

## **Interpréter les relations entre apprentissage et utilisation de matériels**

André Tricot

CERFI, IUFM de Midi Pyrénées, Toulouse

&

Laboratoire Travail et Cognition, UMR CNRS et Université de Toulouse 2

Une version en langue anglaise de ce papier est soumise à la revue *Educational Psychologist*, numéro spécial « Cognitive Load Theory » coordonné par John Sweller

### **Abstract**

A context in which learning is required can be generally described as connecting: A learning goal consisting of new knowledge to be acquired; materials used to assist the learner in acquiring knowledge such as texts, diagrams or hardware; tasks in which the materials are processed such as reading, solving a problem or manipulating an object; students and their characteristics. Many instructional designs are based on the assumption that if a student succeeds in processing the material then the learning goal will have been achieved. Research on cognitive load theory has indicated that this relation is more complex. Sometimes, processing materials is so cognitively costly that the learning goal is not reached. It may be possible to learn without some types of processing while at other times, as found in a recent study, some types of processing may be essential for learning. In this paper, the various, possible logical relations between attaining a learning goal and the task of processing learning materials are analysed. This logical framework can be used to interpret empirical results from experiments conducted within a cognitive load framework.

Généralement, un concepteur de matériels d'apprentissage tente de concevoir des textes, des images, des objets, des consignes et autres, pour que l'apprenant réussisse à traiter ces matériels et apprenne, i.e. acquière la connaissance visée. Un apport majeur de la théorie de la charge cognitive a été de montrer que parfois le traitement du matériel est cognitivement trop coûteux pour l'apprenant, de sorte que l'apprentissage visé n'est pas réussi. Parfois donc, le traitement du matériel d'apprentissage devient en quelques sortes concurrent de l'apprentissage. Ces travaux ont aussi montré comment on pouvait concevoir un matériel dont le traitement cognitif soit moins coûteux. Généralement, cette amélioration du matériel s'accompagne d'une amélioration de l'apprentissage. Pourtant, des travaux récents (Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, soumis) montrent que l'amélioration des matériels pour des apprenants novices peut correspondre à un accroissement de la difficulté de traitement quand l'expertise des apprenants devient plus importante. Si cet effet de renversement concerne le traitement des matériels, on ne sait pas encore en quoi il concerne l'acquisition d'une même connaissance nouvelle, les apprenants novices et experts étant difficilement comparables quant à l'acquisition d'une connaissance nouvelle. Les travaux sur la charge cognitive et de nombreux autres ont donc montré que différentes relations entre le traitement des matériels et l'apprentissage pouvaient exister. Dans cet article nous décrivons ces différentes relations de façon logique. Nous proposons un cadre logique pour interpréter les liens entre des performances d'utilisation d'un matériel et des performances d'apprentissage. Nous illustrons ce cadre en rapportant une expérience sur l'utilisation d'un dictionnaire pour apprendre la définition de mots nouveaux. Cela nous permet d'envisager que des hypothèses réfutables pourraient directement concerner la relation entre l'utilisation de matériels et l'apprentissage. Ainsi, la théorie de la charge cognitive pourrait être considérée comme une théorie falsifiable de la pertinence dans le domaine des apprentissages.

### **Différentes relations entre l'atteinte d'un but d'apprentissage et le traitement de matériels**

#### **Les situations d'apprentissage auto-référencées et spécifiques**

Dans leur article classique intitulé "The theory of learning by doing" Anzai et Simon (1979) présentent l'analyse d'un protocole de résolution du problème de la tour de Hanoi. D'après Anzai et Simon, en réussissant, par tâtonnement, à résoudre le problème de la tour de Hanoi, le sujet apprend à résoudre le problème de la tour de Hanoi. On pourrait dire que pour ces auteurs la situation d'apprentissage est auto-référencée. Elle est elle-même le but d'apprentissage. L'analyse du protocole faite par Anzai et Simon leur permet de décrire plus précisément ce que le sujet apprend quand il apprend. Le sujet apprend à transformer les états d'une situation, à transformer une stratégie et finalement il apprend la structure du problème, c'est-à-dire un ensemble de productions pertinentes et efficaces.

On peut donc décrire la théorie de Anzai et Simon de deux points de vue. Selon le premier point de vue, en réalisant la tâche T le sujet apprend à réaliser la tâche T. C'est une autoréférence. Selon le second point de vue, en réalisant la tâche T, le sujet acquiert des connaissances K. C'est peut-être une relation d'implication, dont nous ne connaissons pas la nature. Les auteurs ne disent pas si ces connaissances K permettent de faire autre chose que la réalisation de la tâche T.

Dans la vie de tous les jours, il est souvent pertinent d'avoir un point de vue auto-référencé sur l'apprentissage. Nous apprenons à conduire une voiture pour conduire une voiture ou nous savons taper à la machine parce que nous avons appris à taper à la machine en tapant à la machine. La

plupart du temps nous ne nous représentons pas cet apprentissage comme correspondant à l'acquisition d'une certaine connaissance K, qui pourrait être éventuellement transférable. Nous savons conduire une voiture, c'est tout.

