

ÉTUDE DE LA NATURE DES PROCESSUS COGNITIFS: LE MODÈLE MENTAL COMME SOURCE DE CRÉATIVITÉ¹

Denis Bédard

Professeur adjoint - Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke

PROBLÈME

Les habiletés techniques complexes, comme celles en électronique, sont typiquement apprises de deux façons. Premièrement, les connaissances théoriques sont acquises à partir de manuels, de présentations en classe et de diverses autres sources. Deuxièmement, les habiletés et méthodes de résolution de problèmes sont apprises en situation de laboratoire où l'accent est mis sur l'apprentissage par la pratique (*learning by doing*). Cependant, les étudiants ont typiquement de la difficulté à établir un lien entre leurs connaissances théoriques et les procédures apprises en situation de laboratoire. Cette difficulté se reflète dans l'inefficacité des étudiants à évaluer correctement les problèmes qui leur sont présentés (p.ex., l'analyse de circuits électroniques) et à utiliser une telle évaluation afin de guider leurs opérations de résolution de problèmes (p.ex., le dépannage de circuits).

Il a été suggéré qu'une façon d'améliorer l'apprentissage et l'utilisation d'habiletés complexes et techniques est de «situer» l'apprentissage de la théorie dans le contexte de la résolution des problèmes (p.ex., Brown, Collins et Duguid, 1989; Lave et Wenger, 1991). Dans le but de développer de telles stratégies d'enseignement situées, nous avons besoin de plus d'information au sujet de la nature des processus cognitifs et des représentations conceptuelles qui sont requises pour apprendre et mettre en pratique des connaissances complexes, des stratégies d'analyse et des procédures de résolution de problèmes dans des domaines d'enseignement technique et général.

CONTEXTE THÉORIQUE

L'acquisition d'habiletés dans des domaines techniques implique l'apprentissage de connaissances conceptuelles. Il est également nécessaire d'apprendre quand et comment utiliser ces connaissances, c'est-à-dire qu'un important préalable pour la résolution de problèmes est que les connaissances pertinentes soient accessibles lorsqu'elles sont requises (Bransford, Sherwood, Vye et Reiser, 1986). Lorsque l'accessibilité et/ou la pertinence des connaissances n'est pas reconnue, elles deviennent peu utiles. Par exemple, dans le cadre d'une recherche réalisée par Bransford et ses

collègues (Bransford, Sherwood, Kinzer et Hasselbring, 1985), il a été demandé à des étudiants de niveau collégial de penser à des façons par lesquelles les logarithmes pouvaient être utilisés pour simplifier la résolution de problèmes en mathématiques. Les étudiants ont éprouvé beaucoup de difficultés. Bien que ces derniers puissent rappeler certaines notions concernant les logarithmes, la majorité les considérait comme des exercices mathématiques plutôt que comme une façon de simplifier la résolution de problèmes. De plus, les recherches ont démontré que, pour certaines tâches, les étudiants n'accèdent pas aux connaissances de stratégies et d'indices pertinents à la résolution de la tâche, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas utilisées.

La capacité de transférer ou d'intégrer des notions théoriques apprises dans un contexte, par exemple une situation de classe, dans un autre contexte plus pratique, par exemple une situation de laboratoire, pour résoudre des problèmes fait souvent défaut. Certaines avenues ont été considérées pour contrer cette difficulté, comme les techniques basées sur la métacognition (p.ex., Wong, 1985). Ces efforts ont démontré comment l'apprentissage d'habiletés métacognitives (c'est-à-dire la capacité pour un étudiant d'analyser et de tenir compte de son processus de pensée) peut améliorer l'apprentissage. Bien que ces études aient mis l'accent sur l'apprentissage de «processus de gestion» (*executive processes*), elles n'ont pas souligné l'importance des connaissances spécifiques issues du domaine d'application, c'est-à-dire leur compréhension et leur utilisation. La recherche intéressée au rôle joué par différentes structures de représentation des connaissances (p.ex., Anderson, 1983, 1993; Gentner et Stevens, 1983; Halford, 1993; Johnson-Laird, 1983) vis-à-vis de l'apprentissage et de la résolution de problèmes dans des domaines complexes procure une base de référence sur laquelle peuvent reposer des théories au sujet des conditions d'accessibilité aux connaissances antérieures.

Parmi les éléments importants à considérer dans l'exécution de tâches complexes, comme le dépannage de circuits électroniques, se trouvent les représentations

1. Cette recherche a été subventionnée par une bourse du Conseil de recherches en sciences humaines du Canada.

conceptuelles qui doivent être générées afin de représenter l'information contenue dans l'énoncé et la structure d'un problème (p.ex., Carroll et Reitman Olson, 1987). Typiquement dans les domaines techniques (p.ex., l'électronique) l'information reliée aux tâches à accomplir est acquise à partir d'informations textuelles (p.ex., l'énoncé du problème) et graphiques (p.ex., le schéma de détails du circuit). La structure de ces tâches inclut des informations telles que le but à atteindre (circuit fonctionnel), les différents états du problème (états du circuit), de même que les procédures pertinentes à l'atteinte de la solution. De plus, être capable de comprendre l'objet d'étude (p.ex., un circuit électronique) en terme de connaissances théoriques ou conceptuelles au sujet de sa structure et de son fonctionnement sous-tend l'habileté à résoudre le problème. Cependant, les stratégies permettant une représentation et une utilisation efficace de cette information théorique ne sont pas transmises aux étudiants dans le contexte de la résolution de problèmes. Elles doivent plutôt être inférées de façon implicite par les étudiants. Ainsi, bien que les connaissances antérieures et le niveau de compréhension jouent un rôle déterminant dans la capacité d'un individu à solutionner avec succès des problèmes nouveaux ou non routiniers, l'habileté à utiliser les connaissances théoriques qu'un individu possède dans la résolution de problèmes n'est pas enseignée explicitement.

Un problème essentiel relié à l'étude de l'utilisation de connaissances déclaratives (circuit) dans un domaine, est d'avoir des modèles théoriques bien définis permettant de représenter les connaissances déclaratives et procédurales, de même que des méthodes qui peuvent être utilisées afin d'appliquer ces modèles pour construire des représentations des connaissances expertes dans ce domaine.

Un modèle expert peut être utilisé afin d'évaluer les connaissances des sujets et pour analyser leur performance durant la résolution d'un problème (Frederiksen et Breuleux, 1990; Lesgold, Lajoie, Logan et Eggan, 1990). La recherche intéressée à comparer la performance d'experts et de novices (p.ex., Larkin, McDermott, Simon et Simon, 1985) a souligné la nécessité d'élaborer et d'utiliser des modèles experts comme base de référence pour l'évaluation des connaissances et des processus cognitifs dans l'étude de la résolution de problèmes dans des domaines complexes. Cependant, la recherche visant l'étude des différences entre experts et novices n'a pas mis l'accent sur l'analyse détaillée (a) des connaissances antérieures qu'un individu possède et (b) de leur utilisation en situation de résolution de problèmes. De plus, très peu ont proposé et effectivement introduit un groupe de niveau intermédiaire permettant ainsi une meilleure caractérisation de l'utilisation des connaissances en fonction du niveau d'expertise.

Des méthodes d'analyse sémantique issues de la recherche sur la compréhension de discours (p.ex., Frederiksen, 1985) ont été développées afin de représenter, sous la forme de réseaux sémantiques, les connaissances théoriques et procédurales dans des domaines complexes (Frederiksen, 1989). Ces méthodes offrent un compte-rendu plus complet des connaissances et de leur utilisation pour des tâches où une performance réussie dépend de l'habileté des étudiants à utiliser des stratégies de résolution de problèmes.

