



HAL
open science

Apprentissage en résolution de problèmes : influence du mode d'instruction

Aurore Lagarrigue Dupays

► To cite this version:

Aurore Lagarrigue Dupays. Apprentissage en résolution de problèmes : influence du mode d'instruction. Psychologie. Université de Franche-Comté, 2011. Français. NNT : 2011BESA1005 . tel-00718869

HAL Id: tel-00718869

<https://theses.hal.science/tel-00718869>

Submitted on 18 Jul 2012

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

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

**UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE
ECOLE DOCTORALE
« LANGAGES, ESPACES, TEMPS, SOCIETES »**

Thèse en vue de l'obtention du titre de Docteur en
Psychologie

**Apprentissage en résolution de problèmes :
Influence du mode d'instruction**

Présentée et soutenue publiquement par

Aurore DUPAYS née LAGARRIGUE

Le Jeudi 6 Janvier 2011

Sous la direction de Mr Le Professeur André DIDIERJEAN

Membres du jury :

Jean-Michel BOUCHEIX, Professeur à l'université de Bourgogne, Rapporteur
Michel BOUTANQUOI, Maître de conférences HDR à l'université de Franche-Comté
Evelyne CLEMENT, Maître de conférences HDR à l'université de Rouen, Rapporteur
André DIDIERJEAN, Professeur à l'université de Franche-Comté
Roland SCHNEIDER, Maître de conférences à l'université de Franche-Comté

Résumé

Face à des situations d'apprentissage de nombreux processus cognitifs peuvent être mis en œuvre par les apprenants en vue de créer de nouvelles traces mnésiques (mémorisation d'exemplaires ou abstraction de connaissances notamment). Depuis plusieurs décennies de nombreuses recherches ont mis en évidence que la mise en œuvre privilégiée de l'un ou l'autre de ces processus est fonction de différents paramètres : particularités interindividuelles, niveaux des apprenants, ou caractéristiques de la tâche. Notre thèse porte sur ce dernier point : sur les liens entre certaines caractéristiques du matériel à apprendre et les processus cognitifs des apprenants. Plus particulièrement, nous nous intéressons à la question de l'impact du mode de présentation de problèmes, étudiés par des apprenants en vue de progresser. Si de nombreux travaux ont déjà porté sur la structuration interne des problèmes et leur lien avec les mécanismes cognitifs (*cf.* Sweller et al, 2000), très peu de recherches ont porté sur les effets du mode de présentation et d'organisation de plusieurs problèmes de difficultés similaires ou différentes. C'est pourquoi nous avons mené ce travail de recherche. Afin de mieux comprendre les interrelations entre la résolution de problèmes et l'apprentissage de connaissances qui peut en découler.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier : Evelyne Clément, Maître de conférence HDR à l'Université de Rouen et Jean-Michel Boucheix, Professeur à l'Université de Bourgogne, d'avoir accepté d'être à la fois membres du jury et mes rapporteurs de thèse ; ainsi que Michel Boutanquoi, Maître de conférence HDR à l'Université de Franche-Comté d'avoir accepté d'être membre de mon jury.

Je remercie également mes directeurs de thèse :

Roland Schneider d'avoir impulsé ce travail. Il a su me donner le goût de la recherche et de la psychologie expérimentale ;

André Didierjean d'avoir accepté de m'encadrer et de me guider tout au long de ce travail. Il a su m'apprendre la rigueur scientifique. Ses remarques ont grandement contribué à faire évoluer ce travail.

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui m'ont soutenue dans ce travail. Les membres du laboratoire de l'université de Franche-Comté, et plus particulièrement Frédérique Girard pour son soutien, sa relecture, ses remarques ; les membres du LEAD pour leur accueil et leur soutien, ainsi que la mise à disposition du matériel oculométrique ; les étudiants de l'université de Franche-Comté et de Bourgogne qui ont volontairement participé aux expériences ; mes amis et ma famille pour leur soutien.

Enfin, je remercie particulièrement mon mari de son soutien, de sa patience, de ses encouragements durant toutes ces années. Et je lui dédie ce travail ainsi qu'à notre fils Arthur.