Dans la vie professionnelle, le point de vue auto-référencé a aussi beaucoup de pertinence. Par exemple, Myles-Worsley, Johnston et Simons (1988) ont conduit des expérimentations sur les activités de perception et de reconnaissance dans le cadre du diagnostic radiologique. Leurs travaux consistent à comparer cette activité selon le niveau d'expertise des médecins (étudiants de premier cycle, internes de première année en radiologie, jeunes praticiens hospitaliers en radiologie, radiologues expérimentés). Les experts ont des performances bien meilleures que celles des autres sujets dans une tâche de reconnaissance de radiographies de poumons atteints d'une lésion, mais leur performance est moins bonne que celle des autres sujets avec des radiographies de poumons sains. Cette différence de performance dans une tâche de reconnaissance s'exprime avec des temps de traitement initiaux très courts (500 ms). Les auteurs ont contrôlé la capacité à reconnaître de ces différentes populations de sujets, dans une tâche de reconnaissance de visages. Dans ce cas, les performances des différents groupes sont équivalentes. Autrement dit, les radiologues experts savent détecter très rapidement les lésions sur des radiographies et reconnaître ces radiographies, mais cette compétence n'est pas transférable. Plus encore, elle s'accompagne d'une sorte d'incompétence spécifique à traiter les radiographies de poumons sains. Comment ont-ils acquis cette compétence perceptive? En pratiquant. Ainsi nous pouvons considérer que certaines connaissances K sont des sous composantes d'une compétence professionnelle générale. Ici la compétence à percevoir et à reconnaître des radiographies atteintes d'une lésion est une sous composante de la compétence diagnostique radiologique. On ne peut évidemment réduire l'une à l'autre (e.g. Raufaste, Eyrolle & Mariné, 1998). Elles sont toutes les deux très longues à acquérir (probablement autour de 10 années). Cette compétence perceptive que nous appelons connaissance K est acquise par la pratique, par la répétition de la mise en œuvre de cette connaissance K et elle est in-transférable. Elle est donc spécifique. Plus encore elle s'accompagne de l'inhibition de la mise en œuvre de certains traitements, ici le traitement des radiographies saines. Enfin, les auteurs n'évoquent pas la possibilité pour un radiologue d'avoir cette pratique pendant 10 ans sans acquérir la connaissance K ou d'acquérir cette connaissance K sans avoir cette pratique pendant 10 ans.

On voit qu'apprendre peut être décrit comme mettant en relation la connaissance à acquérir (K) et une tâche pour laquelle des matériels sont traités (T). Il semble que différentes relations entre K et T soient possibles.

Ecrivons :

(1) Certains apprentissages sont auto-référencés. Apprendre à réaliser la tâche T c'est réaliser la tâche T. D'un point de vue logique, il y a une égalité entre la réalisation de T et l'apprentissage de T.

(2) Certains apprentissages sont spécifiques. L'acquisition de la connaissance K implique la réalisation (répétée) de la tâche T, mais K ne permet de réaliser que la tâche T. D'un point de vue logique, il y a une relation d'équivalence entre la répétition de T et l'acquisition de K.

Il nous semble important de souligner que certains apprentissages auto-référencés le sont d'un certain point de vue, selon une certaine pratique, pour certains sujets. Un même apprentissage peut être interprété différemment selon les conditions dans lesquelles il est réalisé. Par exemple l'apprentissage du traitement de texte passe nécessairement par la pratique de l'outil lui-même. Il est *a priori* auto-référencé. Mais Sander et Richard (1997) montrent que quand les sujets savent d'abord taper à la machine l'analyse du transfert révèle un processus d'apprentissage très différent. Spontanément, les sujets qui savent taper à la machine considèrent le traitement de texte comme une machine à écrire un peu sophistiquée et donc l'activité comme étant la même. Pourtant ce transfert

pose des problèmes. L'analogie entre les deux outils n'étant que très partielle elle conduit les sujets à faire des erreurs de manipulation et à inhiber certaines actions possibles. Sander et Richard montrent que le fait de passer par des abstractions est efficace. Considérer non pas taper à la machine comme l'activité de référence mais écrire voire même manipuler un objet conduit à un meilleur apprentissage.

### **Les situations où la réalisation de la tâche implique l'apprentissage**

Dans une étude sur des problèmes de transformation classiques, Pierce, Duncan, Gholsn, Ray et Kambi (1993) montrent qu'une connaissance K acquise lors de la réalisation d'une tâche T peut être réutilisée dans une tâche T' non isomorphe à la tâche T. Par exemple, les auteurs montrent que des sujets ayant réussi une tâche de Cannibales et Missionnaires peuvent réussir à transférer la connaissance acquise dans une tâche Maris Jaloux si on leur laisse explorer libre l'espace problème, sans insister sur le but à atteindre. Pour expliquer ce résultat, ils utilisent la théorie de la charge cognitive (Sweller, 1988, 1989). Cette manière de traiter le problème des Cannibales et Missionnaires pourrait produire un schéma (une connaissance) de meilleure qualité qu'une exploration contrainte qui insiste sur l'atteinte du but. On peut décrire ce résultat de la façon suivante. En réalisant la tâche T par exploration libre, le sujet acquiert une connaissance K qui pourra être réutilisée pour réaliser une tâche T'. Il semble donc que dans ce cas, acquérir K (de telle sorte que K soit transférable) implique la réalisation de T par exploration libre. Dans cette expérience, il est très intéressant de noter que la réussite de T dans la phase d'acquisition est meilleure si l'on ne laisse pas le sujet explorer librement l'espace problème, mais qu'on le guide dans cette exploration. Ainsi, si l'on conserve le point de vue tautologique évoqué précédemment, on peut écrire qu'en réalisant la tâche T de façon guidée le sujet apprend à réaliser la tâche T efficacement. Pourtant, dans cette condition, la connaissance K acquise est moins transférable à une tâche T' que dans le cas où T a été réalisée par exploration libre. Il est évidemment possible que de nombreuses autres tâches T'' permettent l'acquisition de la connaissance K. Par contre, nous ne savons pas, dans cette expérience, s'il est possible de réaliser T' alors que l'on a échoué à réaliser T, puisque tous les sujets réussissent T.

Ecrivons:

(3) Pour certains apprentissages, si et seulement si la tâche T est réalisée d'une certaine manière (par exemple exploration libre), alors la réussite de la tâche T implique l'acquisition de la connaissance K et la réussite de la tâche T' (présentant une analogie avec T) implique l'acquisition de la connaissance K.

(4) Pour certains apprentissages, si et seulement si la tâche T est réalisée d'une certaine manière (par exemple guidé), alors l'apprentissage est spécifique (2) c'est à dire qu'il y a une relation d'équivalence entre la réussite de T et l'acquisition de K.