La présente recherche a utilisé une série de tâches afin d'évaluer (a) les connaissances antérieures d'étudiants de l'ordre d'enseignement collégial à propos de circuits électroniques, (b) leur performance lors du dépannage de circuits électroniques (résolution de problèmes) et (c) leur compréhension des circuits. Des modèles formels de la représentation sémantique des connaissances ont été générés à partir de protocoles produits par des experts en situation de résolution de problèmes. Les «modèles experts» ainsi produits, représentant les connaissances déclaratives et procédurales, ont été utilisés pour analyser la performance des sujets.

OBJECTIFS

- 1) Étudier le comportement typique des sujets novices, intermédiaires et experts dans la réalisation d'une tâche mal définie (dépannage de circuits) issue d'un domaine sémantiquement riche et complexe (électrotechnique).
- 2) Déterminer l'impact des connaissances antérieures conceptuelles (circuit) dans le processus de raisonnement du «résolveur» de problèmes.
- 3) Identifier le rôle particulier joué par les connaissances déclaratives et procédurales sur la performance des sujets en situation de résolution de problèmes.

MÉTHODOLOGIE

Les sujets étaient répartis en trois groupes: (a) six étudiants de deuxième année dans le programme de technique de génie électrique au cégep, (b) six techniciens juniors ayant une expérience maximale de cinq (5) ans sur le marché du travail et (c) quatre experts (deux techniciens expérimentés ayant cumulé au-delà de 20 ans d'expérience; deux enseignants du programme de technique en génie électrique ayant un diplôme universitaire en génie électrique). Tous les groupes ont eu à résoudre trois problèmes ayant un niveau de complexité variable. Une situation de résolution de problèmes consistait ici à déterminer l'état des circuits électroniques présentés aux sujets et, le cas échéant, à identifier la cause de la panne présente. Les trois tâches de résolution de problèmes ont utilisées le même type de circuit (1er, sans défaut, V1 - 2e, régu-

lateur défectueux, V2 - 3e, soudure froide sur une diode, V3). Les sujets ont produit des protocoles de pensée à voix haute durant leur performance pour chacune des tâches.

La présente recherche a utilisé un design factoriel mixte inter-sujets à mesures répétées. La variable inter-groupes était le *niveau d'expertise* (3) et la variable intra-groupe était la *complexité de la tâche* — complexité des problèmes de dépannage (3).

Un circuit d'alimentation à courant continu a été utilisé, produisant une sortie de 5 volts DC (voir la *Figure 1*). La *Figure* montre les principales unités fonctionnelles (ou blocs) du circuit. Un schéma de détails du circuit était donné aux sujets durant l'expérimentation sur lequel n'apparaissaient pas les Fonctions du circuit. Les sujets avaient à leur disposition un oscilloscope (*Tektronix 2215, dual trace, probes X10*) afin d'obtenir une réponse du circuit.

L'analyse des données reposait sur l'utilisation de deux modèles experts représentant (1) les connaissances théoriques du circuit d'alimentation (*fonction - parties - structure*, pour chacun des niveaux d'organisation des connaissances, *circuit - blocs - composants*) et (2) la procédure de dépannage pour ce type de circuit (ce modèle est également appelé *Modèle empirique de performance* ou MEP puisqu'il ne vise pas à décrire la performance optimale de dépannage du circuit, mais bien un ensemble de procédures raisonnables pouvant être générées afin de dépanner le circuit). Ces modèles ont été produits par un professeur d'université en génie électrique. Les réponses verbales données par l'expert en génie électrique ont été analysées en utilisant une grammaire sémantique. L'utilisation de cette grammaire a permis de produire deux modèles très explicites des connaissances déclaratives et procédurales reliées à la tâche. Ces modèles ont par la suite été représentés sous la forme de réseaux sémantiques représentant les connaissances théoriques ou conceptuelles du circuit (voir la *Figure 2*) et les connaissances procédurales reliées à la tâche (voir la *Figure 3*).

Les «modèles experts» ont été utilisés comme canevas permettant de coder les protocoles des sujets. Les analyses ainsi produites ont permis d'obtenir des informations détaillées concernant la nature des processus cognitifs et des représentations des connaissances entre les groupes de sujets en fonction de la complexité de la tâche.

Tâche

La présente recherche a utilisé une série de tâches qui évaluent (a) les connaissances antérieures des sujets pour le type de circuit, (b) leur performance en situation de dépannage (résolution de problèmes), and (c) leur compréhension du circuit utilisé.

- Premièrement, on a posé aux sujets une série de questions (entrevue structurée) pour évaluer leurs connaissances antérieures d'un circuit d'alimentation à courant continu. Les questions touchaient les connaissances des sujets pour le *circuit*, les *blocs* (unités fonctionnelles), et les *composants* (3 niveaux) en relation avec leurs *fonctions*, *structures* et *parties* (3 types).

- Deuxièmement, la tâche principale consistait à faire le dépannage de trois circuits d'alimentation avec l'aide d'un oscilloscope. Tous les circuits étaient identiques à l'exception de leur état de fonctionnement. On a demandé aux sujets d'évaluer l'état de chaque circuit, à tour de rôle, en utilisant l'oscilloscope. Ils devaient penser à voix haute durant leur performance, sans limite de temps. Les trois circuits ont été présentés dans un ordre fixe, c'est-à-dire du plus simple au plus complexe. La tâche de dépannage se terminait lorsque le sujet établissait un diagnostic vis-à-vis de l'état du circuit.

- Troisièmement, une tâche de compréhension concluait la rencontre. Les sujets devaient répondre à deux questions afin de déterminer leur compréhension de la structure et du comportement du circuit.

Trois sources de données

- (1) Connaissances antérieures du circuit (enregistrement audio)
 - Contexte - Entrevue structurée/questions (aucun matériel)
- (2) Protocoles de pensées à voix haute (enregistrement vidéo et audio)
 - Contexte - Circuits d'alimentation (3)
 - Schéma de détails
 - Oscilloscope
- (3) Compréhension du circuit (enregistrement vidéo et audio)
 - Contexte - Circuit
 - Schéma de détails
 - Oscillogramme
 - Questions

Analyse des données

Données: les réponses verbales aux questions, les protocoles de pensée à voix haute et les actions effectuées par les sujets.

Variables dépendantes: les fréquences des catégories de relations et de concepts issues de la comparaison entre les protocoles des sujets et les modèles; le temps; le type d'erreurs.

Analyse statistique: modèle mixte d'analyse de variance multivariée à mesures répétées.

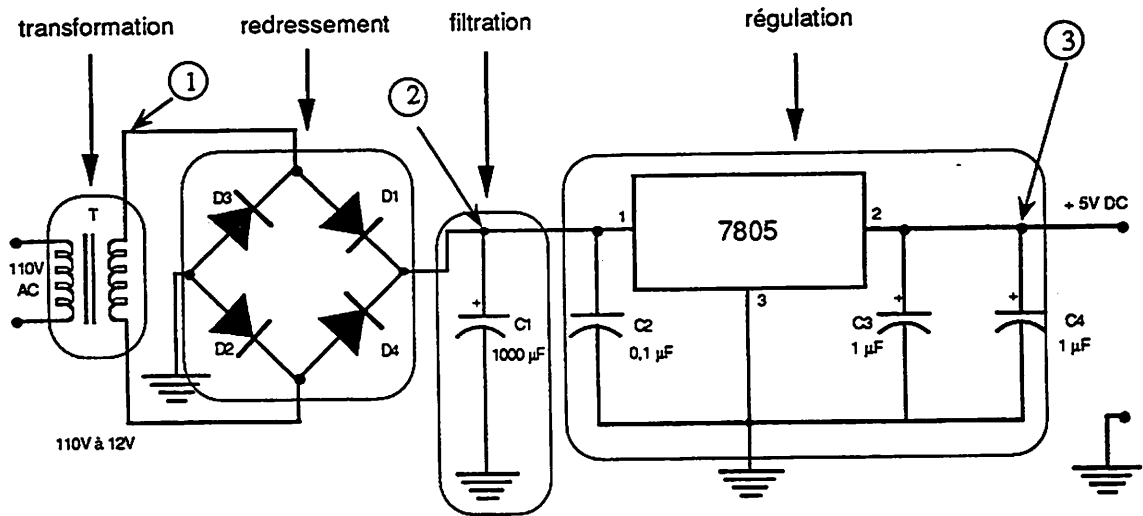


Figure 1. Schéma de détails du circuit d'alimentation à courant continu

Propriétés: C.A.C.C.