Sommaire

Partie 1: Notion de problème, de résolution de problèmes et d'apprentissage en résolution de problèmes : aspects théoriques	3
Chapitre 1 : La résolution de problèmes	4
1.1. La notion de problème	5
1.2. Les différents processus de résolution de problèmes.....	6
1.2.1. L'analyse moyen-fin : un exemple d'heuristique.....	6
1.2.2. Les algorithmes	8
1.2.3. L'analogie.....	11
1.2.4. Bilan	12
1.3. Les différentes approches en résolution de problèmes	13
1.3.1. L'approche béhavioriste	13
1.3.2. L'approche des gestaltistes.....	14
1.3.3. Approche du traitement de l'information.....	14
1.3.4. La flexibilité cognitive	16
1.3.5. Les schémas pragmatiques de raisonnement.....	16
1.4. Bilan du chapitre 1	19
Chapitre 2 : l'apprentissage en résolution de problèmes	20
2.1. L'élaboration de connaissances en résolution de problèmes : aspects généraux	21
2.1.1. Introduction	21
2.1.2. La notion de schéma.....	22
2.1.3. L'élaboration de schémas, quelles contraintes ?	25
2.2. L'approche de Sweller	35
2.2.1. La théorie de la charge cognitive	35
2.2.2. Les effets de présentations	42
2.3. Bilan du chapitre 2.....	47
Chapitre 3 : Impact de l'organisation de la tâche en résolution de problèmes	49
3.1. L'effet d'interférences contextuelles.....	50
3.2. <i>Instructional design</i>	52
3.2.2. <i>The mental efficiency approach</i>	54
3.2.3. Conclusion	55
3.3. Prévalence du 'simple vers le complexe'	56
3.3.1. Introduction	56
3.3.2. Les travaux de Gagné (1962, 1968).....	56
3.3.3. Frederiksen et White (1989).....	57
3.3.4. Le <i>4C Instructional design model</i>	58
3.3.5. Bilan	58
3.4. Bilan du chapitre 3	59
Chapitre 4 : Discussion de la première partie	60
Partie 2 : Influence du mode d'instruction : aspects expérimentaux	63
Introduction de la seconde partie	64
Chapitre 5 : Impact des traits de surface sur le transfert par l'analyse des mouvements oculaires	72
5.1. Introduction.....	73
5.2. Méthode	75

5.2.1. Participants.....	75
5.2.2. Matériel	75
5.2.4. Procédure.....	77
5.3. Résultats.....	79
5.3.1. Analyse des performances.....	79
5.3.2. Analyses des mouvements oculaires	81
Chapitre 6 : mode de présentation / mode d'organisation, impact sur la réussite en résolution de problèmes	90
6.1. Problèmes isomorphes et mode d'organisation : introduction.....	91
6.2. Méthode	91
6.2.1. Participants.....	91
6.2.2. Matériel	91
6.2.3. Procédure.....	92
6.3. Résultats.....	93
6.4. Discussion de l'expérience 2	95
6.5. Méthode	97
6.5.1. Participants.....	97
6.5.2. Matériel	97
6.5.3. Procédure.....	97
6.6. Résultats.....	98
6.6.1. Niveaux de réussite	98
6.6.2. Temps de réponse	100
6.7. Discussion de l'expérience 3	102
Chapitre 7 : impact de l'organisation : mesure de la charge cognitive et phase de transfert	104
7.1. Introduction.....	105
7.2. Méthode	106
7.2.1. Participants.....	106
7.2.2. Matériel	106
7.2.3. Procédure.....	107
7.3. Résultats.....	107
7.3.1. Performances aux problèmes du Démineur©	108
7.3.2. Performances à la double tâche.....	108
7.3.3. Performances aux problèmes de transfert	109
7.4. Discussion de l'expérience 4	110
7.5. Mesure subjective de la charge cognitive et du niveau d'élaboration des connaissances.....	114
7.6. Méthode	115
7.6.1. Participants.....	115
7.6.2. Matériel	115
7.6.3. Procédure.....	115
7.7. Résultats.....	116
7.7.1. Performances aux problèmes du Démineur©	116
7.7.2. Niveaux d'effort mental perçus.....	116
7.7.3. Notations	117
7.7.4. Relation entre réussite et verbalisations	119
7.8. Discussion de l'expérience 5	120
7.9. Transfert face à de nouveaux problèmes.....	122

7.10. Méthode	124
7.10.1. Participants.....	124
7.10.2. Matériel	124
7.10.3. Procédure.....	125
7.11. Résultats	125
7.11.1. Performances aux problèmes du Démineur©	125
7.11.2. Performances aux problèmes du Sudoku©	126
7.13. Bilan du chapitre 7.....	129
Chapitre 8 : Conclusions.....	130
Bibliographie	133
Annexes	148

Introduction générale

Au cours de ma pratique professionnelle au sein du système scolaire, j'ai pu observer que les enseignants utilisaient le modèle constructiviste (Inhelder & Cellérier, 1992) comme référence forte. Ce modèle étant perçu, par eux, comme la clé de l'apprentissage, la conduite de l'enseignant est alors de mettre l'élève en difficulté pour qu'il apprenne dans la démarche qu'il effectue pour surmonter cette difficulté. Cependant, j'ai pu observer qu'un grand nombre d'élèves se révèlent incapables de faire face à la situation problème et que même s'ils apportaient une réponse (réponse au hasard ou donnée par un tiers) c'était, pour la plupart, sans compréhension et sans apprentissage.

Ces observations m'ont conduite à me questionner sur un mode d'instruction plus efficient qui pourrait être proposé au monde de l'enseignement. Dans la littérature, une grande majorité des travaux s'inscrivent dans le domaine de la résolution de problèmes. La résolution de problèmes est un domaine largement étudié en psychologie. Il permet en effet de questionner divers processus cognitifs tels que le raisonnement, la perception, la compréhension. Dans l'enseignement, mettre un élève face à un problème peut avoir deux objectifs : tester ces connaissances et/ou les développer. Le lien entre résolution de problème et apprentissage est à la fois fort et flou. Certaines études ont notamment montrées que les connaissances évaluées lors de tests étaient davantage retenues. D'autre part, plusieurs approches s'interrogeant sur la résolution de problèmes mettent en avant l'impact de celle-ci sur les connaissances des individus ainsi que l'impact des connaissances des individus sur leur manière d'aborder la situation problème.