Les travaux sur la théorie de la charge cognitive ont précisé les différentes manières qui font que la réalisation de T entraîne l'acquisition d'une connaissance K transférable. Par exemple, Paas (1992) a montré que l'acquisition de connaissances transférables en statistiques pouvait être meilleure avec la technique des problèmes résolus et des problèmes à compléter quand on les compare avec les techniques traditionnelles de résolution de problème. Ce résultat a été obtenu par de nombreux autres chercheurs dans divers domaines d'apprentissage (voir la synthèse de Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Ces travaux montrent donc que si différentes relations entre K et T sont possibles, notamment en fonction de la manière dont T est réalisée, cette manière de réaliser T par l'apprenant peut dépendre de la façon dont T est présentée par le concepteur de la situation d'apprentissage.

En effet, les travaux sur la théorie de la charge cognitive ont montré que la façon dont sont présentés les matériels a une influence sur la réussite de la tâche et sur l'apprentissage. Ces travaux

ont notamment montré le lien entre la présentation des matériels et l'effet de partage de l'attention. Cet effet se produit quand les sujets doivent traiter des sources d'information multiples dont l'intégration doit être opérée mentalement afin que le sens puisse être inféré du matériel présenté. Par exemple, en géométrie, les sujets doivent dissocier leur attention entre d'une part le traitement de la figure présentée et d'autre part le texte relatif à cette figure. Le matériel présenté ne peut être compris qu'à condition que le sujet intègre mentalement les sources d'information disparates. La théorie de la charge cognitive a été utilisée pour suggérer que le processus de dissociation de l'attention, ainsi que celui d'intégration mentale du matériel, sont coûteux cognitivement et ceci à cause des modes traditionnels de présentation et de structuration de l'information. De nombreuses recherches conduites par Sweller (références) ont démontré que l'intégration physique des sources d'information, par exemple en plaçant les commentaires écrits sur les endroits appropriés de la figure géométrique plutôt que de façon adjacente, élimine les effets négatifs de l'attention dissociée. Donc on peut écrire que dans de nombreux cas, la réalisation de T implique le traitement de matériels et que faciliter le traitement de ces matériels augmente la probabilité de la réussite de la tâche et l'apprentissage (l'acquisition de connaissances K).

Ecrivons:

(5) Dans certains cas, si la réussite de la tâche T implique l'acquisition de la connaissance K et si la réalisation de la tâche T implique le traitement de matériels M alors la facilitation du traitement de M favorise l'acquisition de la connaissance K.

Si l'élimination de l'effet de dissociation de l'attention améliore l'apprentissage en baissant la charge de la mémoire de travail, Mousavi, Low et Sweller (1995) suggèrent qu'un même effet positif puisse être obtenu en augmentant la taille de la mémoire de travail effective. Ces auteurs suggèrent que, pour atteindre ce type de but, il faille utiliser des présentations didactiques en mode duel, *i.e.* dans lesquelles les diverses sources d'information qui requièrent d'être intégrées sont présentées selon des modalités sensorielles différentes (auditive et visuelle). Ils ont montré qu'une figure géométrique présentée visuellement et commentée oralement améliore l'apprentissage par rapport à une présentation conventionnelle (figure et texte présentés en mode visuel). Mousavi et al. (1995) ont aussi montré que cet effet de présentation en mode duel n'existe que quand le matériel est difficile à traiter, *i.e.* quand il entraîne un coût cognitif élevé à cause d'un nombre important de points de la figure commentés par un texte. Les auteurs qualifient ce type de situation comme possédant un haut niveau d'interactivité. A l'inverse, dans les configurations à faible degré d'interactivité, il y a peu de points de la figure qui sont commentés.

Ecrivons:

(6) Dans certains cas, si la réussite de la tâche T implique l'acquisition de la connaissance K et si la réalisation de la tâche T implique le traitement de matériels M avec un haut niveau d'interactivité alors la facilitation du traitement de M par mixage des modes auditifs et visuels favorise l'acquisition de la connaissance K.

Notons que pour l'instant, nous n'avons pas pu envisager le cas où l'apprentissage implique la réalisation d'une tâche, mais trois relations possibles. L'autoréférence qui correspond aux cas où l'on apprend à réaliser une tâche pour réaliser cette tâche, l'équivalence qui correspond aux cas où l'acquisition d'une connaissance est spécifique à une tâche et enfin les cas où la réussite (répétée) d'une tâche implique un apprentissage. Nous avons complété la description de cette implication par la description des relations entre d'une part l'apprentissage, et, d'autre part, la façon de réaliser la tâche, certaines caractéristiques de la tâche ou la présentation du matériel qui la compose.

### **Les situations où l'apprentissage implique la réussite de la tâche**

Les travaux sur la théorie de la charge cognitive montrent quelque chose qui peut paraître évident, mais qui constitue un aspect très important des travaux sur l'apprentissage. Quand, dans une situation d'apprentissage, la réalisation de la tâche ou le traitement du matériel sont trop coûteux cognitivement, on n'apprend rien. Par exemple, Tuovinen et Sweller (1999) ont comparé les performances de deux groupes d'étudiants qui doivent apprendre à concevoir une base de données. Les deux groupes reçoivent le même cours, mais ensuite le premier groupe suit un scénario d'apprentissage par la découverte tandis que le second groupe suit un scénario d'apprentissage de type problèmes résolus. Les étudiants du premier groupe doivent résoudre par eux-mêmes les problèmes, essentiellement pratiques, qu'ils se posent eux-mêmes, tandis que ceux du second groupe suivent un programme pré-établi d'étude de problèmes déjà résolus. Dans chacun des groupes, les étudiants sont pour moitié "novices" dans le domaine des bases de données, tandis que l'autre moitié est déjà un peu familière avec ce domaine. Les résultats montrent que la réalisation de la tâche d'apprentissage par découverte est trop difficile pour les étudiants novices dans le domaine des bases de données. Leurs scores au test de connaissances à l'issue de la phase d'apprentissage sont extrêmement faibles, ils ne représentent même pas la moitié de la moyenne des scores des trois autres sous-groupes. Tout se passe comme si, au cours des trois sessions successives d'apprentissage par découverte les sujets novices n'avaient rien appris ou quasiment rien. Différents résultats allant dans ce sens ont été recensés par Sweller et Chandler (1994) et par d'autres.