- fonction - convertir tension alternative de 110 V en tension continue de «x» V;
- parties - contient les Fonctions de Trans., Rec., Fil. et Rég.;
- structure - Fonctions placées en ordre: 1. Trans., 2. Rec., 3. Fil., 4. Rég (c.a.c.c. linéaire).

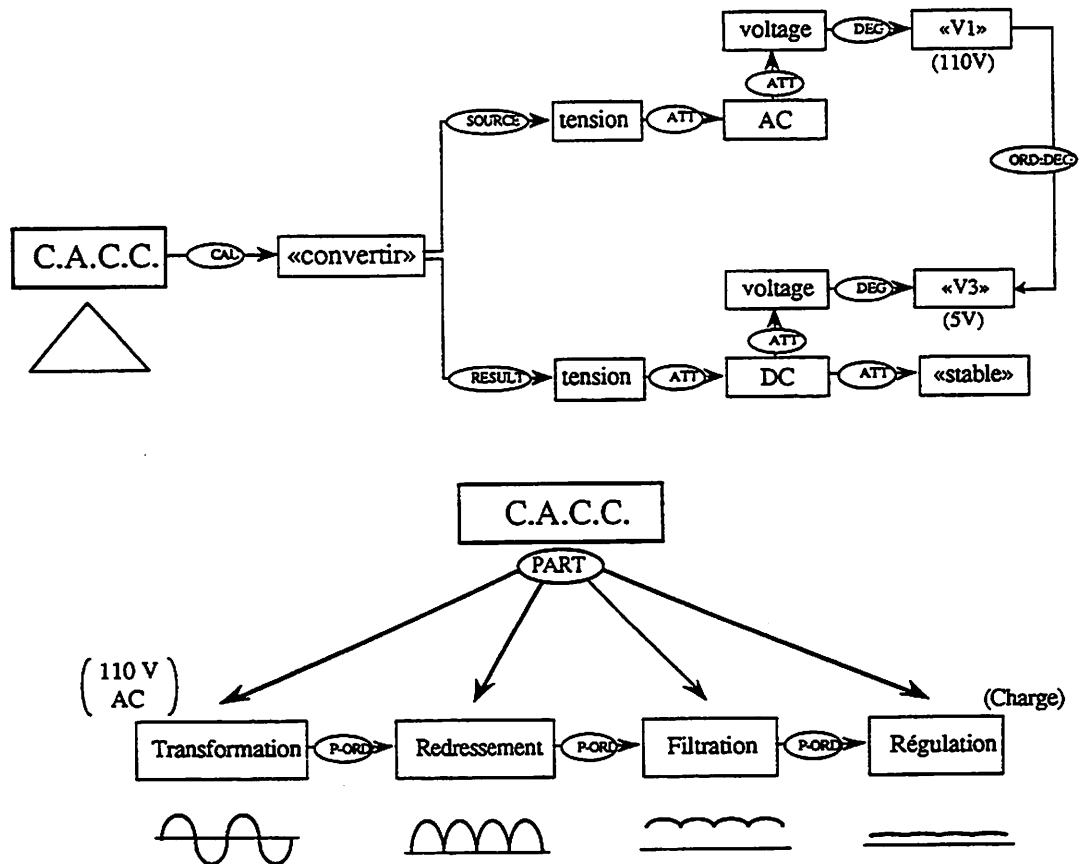


Figure 2. Présentation partielle du réseau sémantique représentant les connaissances conceptuelles du circuit d'alimentation à courant continu

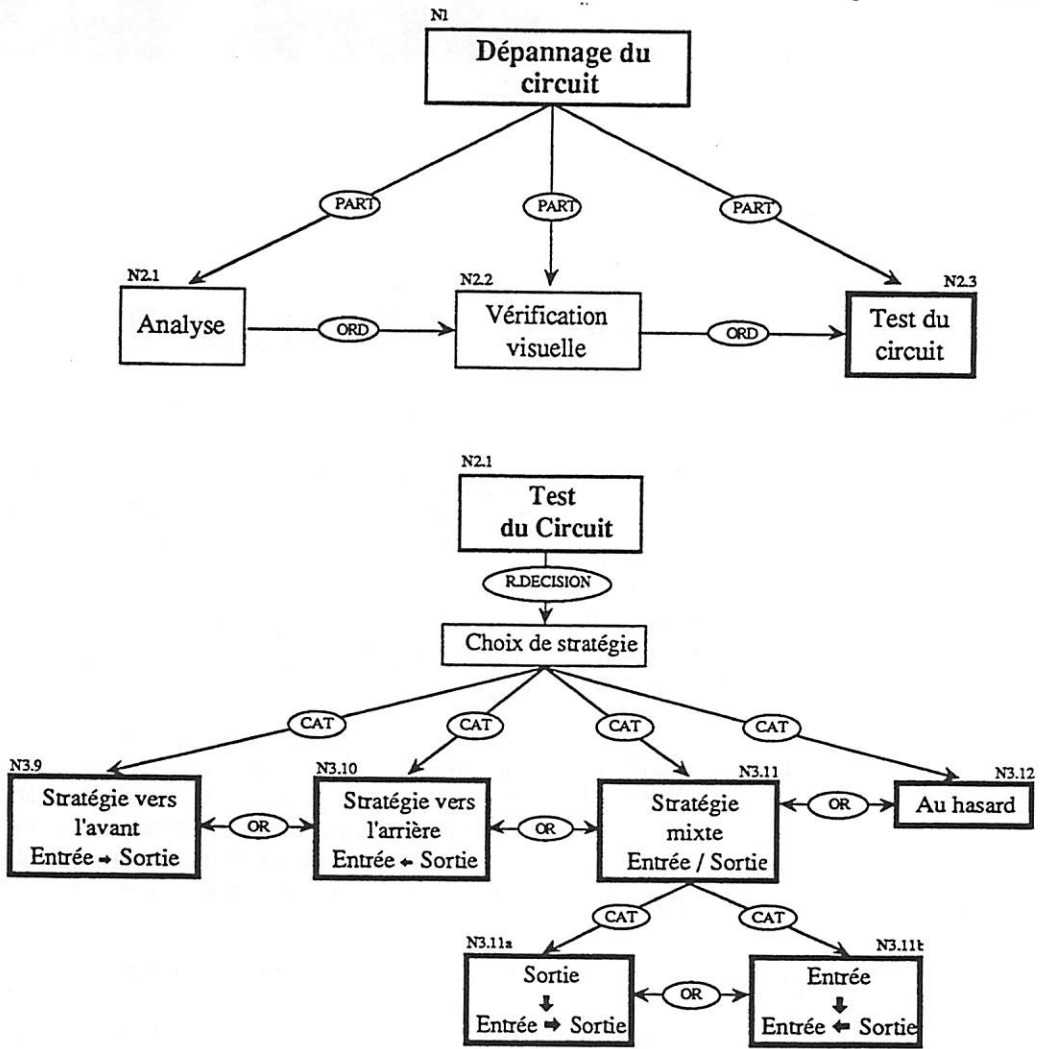


Figure 3.