L'objectif général poursuivi est d'approfondir l'étude des conditions qui favorisent l'apprentissage de connaissances en résolution de problèmes. Ce sujet présente à la fois un intérêt théorique, il permet de confronter diverses approches, et à la fois un intérêt pratique. Une meilleure compréhension des conditions qui favorisent l'apprentissage permettrait d'orienter les pratiques pédagogiques.

Notre objectif est d'étudier expérimentalement les conditions d'organisation et de présentation de la tâche de résolution de problèmes qui favoriseront l'apprentissage de connaissances générales.

Nous présentons d'abord l'état actuel des recherches en résolution de problèmes, puis nous développons la question de la nature des connaissances élaborées lors de la résolution de problèmes. Ensuite, nous mettons en évidence l'impact du mode d'instruction en résolution de problème. Nous proposons par la suite la problématique de notre recherche avant de tester les hypothèses auxquelles a conduit notre problématique. En conclusion, nous discutons des apports empiriques et théoriques de ce travail, et nous précisons les domaines d'application de notre recherche.

La partie théorique est composée de quatre chapitres. La partie expérimentale est composée de trois chapitres. Un chapitre de conclusion clôt la thèse.

Dans le premier chapitre, nous présentons tout d'abord la notion de résolution de problèmes. Puis, nous nous référons aux différentes approches de la résolution de problèmes pour montrer qu'en fait cette activité conduit, dans de nombreuses situations, à un apprentissage.

Dans le second chapitre, nous nous interrogeons sur la nature des connaissances élaborées lors de la résolution de problèmes. Nous précisons les notions de schémas et de transfert avant d'aborder l'approche de Sweller (1988, 2003) et sa théorie de la charge cognitive. Nous voyons comment cette approche conduit à s'interroger sur le mode d'utilisation des problèmes en situation d'apprentissage.

Dans le troisième chapitre, nous abordons les différentes approches portant sur l'organisation d'une tâche en résolution de problèmes. Les travaux de l'interférence contextuelle qui mettent en avant la prévalence de l'aléatoire sur le bloc, les travaux de l'*Instructional design* qui prennent en compte la charge cognitive dans l'évaluation de la mise en situation de problèmes et les travaux appuyant une démarche de hiérarchisation des problèmes.

Dans le quatrième chapitre, nous faisons un bilan de la partie théorique, et nous proposons de lier apprentissage et résolution de problèmes autour du processus d'élaboration. Puis dans une seconde partie, nous présentons notre problématique qui porte sur l'impact du mode de présentation et/ou du mode d'organisation des problèmes sur l'élaboration de connaissances. Enfin, nous définissons nos hypothèses.

Dans le cinquième chapitre, nous testons l'hypothèse selon laquelle l'aspect visuel d'un problème influence la réussite du transfert de connaissances entre plusieurs problèmes à l'aide de l'analyse des mouvements oculaires. Nous montrons que la réussite n'est pas le seul critère permettant de juger de l'efficacité d'un transfert. Les fixations oculaires nous renseignent sur les processus en jeu. Nous montrons également que le visuel des problèmes n'est pas un critère de distinction suffisant pour impacter la performance.

Dans le sixième chapitre, nous testons l'hypothèse d'un autre critère modifiant la performance en résolution de problèmes, l'ordre d'organisation des problèmes. Nous montrons que l'ordre de présentation des problèmes impacte la réussite contrairement aux différences visuelles.

Dans le septième chapitre, nous testons l'hypothèse du rôle de la charge cognitive et nous montrons que l'évaluation de la charge cognitive de la résolution n'explique pas l'effet positif de la hiérarchisation des problèmes. Nous montrons également que le niveau d'élaboration des règles de résolution est corrélé avec la réussite aux problèmes. Enfin, nous nuancions le niveau de décontextualisation des connaissances élaborées à l'aide d'une tâche de transfert hors contexte.

Dans le chapitre de conclusion, nous décrivons les apports empiriques et théoriques de cette approche de l'apprentissage en résolution de problèmes, avant de conclure en abordant les différents domaines d'application de cette recherche.

Partie 1: Notion de problème, de résolution de problèmes et d'apprentissage en résolution de problèmes : aspects théoriques

Chapitre 1 : La résolution de problèmes

La résolution d'un problème est une mise en situation largement utilisée et étudiée puisqu'elle permet à la fois de tester des connaissances et de les développer. Pour mieux en comprendre les enjeux, il est important de cerner les processus de résolution. Différentes études se sont attachées à caractériser ces stratégies et ont conduit à envisager différents courants de recherches.

En quoi le questionnement sur la situation de problème conduit à développer un point de vue sur l'acquisition de connaissances ? Les différents travaux font le lien entre résolution et apprentissage.

Dans ce chapitre, nous définissons tout d'abord la notion de résolution de problèmes ainsi que les différents processus de résolution de problèmes. Dans un second temps, nous discutons des différentes approches qui se sont développées autour de la question de la résolution de problèmes.