L'ensemble de ces résultats montre que dans certains cas l'acquisition de la connaissance K implique la réussite de la tâche T. Pourtant ces cas sont souvent difficiles à distinguer des cas où il y a une relation d'équivalence entre la réussite de la tâche T et l'acquisition de K. D'un point de vue logique la différence réside dans l'existence d'un certain nombre de sujets qui auraient participé à l'expérience et pour lesquels il y aurait réussite de T et non-acquisition de K. Si ces sujets existent, on peut décrire la situation d'apprentissage comme une implication de K vers T. Si ces sujets n'existent pas, alors il y a une relation d'équivalence entre réussite de T et acquisition de K.

Ecrivons:

(7) Dans certains cas, l'acquisition de la connaissance K implique la réussite de la tâche T.

### **Des situations d'apprentissage qui posent des problèmes d'interprétation**

Les travaux sur la théorie de la charge cognitive ont apporté récemment un ensemble de résultats importants concernant l'effet de l'expertise des sujets. Ces résultats vont nous permettre de soulever un problème de description des situations d'apprentissage et d'interprétation des données dans les expérimentations de type novices – experts sur des tâches d'apprentissage. L'effet de l'expertise des sujets sur la charge cognitive est au départ très simple. Plus un sujet est expert dans un domaine, moins le traitement d'une situation dans ce domaine va être cognitivement coûteux pour lui. Ceci est généralement expliqué par le fait que l'expertise dans un domaine de connaissance se traduit par l'acquisition de schémas dans ce domaine de connaissance ; comme la mobilisation d'un schéma en mémoire de travail (MDT) ne représente pas plus de coût que la mobilisation d'une information simple, le traitement d'une situation dans un domaine où le sujet est expert va utiliser peu de place en MDT. Kalyuga, Chandler et Sweller (1998) montrent qu'avec des sujets ayant suivi un enseignement conséquent dans un domaine donné, l'effet de dissociation de l'attention n'est pas éliminé ni même amoindri par les techniques d'intégration texte-image. En comparant ces sujets avec des sujets novices pour les mêmes tâches dans les deux conditions matériel classique et matériel intégré, on se rend compte qu'en fait ce n'est pas tant que l'effet de dissociation de l'attention n'est pas éliminé avec les sujets experts en condition matériel intégré. C'est plutôt qu'il n'y a pas ou peu, avec ces sujets, d'effet de dissociation de l'attention en condition matériel classique (ou en tous cas pas de

difficulté à traiter des sources d'information disparates). Mais les expériences rapportées dans l'article de Kalyuga et ses collègues ne mesurent pas les effets relatifs du format de présentation du matériel et du niveau d'expertise des sujets sur l'apprentissage. Elles mesurent les effets de l'expertise et du format de présentation sur des tâches de détection d'erreurs ou QCM dans l'expérience 2. Elles mesurent l'effet du format de présentation sur un apprentissage dans l'expérience 3.

L'effet de redondance interagit fortement avec l'effet de l'expertise des sujets. L'effet de la redondance du matériel à traiter est assez simple, au premier abord. Le matériel redondant, où la même information est présente plusieurs fois sous des formes différentes (par exemple sous forme textuelle et sous forme imagée) entraîne une charge cognitive plus importante (donc des performances moins bonnes) que le même matériel présenté sans redondance (Bobis, Sweller & Cooper, 1993; Chandler & Sweller, 1991, 1996; Reder & Anderson, 1982; Sweller & Chandler, 1994). La différence entre l'effet de dissociation de l'attention et l'effet de la redondance réside dans le fait que l'effet de dissociation de l'attention s'exprime quand les sources d'informations ne sont pas compréhensibles de façon isolées, tandis que l'effet de la redondance s'exprime quand il est possible de comprendre ces informations de façon isolée. L'expression de ces effets est là encore très directement liée à l'expertise des sujets. Kalyuga, Chandler et Sweller (1998) écrivent explicitement que tout se passe comme si le même matériel considéré comme intégré pour des sujets novices et ayant un effet positif sur leurs performances, pouvait être considéré comme redondant pour des sujets experts, et aurait un effet négatif sur leurs performances. Dans ce volume, Kalyuga, Ayres, Chandler et Sweller écrivent "an instructional format without redundant guidance is likely to be the best instructional format for more experienced learners because all the necessary support for the construction of mental representations in working memory is provided by schema-based knowledge structures held in long-term memory (...) The expertise reversal effect has been replicated in multiple studies using a large range of instructional materials and participants. It interacts with many of the cognitive load effects demonstrated over the last two decades." Dans cette série d'expériences évoquées par les auteurs qui montrent un renversement de la plupart des effets en fonction de l'expertise des sujets, il n'y a pas, à notre connaissance, de comparaison de ce qui peut être acquis par les sujets novices et experts. Car sur un apprentissage, les sujets qui savent ne sont pas comparables avec les sujets qui ne savent pas, puisqu'ils n'ont pas la même chose à apprendre. Seul un protocole où la performance est mesurée par la différence post-test moins pré-test pourrait éventuellement permettre d'effectuer cette comparaison. On peut même imaginer que dans certains cas, ceux qui sont déjà experts n'ont rien à apprendre puisque la connaissance K a déjà été acquise par eux. Autrement dit, même certains protocoles post-test moins pré-test pourraient se révéler inopérants si les performances obtenues au pré-test sont trop élevées pour les experts. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que le renversement des effets en fonction de l'expertise concerne la réalisation de la tâche T et en particulier le traitement des matériels M qui la compose, mais pas l'acquisition d'une connaissance K. Il est éventuellement possible d'étendre des résultats concernant la réalisation de la tâche T à l'acquisition de la connaissance K si l'équivalence entre les deux est préalablement démontrée chez des sujets de différents niveaux d'expertise. A priori cette démonstration nous semble très difficile à obtenir.