Présentation partielle du réseau procédural pour la tâche de dépannage du circuit d'alimentation à courant continu ou modèle empirique de performance (MEP)

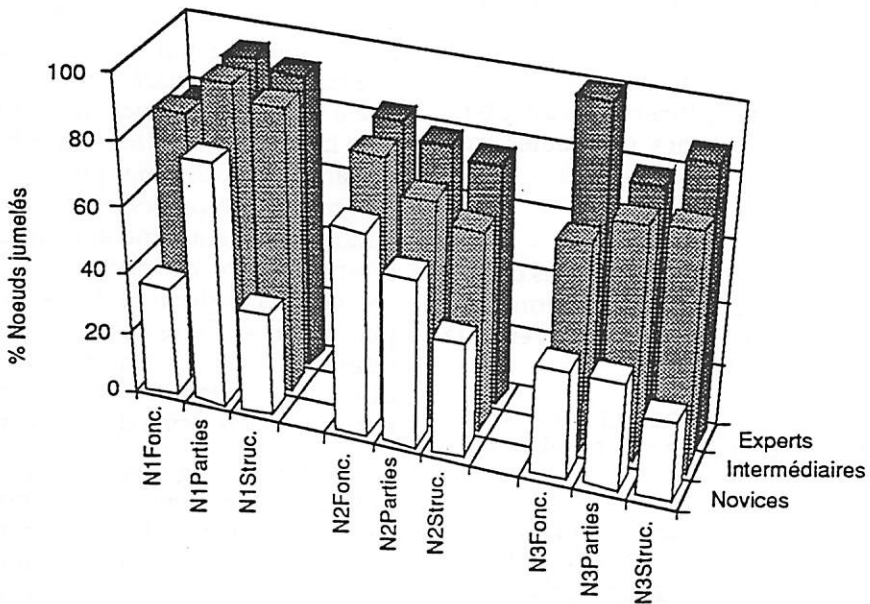


Figure 4.

Pourcentage moyen de noeuds du modèle correspondant aux réponses des sujets pour l'évaluation des connaissances antérieures

RÉSULTATS

A) Connaissances antérieures du circuit (voir la Figure 4)

Variable dépendante: nombre de segments jumelés au modèle des connaissances du circuit.

Les sujets *experts* et *intermédiaires* ont une connaissance semblable du circuit d'alimentation - *fonction, parties, structure* ($F(1,13) = 2.17, p < .1649$).

Les sujets *novices* démontrent un manque de connaissances du circuit lorsqu'on les compare aux experts ($F(1,13) = 61.01, p < .0001$).

B) Tâche de résolution de problèmes

ANALYSES QUANTITATIVES

1. Temps (voir la Figure 5)

La répartition du temps pour chacune des activités de dépannage est semblable pour tous les groupes de sujets (comme le temps total consacré au dépannage), c'est-à-dire qu'il n'y a aucune différence significative pour le facteur groupe vis-à-vis de l'utilisation du temps.

Les différents circuits influencent la répartition du temps, dans une certaine mesure (Circuits V2-V3, $F(1,13) = 5.46, p < .05$).

Le type d'activités durant le dépannage a une incidence certaine sur la répartition du temps ($F(2,12) = 33.16, p < .0001$).

2. Utilisation de procédures (voir la Figure 6)

L'utilisation de procédures durant le dépannage (la trace des noeuds procéduraux utilisés) est fortement déterminée par la tâche de résolution de problèmes (Circuit V1-V2, $F(1,13) = 8.43, p < .01$; Circuit V2-V3, $F(1,13) = 6.74, p < .05$). Cette variable n'est pas fonction du degré d'expertise.

De façon générale, les *experts*, les *intermédiaires*, et les *novices* utilisent les mêmes procédures et les adaptent en fonction des caractéristiques des problèmes (circuits dépannés).

3. Erreurs (voir la Figure 7)

Les données pour les erreurs montrent que les *experts* réussissent à détecter la source du mauvais fonctionnement du circuit, mais que les *novices* n'y arrivent que rarement ($F(1,13) = 8.92, p < .01$).

Les *intermédiaires* se situent à mi-chemin entre les *novices* et les *experts* pour ce qui est du nombre total d'erreurs commises.

Les *novices* font davantage d'erreurs théoriques, alors que les *intermédiaires* (et les *experts*, lorsqu'ils font des erreurs) font davantage d'erreurs procédurales.

Facteur	Aucun contrôle de la covariance			Avec contrôle de la covariance		
	F	d.f.	P	F	d.f.	P
Groupes: EXP-NOV	8.917	1,13	.0106	<1.0		
Types: Th-Pr	14.235	1,13	.0024	<1.0		

Tableau 1

Résultats comparatifs suite à l'analyse de covariance à mesures répétées des types d'erreurs pour les trois circuits (sommaire)

La source des erreurs commises par les novices ne provient pas d'une mauvaise utilisation des procédures appropriées; elle provient plutôt de leur inhabileté à interpréter correctement les résultats d'une procédure vis-à-vis du comportement du circuit (conn. théoriques).

4. Analyse de l'effet des connaissances antérieures sur le nombre et le type d'erreurs pour la tâche de dépannage (voir le Tableau 1)

Les résultats de l'analyse de covariance multivariée montrent que l'effet significatif obtenu précédemment ($F(1,13) = 8.92, p < .0106$) disparaît pour la comparaison NOV-EXP au niveau du facteur groupe lorsque la covariance contrôle les variables reflétant les connaissances antérieures des sujets ($F < 1.0$).

De même, les résultats obtenus à partir de l'analyse de la comparaison pour le type d'erreurs (*Th-Pr*) montraient un effet significatif ($F(1,13) = 14.24, p < .0024$) lorsque les données étaient regroupées pour les groupes. ($F(1,13) = 8.92, p < .01$).

Les résultats obtenus suite à l'analyse de covariance démontrent clairement le rôle déterminant des connaissances théoriques dans l'explication des erreurs commises par les sujets. La source des erreurs commises par les *novices* n'est pas reliée à leur inhabileté à utiliser des procédures adéquates. C'est plutôt leur incapacité à utiliser une base de connaissances déclaratives suffisante qui détermine la performance du groupe novice lors de la résolution des problèmes. Simon (1980) souligne également l'importance, pour le «résolveur» de problèmes, d'avoir accès à des connaissances *étendues* et *accessibles* afin de favoriser la performance. Cette absence de connaissances théoriques adéquates se traduit, chez les *novices*, par des difficultés à interpréter correctement les résultats des procédures en terme de comportement du circuit.