1.1. La notion de problème

Un problème peut être défini comme une situation pour laquelle l'organisme a un but mais ne dispose pas d'un moyen connu pour y parvenir. Il est constitué de données, d'objectifs et d'obstacles. Trois attributs caractérisent un problème à résoudre : l'existence d'un écart entre la situation présente et le but à atteindre ; l'absence d'un cheminement évident menant à la réduction de cet écart ; le caractère subjectif et circonstanciel de la résolution de problème. Une situation fait problème pour une personne donnée à un moment donné.

Greeno (1978) propose une partition en trois classes des problèmes. Tout d'abord, les problèmes d'induction de structure qui sont des problèmes où l'on donne un ensemble d'instances et où l'objectif est de découvrir une règle s'appliquant à ces instances (Test du Wisconsin¹, par exemple). Ensuite, les problèmes de transformation qui sont des problèmes où l'objectif est de passer d'un état initial à un état final par une succession d'opérations (le problème de la Tour d'Hanoï², par exemple). Dans ce cas, résoudre le problème consiste à effectuer des opérations de transformation permettant de passer de l'état initial à l'état final. Enfin, les problèmes d'arrangement qui sont des problèmes où tous les éléments sont donnés initialement, et où leur réorganisation constitue la solution du problème (les puzzles par exemples). Greeno remarque cependant que tous les problèmes ne peuvent pas être classés dans un de ces trois types. Reitman (1964) distingue quant à lui les problèmes bien définis («*well-defined*») et mal définis («*ill-defined*»). Un problème bien défini est un problème où il existe une définition explicite de l'objectif en fonction de la description du problème (La tour d'Hanoï est un exemple de problème bien défini, dessiner un beau dessin est un exemple de problème mal défini).

Au delà de cette classification, la qualité d'un problème est double. En effet, mettre un individu face à un problème peut avoir deux objectifs : tester ses capacités (compétences ou connaissances) ou bien les développer. Ces deux aspects sont largement utilisés dans le domaine de l'enseignement. La mise en situation de problème est un outil pédagogique privilégié car il permet à la fois d'évaluer les capacités de l'élève mais aussi de les développer. Ce second objectif étant plus difficile à atteindre. En effet, face à un problème, l'élève et plus largement l'apprenant, doit réaliser deux tâches : résoudre le problème et apprendre de cette résolution, selon l'objectif de la situation d'enseignement. Ces deux tâches peuvent entrer en concurrence, comme nous le verrons ci-après, en fonction de différents critères qu'il convient de prendre en compte.

¹ Le *WisconsinCard Sorting test* est un test de classement de cartes sur lesquelles des figures géométriques sont définies par trois dimensions (couleur, forme, nombre). On dispose quatre cartes de référence puis on distribue, une par une, chacune des 128 cartes qu'on demande de classer selon un critère défini par l'expérimentateur qu'il faut découvrir. A chaque carte distribuée, l'examineur informe si la carte classée répond au critère ou non. Au bout d'un certain nombre de cartes distribuées, le critère change.

² Dans ce problème, des disques de tailles différentes sont empilés sur une tige d'un support en contenant trois, du plus grand au plus petit formant une tour. Le but est d'emmener cette tour sur une autre tige en respectant trois règles. On ne peut déplacer qu'un disque à la fois. On ne peut pas placer un disque sur un disque plus petit. On ne peut déplacer que le plus petit disque si plusieurs disques sont sur la même tige.

Dès lors, la question de la nature des processus engagés dans la résolution de problèmes se pose. Dans la section suivante, nous détaillons les différents processus de résolution de problèmes.

1.2. Les différents processus de résolution de problèmes

En situation de problème, même si la découverte de la solution semble, le plus souvent, procéder par différentes tentatives d'essais et d'erreurs, le mode opératoire employé pour résoudre le problème peut être perçu comme une stratégie mise en place et nécessitant une certaine représentation de la situation. Ce processus de résolution peut être une règle, un heuristique ou bien lié à l'utilisation d'une situation déjà rencontrée (Lemaire, 1999). Nous les détaillons dans cette section.

1.2.1. L'analyse moyen-fin : un exemple d'heuristique

Les heuristiques sont des règles d'actions non systématiques menant le plus souvent à la solution. Celles-ci sont des règles empiriques, pratiques, simples et rapides facilitant la découverte de la solution. Elles permettent de prendre des décisions d'action mais leur validité n'est pas assurée. Richard (1998, p. 188) nous donne une définition de la stratégie heuristique: « *Quand les sujets raisonnent en dehors de leur domaine de compétence, ils n'ont à leur disposition que des modes d'inférences dont la validité n'est pas assurée mais qui sont d'utilisation très générale. Ces processus de production d'inférences ne garantissent pas la validité des raisonnements mais ils sont productifs : ils sont efficaces pour former des hypothèses et faire des choix dont les conséquences permettront d'apporter les corrections nécessaires.* ».