Donc en fait, l'effet de renversement dit que la facilitation ne marche pas avec les experts sur l'utilisation du matériel, mais ne contredit pas le fait que l'utilisation réussie du matériel (la réussite de la tâche + le traitement du matériel) implique l'apprentissage (ou vice versa) car l'expert et le novice n'ont pas la même chose à apprendre. Dans les cas évoqués la situation d'apprentissage (qui doit prendre en compte les connaissances à acquérir et les connaissances antérieures) n'est pas

comparable. Les apprenants qui n'ont pas la même chose à apprendre ne sont pas comparables quant à leur apprentissage.

Ecrivons:

(8) Si un sujet est novice, alors les dispositifs d'intégration, de redondance et de mixage audiovisuel facilitent le traitement de matériel interactif, et cette facilitation améliore l'apprentissage.

(9) Si un sujet est expert, alors les dispositifs d'intégration, de redondance et de mixage audiovisuel gênent le traitement du matériel interactif, mais nous ne connaissons pas les conséquences sur l'acquisition de connaissances nouvelles.

### **Apprentissages implicites, adaptation et leur interprétation**

La littérature à laquelle nous avons fait référence dans la partie précédente de l'article concerne des situations d'apprentissage particulières. Il s'agit essentiellement d'apprentissages explicites, par l'action, le plus souvent dans un cadre d'enseignement. Ces apprentissages sont fondés sur la réalisation d'une tâche que le sujet a conscience de réaliser et sur le traitement de matériels que le sujet a conscience de faire. On ne peut évidemment pas réduire les apprentissages humains à ces apprentissages explicites là. Certains apprentissages sont implicites (Berry, 1997; Stadler & Frensch, 1998) et n'impliquent pas la réalisation consciente d'une tâche. Certains apprentissages, comme l'apprentissage de la correspondance grapho-phonémique en lecture, peuvent être réalisés de façon explicite par certains sujets et de façon implicite par d'autres (Cunningham, 1990). Plus encore, la psychologie de la lecture a étudié la question de la nature de la relation entre la conscience phonologique (une connaissance explicite donc) et l'apprentissage de la lecture (e.g. Perfetti, Beck, Bell & Hughes, 1987). Cette relation est-elle une implication ou non? Deux voies ont été suivies pour étudier cette question. Une des compétences peut-elle être présente en l'absence de l'autre (auquel cas on pourrait définir le sens et la nature de l'implication, voire l'indépendance)? L'entraînement à l'une s'accompagne-t-il de l'acquisition de l'autre? Donc, l'existence d'apprentissages explicites et implicites est non seulement avérée, mais elle semble possible pour des connaissances à acquérir identiques. Mais surtout les relations, notamment d'implication, entre connaissances, tâches et apprentissages ont été étudiées dans divers domaines. D'autres apprentissages ressemblent fortement à un processus d'adaptation de l'être humain à son environnement (Schacter, 1987; Anderson, 1990).

Ecrivons:

(10) Il est possible d'apprendre sans réaliser explicitement une tâche ou sans traiter un matériel d'apprentissage.

Concevoir une situation d'apprentissage pour atteindre tel but d'apprentissage, c'est à dire l'acquisition de telle connaissance nouvelle par un apprenant, serait donc un problème de pertinence de la tâche et du matériel par rapport aux connaissances de l'apprenant. L'évaluation de cette pertinence est l'objet de notre proposition ci-dessous.

### **Un cadre logique pour décrire les relations entre l'atteinte d'un but d'apprentissage et le traitement de matériels d'apprentissages**

Dans la partie précédente, nous avons souligné que dans une situation d'apprentissage explicite la connaissance à acquérir est un concept relatif à la situation (tâche et matériels) et aux connaissances préalables du sujet. Différentes relations sont possibles entre la réalisation de la tâche, en particulier le traitement du matériel qui la compose, et la connaissance à acquérir. Si bien que toute situation d'apprentissage explicite peut être décrite comme mettant en relation quatre termes au moins. La connaissance à acquérir, la tâche à réaliser, les matériels à traiter et l'apprenant (ses caractéristiques,

notamment en termes de connaissances préalables). Nous avons montré que la relation entre le traitement des matériels et l'acquisition de la connaissance visée peut être de différente nature, mais qu'en tout état de cause, elle était rarement directe. Ainsi, nous avons cru pouvoir attirer l'attention sur le fait que l'interprétation de certains résultats récents de la théorie de la charge cognitive méritait quelque prudence, certains effets sur le traitement des matériels ne pouvant être directement considérés comme améliorant ou gênant les apprentissages. Cette prudence est d'ailleurs de mise dans les travaux de Sweller et ses collègues.

Evaluer la pertinence d'une situation d'apprentissage, les résultats qu'elle produit, implique selon nous la description de la relation entre le traitement des matériels et l'apprentissage visé. Cette proposition implique que nous soyons capables d'interpréter les liens entre les variables qui mesurent le traitement du matériel d'apprentissage et celles qui mesurent l'acquisition de la connaissance visée. Tricot et Tricot (2000) ont récemment tenté d'aborder ce problème. Pour des raisons pratiques, nous allons considérer que la réussite de la tâche et le traitement du matériel peuvent être décrits ensemble sous le terme "d'utilisation réussie du matériel d'apprentissage". Leur approche consiste à envisager qu'il soit possible, dans un premier temps, d'évaluer l'utilisation du matériel et l'acquisition de la connaissance visée avec des variables binaires: UM (réussite / échec) pour l'utilisation du matériel et AK (réussite / échec) pour l'acquisition de la connaissance visée, i.e. l'apprentissage. En logique, une table de vérité décrit les relations entre deux variables binaires. Elle donne l'interprétation logique de la nature de la relation. Par exemple, dans la table suivante (où l'acquisition de la connaissance K est notée  $AK_1$ , la non-acquisition notée  $AK_0$ , l'utilisation des matériels réussie  $UM_1$  et l'utilisation non réussie  $UM_0$ ), la deuxième colonne correspond au "ou inclusif" (noté  $\vee$ ). Cette colonne décrit un matériel d'apprentissage que les élèves peuvent réussir à utiliser en acquérant ou non la connaissance K, ou que les élèves peuvent échouer à traiter tout en acquérant la connaissance K.