Ces résultats suggèrent donc qu'une caractérisation de la tâche de dépannage uniquement en terme de procédures serait trop limitée. Bien que l'application de procédures de dépannage adéquates soit une partie essentielle du processus de résolution de problèmes, il est nécessaire que le «résolveur» puisse faire référé-

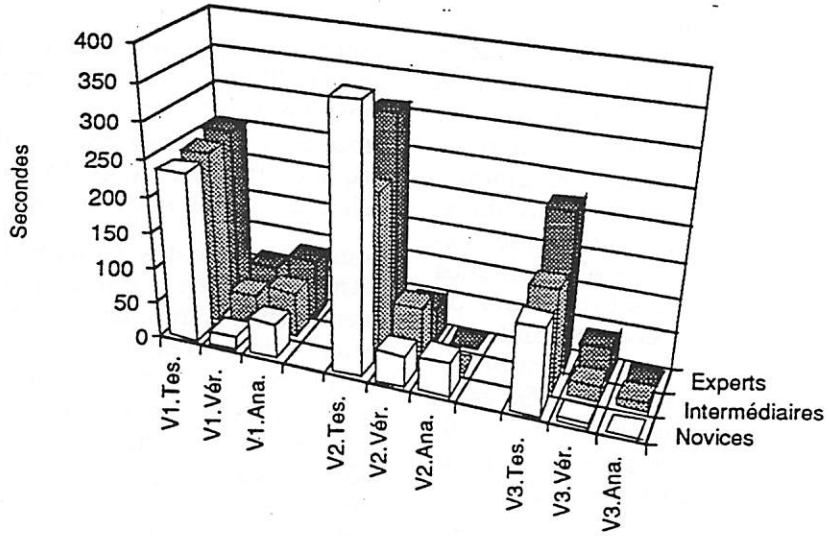


Figure 5. Comparaison entre les groupes quant au temps consacré au traitement de l'information de chacun des types d'activités en fonction des circuits

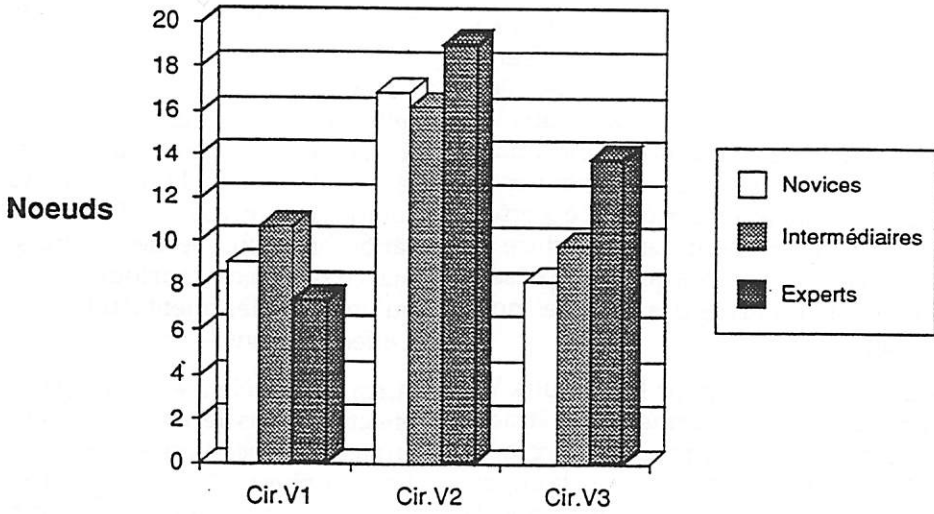


Figure 6. Nombre total de noeuds appliqués durant la résolution de problèmes

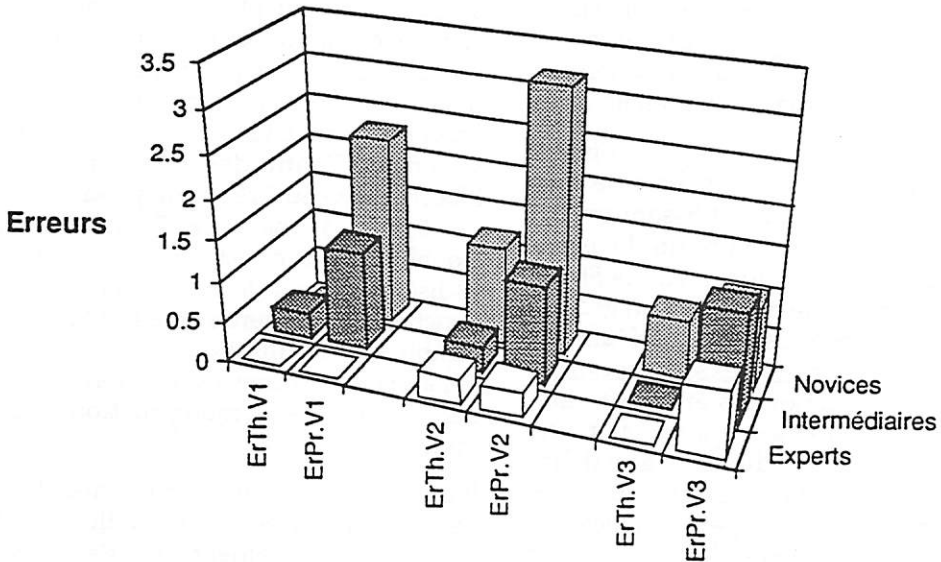


Figure 7. Nombre total d'erreurs pour chacun des groupes de sujets en fonction des circuits dépannés et du type d'erreurs

rence aux connaissances théoriques du circuit afin d'être à même de pouvoir interpréter les résultats obtenus. Ce constat souligne l'importance et le rôle joué par l'intégration des connaissances théoriques et des connaissances procédurales en situation de résolution de problèmes issus de domaines sémantiquement riches et complexes (Frederiksen et Breuleux, 1990). En conclusion, ces résultats indiquent que l'expertise pour le dépannage de circuits électroniques représente l'habileté à appliquer des procédures de dépannage en fonction du contexte et à interpréter les résultats selon un modèle représentant le comportement et la structure du circuit (Gentner et Stevens, 1983). Cette interprétation est supportée par les résultats des recherches en résolution de problèmes issus de domaines sémantiquement riches (p.ex., Chi et al., 1982) qui soulignent que la structure des connaissances en mémoire influence directement la performance des «résolveurs» de problèmes.

Analyses qualitatives

Les analyses qualitatives de la résolution de problèmes des sujets avaient comme but de modéliser la performance typique de chacun des groupes de sujets pour le dépannage qui a été effectué sur les circuits V1, V2 et V3. Ces analyses veulent donner une image complète de la performance de chacun des groupes de sujets sur la base du modèle empirique de performance (MEP) décrit précédemment. La procédure de codification des données est la même que celle présentée pour les analyses quantitatives des données pour la tâche de dépannage.

La performance de chaque sujet pour les circuits V1, V2 et V3 a été représentée sous la forme d'une «trace» des actions en fonction du modèle proposé. Typiquement, cette trace pourrait être représentée en la superposant au modèle de performance. Étant donné la dimension imposante du modèle et afin de rendre plus significative la représentation de cette trace, la performance des sujets a été représentée de façon concise en une figure arborescente unique qui ne présente pas l'ensemble des noeuds du modèle, mais uniquement ceux qui caractérisent la performance des sujets.

Un «modèle de performance» pour chaque groupe a été obtenu en comptabilisant la performance de tous les sujets d'un même groupe et en établissant un critère permettant de faire une sélection parmi l'ensemble des noeuds des modèles individuels (voir la Figure 8 et la Figure 9). Concrètement, le modèle d'un groupe donné ne comprend que les noeuds qui ont été jumelés à au moins la moitié des protocoles des sujets pour un même groupe. Ainsi, pour les novices et les intermédiaires, trois sujets sur six devaient avoir fait une action, correspondant à un noeud du MEP, afin d'être présente dans le modèle pour chaque groupe; pour les experts, les noeuds du modèle de performance devaient se retrouver chez au moins deux sujets sur

quatre. Le critère de 50 % a été retenu par opposition à un critère de correspondance plus élevé ou plus bas parce qu'il permettait (1) de donner une valeur représentative assez élevée au modèle pour chacun des groupes et en même temps (2) il permettait d'éviter le risque d'effeuiller exagérément les branches du modèle et ainsi risquer de le priver de sens.