Un exemple de processus heuristique est la stratégie d'analyse moyen-fin. Ce processus de résolution utilise l'analyse de la différence entre l'état présent du problème et l'état final à atteindre. Proche d'une démarche de recherche en arrière à partir du but à atteindre, cette stratégie est particulièrement efficace dans des problèmes de labyrinthe. Elle consiste à découper la tâche en plusieurs sous-buts, puis chercher à réduire l'écart entre l'état actuel du problème et le prochain sous-but, jusqu'à l'état final. Zygmunt et Zheng (2005), notamment, observent, dans leurs travaux autour de puzzles, que les participants privilégient ce processus de résolution par sous-buts. Cependant, ce type de stratégie impose au sujet de garder présents en mémoire de travail l'état initial du problème, l'état final, les sous-buts, et de rechercher les opérateurs permettant de réduire l'écart entre les différents stades du problème. Ce qui peut exiger de grandes ressources cognitives. Ce processus de résolution peut alors gêner l'apprentissage et c'est pourquoi, Sweller et Levine (1982) proposent de contrer l'utilisation de ce processus de résolution par l'utilisation de problème ouvert (sans but prédéfini). Dans cette étude, les auteurs donnent à des groupes de participants un labyrinthe (Figure 1). Tous les participants ont les yeux bandés et ont leur index droit placé à l'entrée du labyrinthe. La tâche consiste à trouver la sortie du labyrinthe en déplaçant cet index. Les

participants du groupe G (*goal information = informer sur le but à atteindre*) ont leur index gauche placé sur la sortie du labyrinthe. Ils n'ont pas le droit de le déplacer. Les participants de l'autre groupe No-G (*no-goal information = pas d'information sur le but à atteindre*) n'ont pas le droit d'utiliser leur main gauche et ne reçoivent aucune information concernant la localisation de la sortie du labyrinthe.

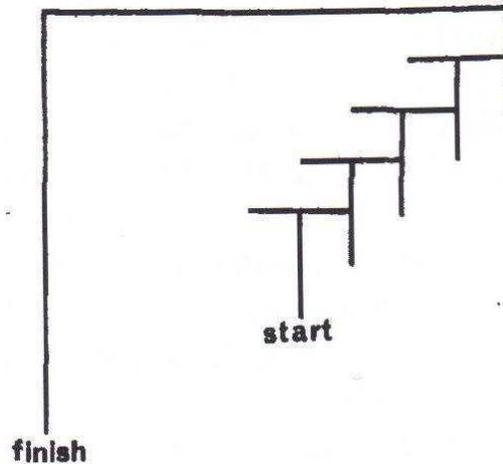


Figure 1 : Labyrinthe présenté aux participants (p. 465)

Les résultats de cette expérience montrent que les participants du groupe G, informés de la localisation de la sortie du labyrinthe, réalisent davantage d'erreurs que les participants du groupe No-G, non informés (4.5 vs 3.0, expérience 1). D'autre part, les participants du groupe No-G sont plus nombreux à réussir un nouveau labyrinthe (Figure 2) en un minimum de coups (expérience 5).

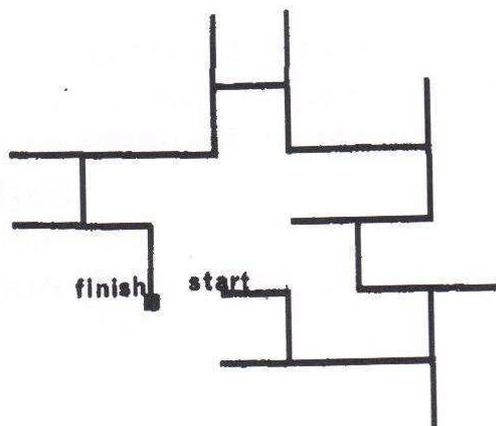


Figure 2 : Deuxième labyrinthe présenté aux participants (expérience 5, p. 472)

Ces résultats suggèrent que l'utilisation d'un processus de résolution basé sur l'analyse du but à atteindre peut retarder l'apprentissage. L'emploi de cette stratégie serait un frein à l'apprentissage de la règle de résolution.

L'utilisation d'heuristiques permet de résoudre des problèmes. Estay (1982), dans sa thèse d'analyse topologique appliquée au jeu de scrabble, utilise même les heuristiques comme des règles stratégiques dans la conception d'un logiciel joueur de scrabble performant. Elles permettent au didacticiel de prendre des décisions de jeu comme le ferait un joueur. Cependant, et comme l'ont montré Sweller et Levine (1982), ce processus nécessite de garder en mémoire de travail un grand nombre d'informations ce qui peut empêcher l'extraction de connaissances liées au problème.

1.2.2. Les algorithmes

Les algorithmes sont des règles d'action systématiques garantissant la solution. Les formules mathématiques sont un bon exemple de ce type de processus de résolution. Leurs applications permettent de résoudre le problème au moyen d'un nombre fini d'opérations³. Ces règles de résolution seraient stockées en mémoire et utilisées lorsque la situation de problème s'y rapporte. Dans la prise en compte de la définition de Richard (présentée ci-dessus) les algorithmes peuvent être opposés aux heuristiques. Raisonner en dehors de son domaine de compétences se ferait à l'aide d'heuristiques, raisonner dans son domaine de compétences se ferait à l'aide d'algorithmes. L'expertise pourrait être dès lors considérée comme la maîtrise des algorithmes. En effet, connaître les tables de multiplication, par exemple, est un pré-requis nécessaire pour être expert en calcul mental.