Tableau 1  
Table de vérité

$AK_1UM_1$	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	
$AK_0UM_1$	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	
$AK_1UM_0$	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	
$AK_0UM_0$	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
	$\vee$	$\Rightarrow$	$UM_1$	$\Leftarrow$	$AK_1$	$\Leftrightarrow$	$\wedge$	/	w	$AK_0$	$\neg AK \Rightarrow UM$	$UM_0$	$AK \Rightarrow \neg UM$	$\downarrow$	T

Si on réalise un ensemble d'observations d'apprenants en train d'utiliser un matériel pour apprendre quelque chose, on peut décrire les fréquences  $f$  des cooccurrences des états de UM et AK dans une table de contingence. La somme de ces fréquences est évidemment égale à 1.

Tableau 2  
Table de contingence

	UM réussite (noté $UM_1$ )	UM échec (noté $UM_0$ )	
AK réussite (noté $AK_1$ )	$f_{AK_1UM_1}$	$f_{AK_0UM_1}$	$f_{AK_1}$
AK échec (noté $AK_0$ )	$f_{AK_1UM_0}$	$f_{AK_0UM_0}$	$f_{AK_0}$
	$f_{UM_1}$	$f_{UM_0}$	

L'analyse implicative (Bernard, 1999) permet, à partir de la distribution des fréquences dans cette table de contingence, de décrire la relation logique entre ces deux variables. Il s'agit de considérer une table de contingence 2x2 comme une colonne de la table de vérité. Les fréquences =

0 correspondant aux états faux (disons impossibles), les fréquences  $> 0$  correspondants à des états vrais (disons possibles). Dans le modèle de Tricot et Tricot (2000), on considère que la somme = 1 des fréquences  $> 0$  correspond à une équirépartition de ces fréquences.

Tableau 3

Table de vérité où des probabilités remplacent les valeurs vraies

$AK_1UM_1$	.33	.33	.5	.33	.5	.5	1	0	0	0	0	0	0	.25	
$AK_0UM_1$	.33	.33	.5	0	0	0	0	.33	.5	.5	1	0	0	.25	
$AK_1UM_0$	.33	0	0	.33	.5	0	0	.33	.5	0	0	.5	1	.25	
$AK_0UM_0$	0	.33	0	.33	0	.5	0	.33	0	.5	0	.5	0	.25	
	$\vee$	$\Rightarrow$	$UM_1$	$\Leftarrow$	$AK_1$	$\Leftrightarrow$	$\wedge$	/	w	$AK_0$	$\neg AK \Rightarrow UM$	$UM_0$	$AK \Rightarrow \neg UM$	$\downarrow$	T

Voici quelques exemples d'interprétation des liens entre ces deux variables.

Ou inclusif  $AK \vee UM$ . Matériel peu spécifique (ni nécessaire ni suffisant) à l'apprentissage visé.

Implication  $AK \Rightarrow UM$ . Matériel nécessaire mais pas suffisant pour l'apprentissage visé.

Indépendance  $UM$  est vrai,  $\forall AK$ . Matériel utilisable mais moyennement utile pour l'apprentissage visé.

Implication  $UM \Rightarrow AK$ . Matériel suffisant mais non nécessaire pour l'apprentissage visé.

Indépendance  $AK$  est vrai,  $\forall UM$ . Matériel placebo pour l'apprentissage visé.

Équivalence  $AK \Leftrightarrow UM$ . Matériel spécifique (nécessaire et suffisant) pour l'apprentissage visé.

Conjonction  $AK \wedge UM$ . Matériel parfait, utilisable et utile pour l'apprentissage visé.

Fonction NAND  $UM / AK$ . incompatibilité. Matériel nuisible pour l'apprentissage visé.

Ou exclusif  $UM \omega AK$ . Matériel nuisible pour l'apprentissage visé.

Indépendance  $AK$  est faux,  $\forall UM$  Matériel inutile pour l'apprentissage visé, bien que moyennement utilisable.

Implication  $\neg AK \Rightarrow UM$ . Matériel utilisable mais inutile pour l'apprentissage visé

Indépendance  $UM$  est faux,  $\forall AK$ . Matériel inutilisable visé.

Implication  $AK \Rightarrow \neg UM$ . Matériel paradoxal.

NOR (non ou)  $AK \downarrow UM$ . Matériel mauvais ou inadéquat pour l'apprentissage visé

Tautologie. Toutes les relations entre l'utilisation et l'apprentissage sont vraies.

### Application: Utiliser et apprendre avec un dictionnaire encyclopédique entre 8 et 11 ans

Pour illustrer ce cadre d'interprétation des liens entre l'apprentissage et l'utilisation d'un matériel, nous avons réalisé une expérience auprès d'élèves de Cycle III (en France, cela correspond aux trois classes de la fin de l'école primaire. Les élèves ont entre 8 ans au début de la première année et 11 ans à la fin de la troisième année). Notre objectif est, plus précisément, de montrer les diverses relations possibles entre l'apprentissage et l'utilisation d'un matériel fréquemment présent dans les situations scolaires. Nous avons proposé à des élèves de Cycle III de rédiger des définitions de mots, en s'aidant ou non d'un dictionnaire encyclopédique. Les mots recherchés sont soit connus des élèves (auquel cas, le dictionnaire est a priori peu utile, il n'y a rien à apprendre), soit inconnus des élèves (auquel cas, le dictionnaire est a priori utile, il y a des mots à apprendre). Deux versions du même dictionnaire sont utilisées: Une version papier et une version électronique (pour chaque élève, soit l'une, soit l'autre). Nous faisons les hypothèses suivantes sur la nature de la relation entre les deux variables. En début de Cycle III le dictionnaire encyclopédique proposé est inutilisable (les

élèves n'ont pas encore appris à l'utiliser), donc les élèves n'apprennent rien; la distribution des performances correspond au matériel "inadéquat". En fin de Cycle III le dictionnaire proposé est utilisable et les élèves apprennent des mots nouveaux; la distribution des performances correspond au matériel "parfait". En fin de Cycle III le dictionnaire proposé est "inadéquat" pour les mots connus.