Pour l'ensemble des résultats, ni le modèle de performance des *novices*, ni le modèle de performance des *intermédiaires* n'indique une procédure permettant de tester efficacement le circuit d'alimentation utilisé dans la présente recherche. Une procédure complète de *test du circuit* semble devoir s'appuyer sur un modèle mental explicite et intégré des connaissances théoriques du comportement de la forme d'onde dans le circuit en fonction de sa structure. Il semble que c'est l'utilisation d'un tel modèle mental, construit au cours de l'activité d'*analyse*, qui guiderait en partie le choix des tests effectués sur le circuit. La *figure 10* propose un modèle mental des connaissances conceptuelles pour le circuit d'alimentation utilisé dans la présente recherche.

Ce modèle mental représente l'information structurée du circuit d'alimentation. Ainsi, on y retrouve les trois niveaux d'organisation des éléments du circuit - le circuit (niveau 1), les Fonctions (niveau 2) et les composants (niveau 3). Le modèle démontre l'organisation hiérarchique de ces trois niveaux. La performance des sujets (surtout experts) permet de penser qu'un tel modèle mental influencerait le choix des tests à effectuer dans le circuit.

Ainsi, le modèle mental suggère que le premier test à effectuer dans le circuit, selon l'une ou l'autre des stratégies procédurales déjà identifiées, soit en fonction du niveau 1 où le circuit est représenté en tant qu'«élément unique», c'est-à-dire avec une entrée et une sortie. Ce premier test permettrait de déterminer si la «boîte noire» circuit reçoit ou produit la tension désirée. Suite au résultat obtenu, le modèle mental suggère qu'un deuxième test (ou série de tests), selon les cas, doit s'effectuer au niveau d'une des Fonctions (blocs - niveau 2) présente dans le circuit (entrée - sortie). Ce deuxième test permettrait de déterminer si l'une ou l'autre des «boîtes noires» Fonctions (ou blocs) du niveau 2 reçoit ou produit la tension désirée. Finalement, si une de ces Fonctions semble receler un trouble, un autre test (ou série de tests) devrait être réalisé au niveau des composants (niveau 3) de cette Fonction. La référence à ce modèle mental devrait se combiner à l'utilisation de certaines procédures de dépannage, comme l'exécution stratégique de tests dans le circuit et la manipulation d'un instrument de mesure.

Bien que l'utilisation d'un tel modèle mental «expert» des connaissances conceptuelles du circuit n'ait pas été expérimentalement évaluée dans le cadre de la

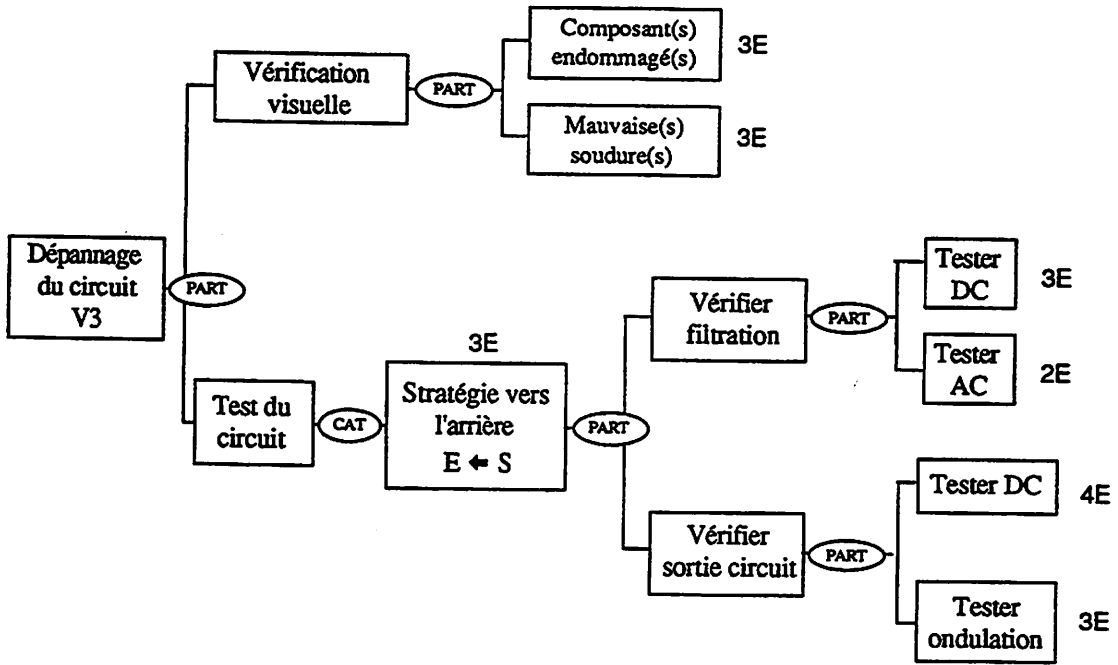


Figure 8. Modélisation de la performance du groupe expert pour le dépannage du circuit V3

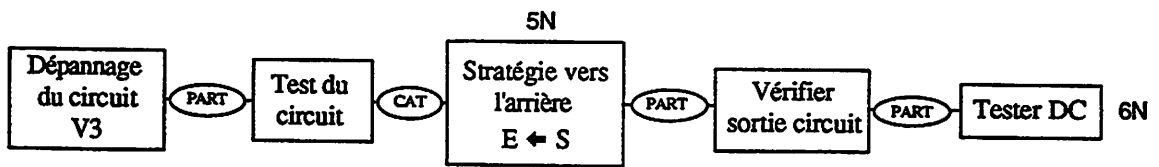


Figure 9. Modélisation de la performance du groupe novice pour le dépannage du circuit V3

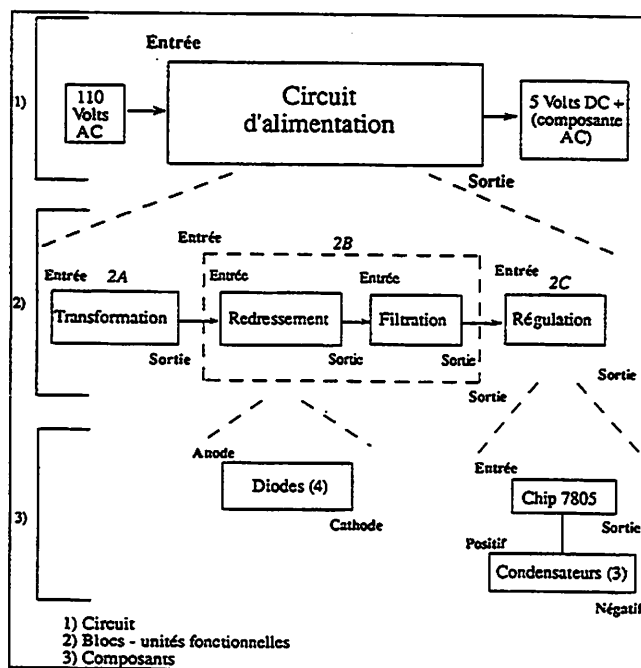


Figure 10. Modèle mental de la représentation des connaissances théoriques reliées au circuit d'alimentation utilisé dans la présente recherche.

présente recherche, de nombreux indices permettent d'en démontrer la présence — dans le cas des *experts*, ou la présence partielle (et, peut-être, l'absence) — dans le cas des *novices*.

C) Tâche de compréhension (voir la Figure 11)

Les résultats montrent qu'il existe un effet global significatif pour la comparaison NOV-EXP ($F(2,12) = 9.80, p < .003$). En moyenne, la compréhension du circuit des sujets experts est supérieure à celle des sujets novices lorsque l'on regroupe les données des deux questions.