La découverte de l'algorithme permettant la résolution du problème est un apprentissage qui peut être nécessaire à la résolution du problème. C'est le cas du problème des Anneaux Chinois (PAC).

Le problème des Anneaux Chinois (Figure 3) est un problème linéaire apparemment simple (21 états permettent d'atteindre le but), qui est difficilement résolu par les participants (plus de 500 coups dans l'étude de Kotovsky & Simon, 1990). Megalakaki et Tijus (2005) montrent que cette difficulté est liée à l'utilisation d'un processus heuristique consistant à *ne pas s'éloigner du but*.

Le matériel de ce problème comporte cinq pions qui doivent être tous ôtés selon la règle qui stipule qu'*on peut ôter ou mettre un pion que s'il y a un pion à sa droite et rien au-delà*⁴. La règle d'action qui doit être ici découverte par les participants est qu'*il faut parfois remettre des pions pour pouvoir créer les conditions nécessaires pour en ôter*. Dans cette recherche, les auteurs proposent à la moitié des participants un état du problème particulier (état initial « un pion ») qui, selon eux, favorise la prise de conscience chez les participants de cette règle. L'autre moitié des participants est

³ Cas du jeu de Nim pour lequel un algorithme a été écrit en 1901 par Buton.

⁴ Le pion P₁ (tout à droite) peut être ôté ou mis sans conditions puisque la condition d'un pion à sa droite ne peut être satisfaite. Le pion P₂ ne peut être ôté ou mis que si P₁ est présent. Les pions P₃, P₄ et P₅ ne peuvent être ôtés ou mis que si un pion est présent juste à leur droite et qu'aucun autre pion n'est présent au-delà.

confrontée au problème classique (état initial « cinq pions »). Les résultats appuient leur hypothèse. Les participants confrontés à l'état initial « un pion » ont besoin de moins de coups pour passer d'un état à un autre (7.5 vs 14). Ils réalisent davantage de coups légaux (30% vs 33%) et atteignent plus rapidement les sous-buts (72.7 vs 169 pour le sous-but 1). Globalement, les deux groupes de participants réalisent davantage de coups lorsqu'il s'agit de mettre un pion que lorsqu'il s'agit d'en ôter (7.3 vs 38.3 pour P₁). D'autre part, les participants du groupe état initial « un pion » réalisent moins de coups que les participants de l'autre groupe lorsqu'il s'agit de mettre un pion (10 vs 19). Les écarts de performances sont attribués par les auteurs au fait que l'état initial « un pion » incite davantage les participants à s'approprier la règle d'action récursive (*il faut parfois remettre des pions pour pouvoir en ôter*). Ce type de difficulté est également observé dans le problème des Missionnaires et des Cannibales⁵ où il s'agit de ramener les cannibales sur la rive de départ pour résoudre le problème (Figure 4). L'utilisation d'un processus heuristique (*ne pas s'éloigner du but*) dans ces deux problèmes gêne la résolution alors que l'utilisation de l'algorithme le permet (*revenir en arrière/ s'éloigner du but*). Inciter les participants à apprendre cette règle d'action (en les contraignant par un état initial particulier par exemple) favorise la résolution du problème.

⁵ Un groupe de trois missionnaires emmène trois cannibales à leur monastère afin de les convertir. Il ne leur reste plus qu'à traverser une rivière pour réussir leur mission. Cependant, l'embarcation à leur disposition ne permet de transporter que deux personnes à la fois. Les missionnaires doivent faire très attention, car s'ils se trouvent en infériorité numérique par rapport aux cannibales, ils se feront manger par ces derniers.

Espace problème							
États	Actions	P5	P4	P3	P2	P1	
31	mettre P1	0	X	X	X	X	ÉTAT INITIAL « un-Pion »
30	mettre P2	0	X	X	X	0	
29	ôter P1	0	X	X	0	0	
28	mettre P3	0	X	X	0	X	
27	mettre P1	0	X	0	0	X	
26	ôter P2	0	X	0	0	0	ÉTAT INITIAL « cinq-Pions »
25	ôter P1	0	X	0	X	0	
24	mettre P4	0	X	0	X	X	
23	mettre P1	0	0	0	X	X	
22	mettre P2	0	0	0	X	0	
21	ôter P1	0	0	0	0	0	Sous-but 1
20	ôter P3	0	0	0	0	X	
19	mettre P1	0	0	X	0	X	
18	ôter P2	0	0	X	0	0	
17	ôter P1	0	0	X	X	0	
16	ôter P5	0	0	X	X	X	Sous-but 2
15	mettre P1	X	0	X	X	X	
14	mettre P2	X	0	X	X	0	
13	ôter P1	X	0	X	0	0	
12	mettre P3	X	0	X	0	X	
11	mettre P1	X	0	0	0	X	Sous-but 3
10	ôter P2	X	0	0	0	0	
9	ôter P1	X	0	0	X	0	
8	ôter P4	X	0	0	X	X	
7	mettre P1	X	X	0	X	X	
6	mettre P2	X	X	0	X	0	Sous-but 4
5	ôter P1	X	X	0	0	0	
4	ôter P3	X	X	0	0	X	
3	mettre P1	X	X	X	0	X	
2	ôter P2	X	X	X	0	0	
1	ôter P1	X	X	X	X	0	Sous-but 5
0		X	X	X	X	X	ÉTAT FINAL

Figure 3 : Espace problème du problème des Anneaux Chinois, emprunté à Megalakaki et Tijus (2005, p. 631). Les ronds représentent la présence d'un pion. Les croix représentent l'absence d'un pion.