Ainsi nous faisons l'hypothèse que le même matériel est inadéquat pour les sujets qui ne savent pas l'utiliser et pour les sujets qui savent l'utiliser mais qui connaissent déjà le sens des mots à définir. Nous faisons aussi l'hypothèse que la version papier, plus habituelle pour les élèves, est plus utilisable, car il n'y a pas de transfert.

Nous avons considéré qu'un dictionnaire est utile quand il permet d'apprendre la définition d'un mot que l'on ne connaît pas et utilisable quand il permet de trouver la définition que l'on cherche.

### **Méthode**

Les 49 élèves qui ont passé l'expérience sont issus de trois classes différentes de trois écoles différentes du Tarn et Garonne, au Sud Ouest de la France. Une de ces écoles est dans un quartier urbain populaire et deux en zones rurales. Parmi les élèves, 39 sont en 3<sup>ème</sup> classe de cycle 3, 6 en 2<sup>ème</sup> classe et 4 en 1<sup>ère</sup> classe ; 32 sont des filles et 17 des garçons. L'expérience a eu lieu au mois de juin, à la fin de l'année scolaire.

La passation est individuelle. L'élève reçoit un carnet de 6 pages, avec, sur chaque page, un mot à définir. Ces mots sont Epitaphe, Ecchymose, Didascalie, Escargot, Bouteille, Escalier. En Français, ces mots sont tri ou quadrisyllabiques, de début d'alphabet, trois d'entre eux sont connus des élèves, trois d'entre eux sont inconnus (notre expérience vérifie ce fait). L'ordre de présentation des mots suit une rotation de telle sorte que au total chaque mot apparaît à chaque page du carnet avec la même fréquence (i.e. 5 à 6 fois).

La consigne est la suivante. "Bonjour, je te propose de jouer au jeu du dictionnaire. Je vais te proposer une liste de mots. Tu en connais certains, d'autre pas. Pour chaque mot, tu vas essayer d'écrire une définition. Ensuite, il y a deux cas. Soit tu penses avoir besoin du dictionnaire. Tu pourras alors chercher la définition. Mais attention, je ne te laisserai qu'une minute et demie pour trouver la définition. Je te redemanderai la définition. Soit tu estimes ne pas avoir besoin du dictionnaire, et on passe au suivant". Pour chaque mot, au-dessous de l'espace donné pour sa première définition, il est demandé à l'élève d'évaluer s'il est sûr, peu sûr ou absolument pas sûr de cette définition.

Pour la moitié des élèves, le choix est donné entre le dictionnaire électronique et le papier. Pour l'autre moitié, la version est imposée (la moitié des élèves avec la version électronique, l'autre moitié avec la version papier). Les élèves sont répartis dans chaque groupe expérimental en fonction de l'ordre alphabétique des noms. Dans les deux cas, le dictionnaire est fermé au bout de 1'30'' ou quand la définition est trouvée, de sorte qu'il ne s'agisse pas pour l'élève de recopier la définition.

### **Résultats**

Les élèves de 1<sup>ère</sup> année de Cycle III ne réussissent pas à utiliser le dictionnaire proposé dans le temps imparti. Quand on leur en laisse le temps, 8' à 18' sont nécessaires pour trouver les définitions. Il a donc été décidé de ne pas faire passer l'expérience à plus de 4 élèves, ceux-ci étant décontenancés par cette tâche infaisable. Remarquons qu'un élève ayant mis trop de temps pour chercher son premier mot (bouteille), a décidé de ne pas utiliser le dictionnaire pour les 5 autres mots. Il a mis 11' pour écrire les 6 définitions.

Conformément à notre hypothèse, l'outil semble inadéquat, car il y a quelque chose à apprendre mais l'apprentissage est impossible car l'utilisation du matériel est impossible. Pour apprendre un mot nouveau dans un dictionnaire il faut avoir appris à se servir du dictionnaire.

Pour les 45 élèves de 2<sup>nd</sup>e et 3<sup>è</sup>me année de Cycle III ayant cherché 6 mots (soit 270 définitions), on observe que pour les mots inconnus, le dictionnaire est un outil presque “parfait”. Il est à 80% utile et utilisable. Pour reprendre les termes de Bernard (1999) il y a une relation de quasi-conjonction à .80 entre l’apprentissage des mots nouveaux et l’utilisation du dictionnaire. En revanche, pour les mots connus, le dictionnaire bien qu’utilisable (et utilisé) est inutile. Les élèves semblent sur-utiliser le dictionnaire, quelle que soit sa version (seulement 25% des mots connus ne sont pas recherchés).

Tableau 4

Relations entre apprentissage et utilisation selon que les mots sont connus ou in connus

	Mots connus		Mots inconnus	
	Utilise	N'utilise pas	Utilise	N'utilise pas
Apprend	3 (f=.02)	6 (f=.04)	108 (f=.80)	0 (f=.00)
N'apprend pas	90 (f=.67)	36 (f=.27)	22 (f=.16)	5 (f=.04)

Parmi les élèves qui ont le choix, 19 préfèrent utiliser le dictionnaire électronique et 4 le dictionnaire papier. Si l’on cumule les comportements des élèves qui ont eu le choix et ceux qui ne l’ont pas eu, on obtient la distribution des fréquences suivante.