Le groupe *expert* et le groupe *intermédiaire* ont une compréhension semblable du comportement du circuit en relation avec sa structure (intégration des connaissances).

Les *novices* démontrent une compréhension moins bien intégrée du comportement du circuit que les *experts* pour la question 1 ($F(1,13) = 4.90, p < .04$) et pour la question 2 ($F(1,13) = 20.62, p < .0006$).

Ainsi, pour la *question 1*, les sujets experts démontrent une meilleure compréhension de la structure du circuit (Fonction - blocs) que les sujets novices. De même, à la *question 2*, les sujets experts démontrent une meilleure compréhension que les novices du comportement de la forme d'onde dans le circuit en relation avec les unités fonctionnelles identifiées à la *question 1*.

Les réponses aux deux questions permettaient d'évaluer la compréhension (1) de la structure et (2) du comportement du circuit. Ces deux variables ont été évaluées indirectement par l'analyse qualitative de la performance des sujets pour le dépannage des trois circuits utilisés dans la présente recherche. Le modèle mental produit à l'occasion de l'interprétation de ces données démontrait l'impact, sur la performance des

sujets, de leur représentation — *compréhension* — de la structure du circuit (blocs) et de son effet sur le comportement de la forme d'onde. L'analyse comparative des données issues de cette analyse qualitative et des données issues de la présente analyse de la compréhension du circuit met en évidence l'importance des connaissances conceptuelles du circuit.

Le modèle empirique de performance (MEP) utilisé comme base de référence pour l'analyse des données concernant la tâche de dépannage identifie trois grands types d'activités: (1) l'analyse, (2) la vérification visuelle et (3) le test du circuit. La première activité, l'analyse, est caractérisée par le désir de mieux comprendre le circuit par l'étude du schéma de détails qui l'accompagne. Cette analyse a généralement comme but l'identification des caractéristiques du circuit, c'est-à-dire sa structure, afin d'en inférer le comportement. C'est donc à cette étape que les sujets s'approprient le circuit sur un plan conceptuel et donc, essaient de le comprendre.

EN RÉSUMÉ

Les *novices* manquent de connaissances théoriques et font des erreurs théoriques.

Les *intermédiaires* ne démontrent pas un manque de connaissances théoriques mais ils éprouvent quelques difficultés à les utiliser correctement.

Les *experts* démontrent des connaissances théoriques et des procédures de dépannage bien intégrées. Ils sont capables d'utiliser les procédures appropriées et d'interpréter correctement les résultats obtenus afin d'identifier les causes du trouble dans le circuit.

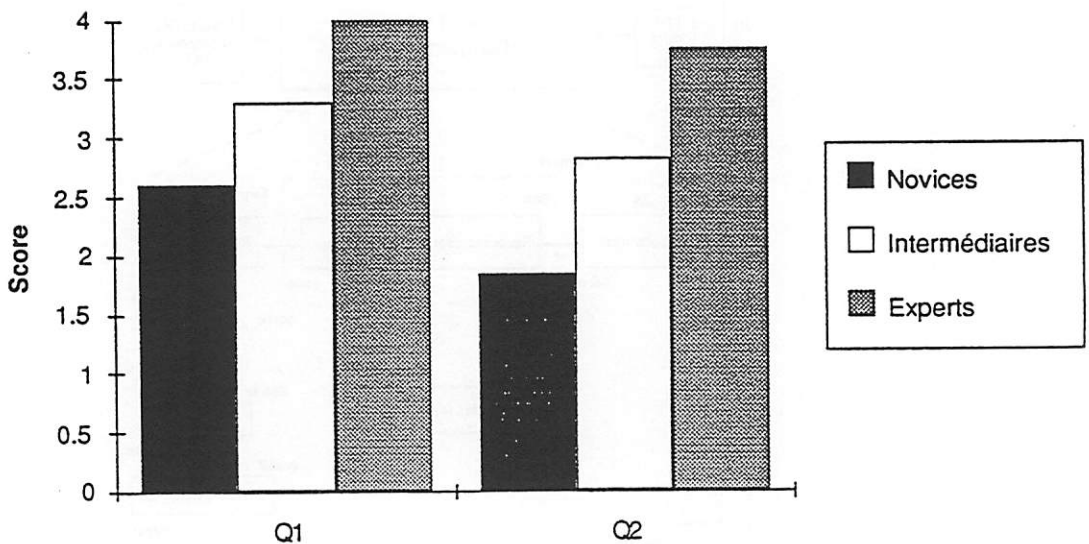


Figure 11.

Score moyen obtenu pour chacun des groupes de sujets aux deux questions pour la tâche de compréhension du circuit.

CONCLUSION

L'habileté à résoudre des problèmes issus de domaines sémantiquement riches et complexes pourrait être considérée comme principalement tributaire de l'utilisation par le «résolveur» de problèmes d'une séquence de procédures quelconque lui permettant d'atteindre le but désiré. En ce sens, il serait possible de parler d'une situation où l'expertise correspondrait essentiellement à l'application ordonnée (logique) de procédures standards. Les résultats obtenus dans le cadre de la présente recherche réfutent cependant cette interprétation limitée du phénomène. La résolution de problèmes issus de domaines sémantiquement riches n'est pas un geste routinier du point de vue de l'en semble des connaissances théoriques auxquelles doit faire référence le «résolveur» de problèmes.

L'importance de la compréhension

Dans le cadre de la performance globale de dépannage, l'analyse du circuit et du schéma de détails représente l'étape initiale de la résolution du problème et constitue le moyen par lequel une représentation ou un modèle mental du circuit est bâti en mémoire. Ce processus consiste à identifier les composants, la structure et le comportement du circuit. Cette représentation deviendra la base sur laquelle le dépanneur de circuit expert construira des actions raisonnables visant à vérifier l'état du circuit et le cas échéant à le dépanner. Comprendre le circuit constitue donc un aspect crucial de la capacité de l'individu (1) à entreprendre une procédure efficace de *tests du circuit* et (2) à interpréter correctement les résultats obtenus aux tests.

Pour le circuit qui a été utilisé dans le cadre de cette recherche, trois niveaux d'abstraction ont été identifiés. Un premier niveau où le circuit est considéré comme «boîte noire», c'est-à-dire où seulement la sortie et l'entrée du circuit sont considérées. Un deuxième niveau où le circuit est représenté selon ses Fonctions ou blocs, qui sont au nombre de quatre dans le cas présent (transformation, redressement, filtration et régulation). Finalement, un troisième niveau où les composants eux-mêmes sont représentés de façon discrète. Ces différents niveaux d'abstraction du circuit représentent la base de travail durant le dépannage et guident la performance. S'ajoutent à cela les connaissances antérieures de l'individu pour chacun des niveaux afin de former un modèle mental complet du comportement du circuit.

Une fois ces étapes de compréhension (*analyse du circuit*) complétées, le dépannage du circuit se base sur un raisonnement de type binaire, qui consiste à confirmer ou à infirmer la présence d'une forme d'onde quelconque à un endroit donné du circuit. En cas de panne, la référence au modèle mental permet d'inférer les causes potentielles de cette panne afin de limiter

l'espace de recherché, permettant ainsi de minimiser les possibilités d'erreurs et de maximiser l'efficacité du processus de recherche.

L'expertise, pour le technicien en électronique, se traduit donc par l'habileté (1) à appliquer des procédures de dépannage en fonction du circuit et (2) à utiliser un modèle mental de la structure du circuit et de son comportement afin de guider l'application de procédures de tests dans le circuit, de même que l'interprétation des résultats obtenus.

