan A. (1998). *Apprendre!*. Collection Débats. Paris : Belin.
- Houdé, O. (1999). Attention sélective, développement cognitif et contrôle inhibiteur de l'information. in G. Netchine-Grinberg (Ed.). *Développement et fonctionnement cognitifs : vers une intégration*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Huguet P. (2004). *Contexte scolaire, mémoire et attention des élèves*. Exposé. Rencontres Enseignants-Chercheurs 2004. CNRS-LPC Marseille.
- Lagrange J.B. (2000). *Approches didactiques et cognitive d'un instrument technologique dans l'enseignement. Le cas du calcul formel au lycée*. Document pour l'Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Paris VII, 158 p.
- Paper S. (2003). Vingt-cinq ans d'EIAH. Entretien. *Colloque EIAH, Strasbourg*, Paris : INRP/EPI, 21-30.
- Rayou P., Van Zanten A. (2004). *Enquête sur les nouveaux enseignants*. Paris : Bayard.
- Sweller J., Van Merriënboer J. G., Paas F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*. Volume 10, n°3.
- Sweller J., Van Merriënboer J.G. (2005). Cognitive load theory and complex learning : recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*. Volume 17, n°2, juin.
- Tricot A. (1995). *Modélisation des processus cognitifs impliqués par la navigation dans les hypermédias*. Thèse de doctorat. Université de Provence, 294 p.

10 Actualité de la Recherche en Education et en Formation, Strasbourg 2007

Tricot A. (2003). *Apprentissage et recherche d'information avec des documents électroniques*.  
Mémoire HDR. Université de Toulouse, 198 p.