Tableau 5

Relations entre apprentissage et utilisation selon que les mots sont connus ou inconnus avec le dictionnaire électronique ou papier

	Mots connus		Mots inconnus	
	Utilise	N'utilise pas	Utilise	N'utilise pas
Dictionnaire électronique				
Apprend	.02	.06	.81	.00
N'apprend pas	.58	.33	.14	.05
Dictionnaire papier				
Apprend	.02	.00	.78	.00
N'apprend pas	.86	.12	.22	.00

Contrairement à notre hypothèse, il y a apparemment peu de différence entre l’utilisation des dictionnaires papier et électronique. On notera toutefois pour les cas où le dictionnaire est *a priori* inutile, que les élèves ont tendance à plus utiliser le dictionnaire quand celui-ci est en papier que quand il est électronique. Nos observations semblent aussi indiquer que, globalement, le temps moyen mis par les élèves pour trouver une définition dans le dictionnaire électronique est inférieur au temps mis par les élèves ayant cherché dans le dictionnaire papier.

### Discussion générale

Dans cet article nous avons décrit différentes relations possibles entre l’utilisation de matériels et l’apprentissage. Nous avons proposé de décrire ces relations de façon logique. Ce cadre logique permet de formuler des hypothèses directement sur la relation entre l’utilisation de matériels d’apprentissage et l’apprentissage lui-même. Ce cadre logique permet aussi d’interpréter conjointement des résultats obtenus dans des expériences où l’on peut mesurer avec des variables

binaires l'utilisation du matériel d'une part, l'apprentissage d'autre part. Nous avons illustré ces points avec une expérience. Il manque à ce cadre une méthode statistique qui permettrait de décider quelle colonne de la table de vérité correspond aux résultats obtenus, quelle est la significativité de ces résultats et comment traiter des variables non binaires. Nous travaillons à l'élaboration de cette méthode actuellement.

La théorie de la charge cognitive est une théorie qui permet entre autres d'évaluer et d'améliorer un matériel d'apprentissage. Au sein de cette théorie, l'effet de renversement montre que l'amélioration d'un matériel d'apprentissage tend à rendre le traitement plus difficile quand l'expertise des apprenants augmente. Ainsi la théorie de la charge cognitive apparaît de plus en plus comme une théorie de la pertinence (Sperber & Wilson, 1995), c'est à dire comme une théorie de la relation entre un matériel d'apprentissage, un objectif d'apprentissage et un apprenant. Notre cadre permet de formuler des hypothèses sur cette relation. Elle permet donc d'envisager la théorie de la charge cognitive comme une théorie falsifiable de la pertinence dans le domaine des apprentissages.

### References

- Anderson, J. R. (1990). The adaptative character of thought. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Anzai, Y., & Simon, H. A. (1979). The theory of learning by doing. Psychological Review, 86, 124-140.
- Bernard, J. M. (1999). Implicative analysis for multivariate binary data using an imprecise Dirichlet model. 1<sup>st</sup> International Symposium on Imprecise Probabilities and Their Applications, Ghent, Belgium, 29 June – 2 July.
- Berry, D. C. (1997). How implicit is implicit learning? Oxford: Oxford University Press.
- Bobis, J., Sweller, J., & Cooper, M. (1993). Cognitive load effects in a primary school geometry task. Learning and Instruction, 3, 1-21.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. Cognition and Instruction, 8, 293-332.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. Applied Cognitive Psychology, 10, 151-170.
- Cunningham, A. E. (1990). Explicit versus implicit instruction in phonemic awareness. Journal of Experimental Child Psychology, 50, 429-444.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. Human Factors, 40, 1-17.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2001). Learner experience and efficiency of instructional guidance. Educational Psychology, 21, 5-23.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. Journal of Educational Psychology, 93, 579-588.
- Mousavi, S., Low, R., & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. Journal of Educational Psychology, 87, 319-334.
- Myles-Worsley, M., Johnston, W. A., & Simons, M. A. (1988). The influence of expertise on X-Ray image processing. Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition, 14, 553-557.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics : a cognitive-load approach. Journal of Educational Psychology, 84, 429-434.

Perfetti, C. A., Beck, I., Bell, L. C., & Hughes, C. (1987). Phonemic knowledge and learning to read are reciprocal: A longitudinal study on first-grade children. Merill-Palmer Quaterly, *33*, 283-319.

Pierce, K.A., Duncan, M. K., Gholsn, B., Ray, G. E., & Kambi, A. G. (1993). Cognitive load, schema acquisition, and procedural adaptation in nonisomorphic analogical transfer. Journal of Educational Psychology, *85*, 66-74.

Raufaste, E., Eyrolle, H., & Mariné, C. (1998). Pertinence generation in radiological diagnosis: Spreading activation and the nature of expertise. Cognitive Science, *22*, 517-548.

Reder, L., & Anderson, J. (1982). Effects of spacing and embellishment on memory for main points of a text. Memory and Cognition, *10*, 97-102.

Sander, E., & Richard, J. F. (1997). Analogical transfert as guided by an abstraction process: The case of learning by doing in text editing. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, *23*, 1459-1483.

Schacter, D. L. (1987). Implicit memory: History and current status. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, *13*, 501-518.

Sperber, D., & Wilson, D. (1995). Relevance. Communication and cognition. Second edition. Oxford: Blackwell.

Stadler, E. S., & Frensch, P. (Eds.), (1998). Handbook of implicit learning. Thousands Oaks, CA: Stage Publications.

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

Sweller, J. (1989). Cognitive technology: Some procedures for facilitating learning and problem solving in mathematics and science. Journal of Educational Psychology, *81*, 457-466.

Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. Cognition and Instruction, *12*, 185-233.

Sweller, J., van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. Educational Psychology Review, *10*, 251-296.

Tricot, A. & Tricot, M. (2000). Un cadre formel pour interpréter les liens entre utilisabilité et utilité des systèmes d'information (et généralisation à l'évaluation d'objets finalisés). Colloque Ergo-IHM 2000, Biarritz, 3-6 octobre.

Tuovinen, J., & Sweller, J. (1999). A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. Journal of Educational Psychology, *91*, 334-341.