Les modèles mentaux

La compréhension d'un concept, d'un phénomène ou, plus largement, d'un objet d'étude (un circuit électronique) entraîne la génération d'un modèle mental. Compréhension et modèle mental sont donc deux aspects du traitement de l'information qui sont intimement liés. Les différents types de modèles mentaux qui peuvent être générés influencent grandement les attentes qu'une personne peut avoir vis-à-vis de son environnement, la façon dont elle procède pour résoudre des problèmes (dépanner des circuits) et la façon dont elle acquiert de nouvelles connaissances (analyse du circuit). Il devient donc important de tenter de caractériser ces modèles mentaux, tant au niveau de la recherche en éducation que de la pratique éducative.

La nature de la représentation cognitive (propositionnelle, imagée, etc.) générée dans un contexte de résolution de problèmes dépend à la fois des différences individuelles et des caractéristiques de la tâche. Un des aspects les plus importants cependant, semble-t-il, est que la structure du modèle mental généré corresponde au concept, au phénomène ou à la tâche qui est représentée (structure du circuit). Les résultats obtenus dans la présente recherche apparaissent confirmer cette hypothèse. En effet, les experts ont généré un modèle mental isomorphe sur le plan structurel au circuit utilisé. De plus, cette représentation impliquait un aspect dynamique (comportement du circuit), par opposition à statique, puisqu'elle leur a permis de bien reconnaître l'impact d'un élément structurel (Fonction de redressement) sur un autre (Fonction de Filtration). Le modèle mental des experts a donc eu une influence manifeste et positive sur leur procédure de résolution de problèmes (test du circuit). Le modèle mental généré par les novices (plus statique), à l'opposé, leur a nuit dans leur démarche.

Le modèle mental généré en mémoire devrait permettre de guider la procédure de résolution de problèmes et l'utilisation de stratégies appropriées. Plusieurs auteurs ont abordé directement (p.ex., Anderson, 1993) ou indirectement (p.ex., Carroll et Reitman Olson, 1987) la question du contrôle en situation de résolution de problèmes. La nature de la structure de contrôle responsable de la séquence des actions dans la réalisation d'une tâche a, en effet, été l'objet d'un certains

nombre d'hypothèses. La performance des experts suggère ici que le modèle mental puisse jouer ce rôle. C'est en effet sur la base de la représentation conceptuelle du circuit que ces experts semblent ordonner la suite des gestes qu'ils posent durant la tâche de résolution de problèmes (dépannage).

IMPLICATIONS

Un des objectifs prioritaires visés par la formation dans des domaines d'étude sémantiquement riche et complexe devrait être de favoriser l'intégration des connaissances conceptuelles (du circuit) aux connaissances procédurales (procédures de dépannage). L'interprétation des résultats démontre qu'un modèle mental représente une structure cognitive permettant d'intégrer la représentation du comportement de la forme d'onde en fonction de la structure du circuit. L'enseignement des connaissances théoriques du circuit pourrait faire usage d'un formalisme comme le modèle mental afin de rendre explicites les regroupements de composants, particulièrement ceux que l'on peut qualifier ici de «virtuels». Des recherches seraient nécessaires afin d'évaluer l'impact spécifique de l'apprentissage de telle structure sur la performance de sujets.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette recherche suggèrent également qu'il est important pour l'enseignement de compétences pratiques (le dépannage de circuits électroniques) de mettre l'accent sur l'étape de compréhension (d'analyse) qui introduit la procédure globale à apprendre (dépannage). Comme cette étape constitue le moment où le «résolveur» de problèmes bâtit son modèle de la tâche (circuit) à partir de ses connaissances antérieures, il semble donc important de situer l'élaboration d'un tel modèle mental à l'étape initiale de résolution du problème, c'est-à-dire durant la compréhension (analyse du circuit, préalablement à l'exécution de tests sur le circuit). De plus, il est important que les étudiants puissent apprendre à «manipuler» l'information contenue dans le modèle mental, c'est-à-dire à y faire référence de façon stratégique. Ce type de stratégies, que l'on pourrait qualifier de métacognitives, permettrait également aux étudiants de repérer plus facilement les erreurs théoriques et procédurales qu'ils pourraient faire.

La recherche en résolution de problèmes issus de domaines sémantiquement riches et complexes devra considérer le rôle déterminant des connaissances théoriques (acquises préalablement ou au cours de la résolution de problèmes) dans l'élaboration de modèles de performance. De plus, les résultats obtenus suggèrent que la mise en place d'une situation «réaliste» de résolution de problèmes (l'utilisation d'un circuit réel et d'un instrument de mesure) a un impact important sur la performance des sujets, bien que la présente recherche n'ait pas utilisé des conditions permettant

de mesurer spécifiquement l'effet de la situation (contexte de résolution de problèmes) sur la performance. Des recherches en ce sens permettraient de nuancer les modèles de performance développés dans des contextes éloignés ou très différents d'une situation typique de résolution de problèmes *in situ*. Il serait peut-être possible ainsi de prédire la performance d'individus en fonction du contexte de travail.

Les enjeux qui touchent actuellement la formation au collégial (générale et technique) sont nombreux et importants. Une formation de qualité qui soutient un apprentissage signifiant des connaissances du domaine ne peut que favoriser une plus grande efficacité du travail de l'étudiant. Cette formation de qualité doit reposer sur une recherche active visant à développer des modèles d'enseignement et d'apprentissage qui tiennent compte d'un ensemble de facteurs déterminant pour les étudiants. La présente recherche a voulu contribuer, à sa mesure, au développement de tels modèles au moyen d'une meilleure compréhension du traitement de l'information réalisé en situation de résolution de problèmes.

RÉFÉRENCES

- Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- Bransford, J., Sherwood, R., Kinzer, C. K. et Hasselbring, T. S. (1985). *Havens for learning: Toward a framework for developing effective uses of technology*. Tech. Rep.: 85.1.1, Nashville, TN: Learning Technology Center, Vanderbilt University.
- Bransford, J., Sherwood, R., Vye, N. et Rieser, J. (1986). Teaching thinking and problem solving. *American Psychologist*, 41, 1078-1089.
- Brown, J. S., Collins, A. et Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18 (1), 32-42.
- Carroll, J. M. et Reitman Olson, J. (1987). *Mental models in human-computer interaction*. Washington, DC: National Academy Press.
- Frederiksen, C. H. (1985). Cognitive models and discourse analysis. In C. R. Cooper et S. Greenbaum (dir.), *Written communication annual, Vol. 1: studying writing: linguistic approaches*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Frederiksen, C. H. (1989). *The representation of procedures: acquisition and application of procedural knowledge*. Document présenté au Colloque International sur l'Informatique des Organisations. Québec, Canada: Université Laval.

Frederiksen, C. H. et Breuleux, A. (1990). Monitoring cognitive processing in semantically complex domains. In N. Frederiksen, R. Glaser, A. Lesgold et M. Shafto (dir.), *Diagnostic Monitoring of Skill and Knowledge Acquisition* (pp. 351-392). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Gentner, D. et Stevens, A.L. (1983). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Halford, G. S. (1993). *Children's understanding: The development of mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Larkin, J., McDermott, J., Simon, D. P. et Simon, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208, 1335-1342.

Lave, J. et Wenger, E. (1991). *Situated learning: legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lesgold, A., Lajoie, S., Logan, D. et Eggan, G. (1990). Applying cognitive task analysis and research methods to assessment. In N. Frederiksen, R. Glaser, A. Lesgold et M. Shafto (dir.), *Diagnostic Monitoring of Skill and Knowledge Acquisition* (pp. 325-350). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Wong, B. Y. L. (1985). Metacognition and learning disabilities. In T. Waller, D. Forest et E. MacKinnon (dir.), *Metacognition, cognition, and human performance* (pp. 137-180). New York: Academic Press. ❖