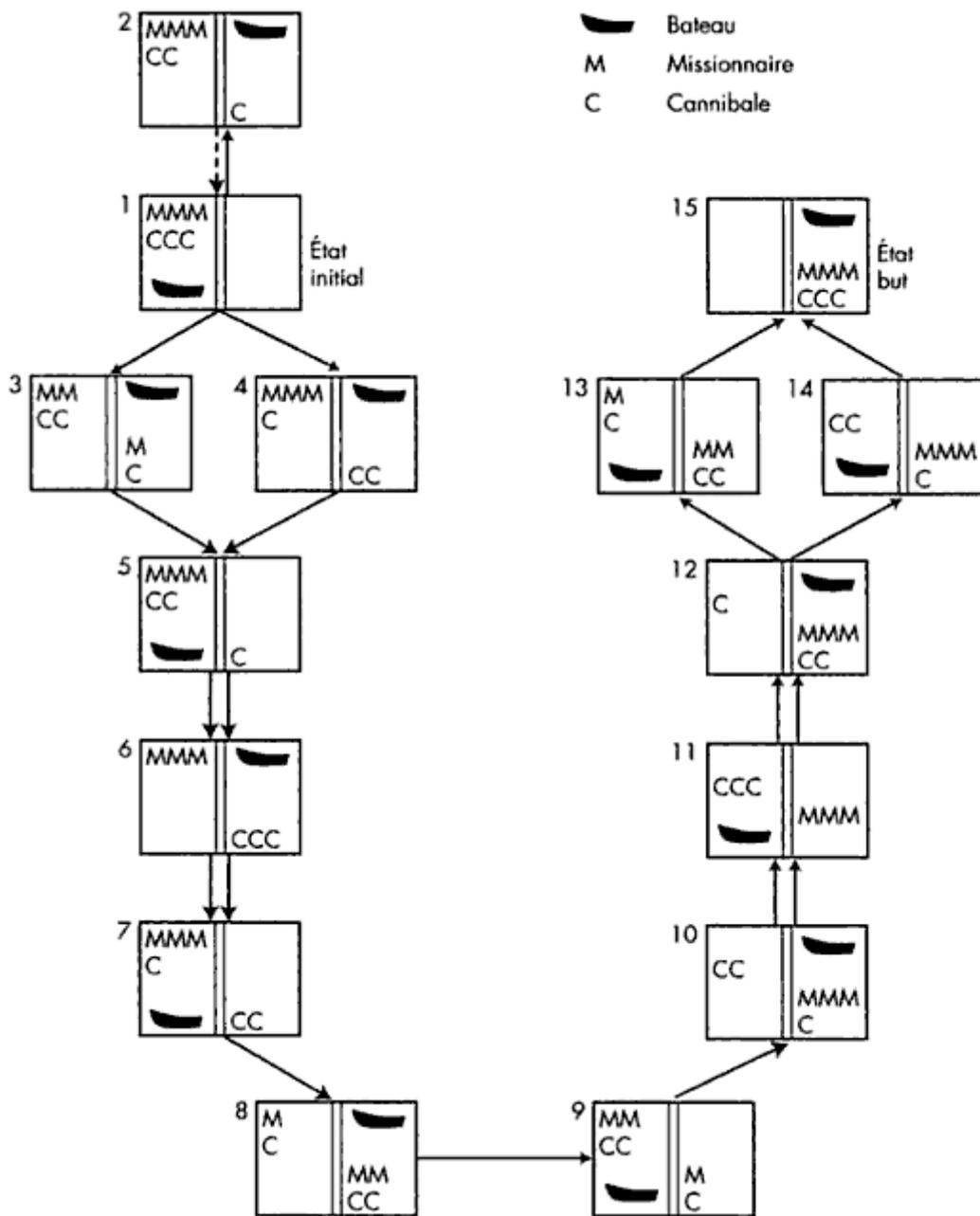


Figure 4 : Espace de problème du problème des Missionnaires et des Cannibales emprunté à Costermans (2000, p. 101).

1.2.3. L'analogie

Ce processus de résolution utilise une situation connue et perçue comme similaire pour construire la solution du problème rencontré. Le transfert de connaissances d'une situation à une autre permet « *de rendre la nouveauté familière en la reliant à un savoir antérieur* » (Gick & Holyoak, 1983, p. 1-2). Autrement dit, ce processus permet

l'appréhension de nouvelles situations par la mise en correspondance avec des situations connues (Holyoak, 2005). Résoudre un problème par analogie consiste à se référer à un problème déjà rencontré (problème source) et à l'utiliser pour résoudre le problème actuel (problème cible). La mise en correspondance des deux problèmes (*mapping*) permet, par production d'interférences, l'élaboration d'une représentation du problème cible par transfert analogique (*transfer*). Le raisonnement par analogie est une stratégie de résolution de problèmes qui a été largement étudié (Bassock & Holyoak, 1989; Gick & Holyoak, 1980, 1983, 1987 ; notamment).

Selon Gentner (1983), le raisonnement analogique consiste en la projection sur le domaine cible d'une structure de relations relative à un domaine source. Cela implique que le domaine source soit effectivement structuré sous la forme d'un réseau relationnel stable. Alors que, le domaine cible est a priori en cours d'élaboration et doit être muni de nouvelles relations. L'introduction de nouvelles relations est faite par analogie. Celle-ci est d'autant plus riche que la structure relationnelle est abstraite et complète. Cela implique également que le domaine cible soit clairement identifié en tant qu'objets conceptuels. Dans cette conception, le système cible est doté de nouvelle relation, tandis que le système source demeure inchangé (cf. Gineste, 1997, pour une synthèse). Selon Cauzinille-Mamèche et Didierjean (1999, p. 126), cette approche pose problème car « *il est peu concevable d'envisager que préexistent des objets conceptuels qui ne seront pas transformés, et qu'il s'agit seulement d'introduire de nouvelles relations entre ces objets.* ». Selon Gick et Holyoak (1980, 1983) dans le cadre de la résolution de problèmes, le problème cible et le problème source sont considérés comme deux exemplaires d'une même catégorie conceptuelle. Dans cette approche, le raisonnement par analogie conduit à l'élaboration de catégorie de problèmes. La question de l'encodage des problèmes se pose alors. En effet, ce n'est que s'ils sont représentés à un niveau d'abstraction adéquat qu'ils pourront être perçus comme relevant du même domaine et comme partageant la même structure. Rejoignant cette conception, Clément (2009, p. 65) note que « *le traitement de deux situations par raisonnement par analogie permet [...] d'élaborer, par un processus de généralisation, des schémas plus abstraits dans lesquels la cible et la source sont des exemplaires. Ce processus sous-tend l'apprentissage.* ». D'autre part, elle note que la représentation d'un problème serait déterminé à la fois par les caractéristiques de la situation et par les connaissances disponibles en mémoire. Elle se construirait à l'aide de l'évocation de situations connues c'est à dire par analogie.

1.2.4. Bilan

La variabilité des processus de résolution implique de faire des choix. Par exemple, dans le cas des opérations arithmétiques, selon Siegler (1988), la procédure de récupération en mémoire est toujours celle qui est privilégiée et essayée en premier par rapport à une procédure de comptage. Les résultats de Reder (1987) suggèrent, quant à eux, que la sélection d'une procédure ou d'une stratégie ne repose pas uniquement sur la vitesse relative des différentes procédures ou stratégies disponibles. Elle dépend de l'histoire de la procédure (réussites antérieures), du contexte et du coût de sa mise en œuvre. D'autre part, il est probable que la résolution de problèmes n'implique pas

uniquement la sélection de la stratégie appropriée mais également l'inhibition des stratégies concurrentes (Houdé, 1999).

Au delà de la typologie présentée centrée sur les processus de résolution utilisés, de nombreuses recherches ont depuis longtemps étudiées les mécanismes en jeu dans la résolution de problèmes. Depuis les premiers travaux sur l'animal jusqu'à aujourd'hui, différentes approches tentent d'explicitier les différents processus mis en œuvre dans la découverte de la solution. Dans la section suivante, nous présentons ces différentes approches.

1.3. Les différentes approches en résolution de problèmes

1.3.1. L'approche behavioriste

Les premiers travaux sur la résolution de problème ont été menés chez l'animal. La découverte de la solution résultait alors d'un apprentissage progressif, non intentionnel par essais erreurs. La résolution de problème est envisagée comme un processus dans lequel les réponses inadaptées sont éliminées laissant place aux réponses adaptées (Thorndike, 1898). Cette interprétation est reprise par le courant behavioriste. Développée notamment par Watson (1920), cette approche postule que les comportements d'un organisme sont sous le contrôle de son environnement. Ceux-ci peuvent être modifiés en agissant sur l'environnement ou sur leurs conséquences. Un 'bon' comportement sera appris car il a offert une conséquence positive ; un 'mauvais' comportement sera évité car il a offert une conséquence aversive. Dans cette approche, la résolution de problème ne fait appel à aucune représentation de la situation. Un problème n'est réussi que parce que l'environnement offre des conséquences positives aux actions menées. Comme l'explique Clément (2009, p.22-23), « *Pour toute situation-problème donnée, S, il existe des associations avec plusieurs réponses possibles, R1, R2, ... Rn. Ces liens, formant des familles de réponses associées à chaque situation-problème, peuvent être plus ou moins forts. Ces forces d'association entre stimulus et réponse définissent une hiérarchie de réponse [...]. Le comportement de résolution est défini par un changement de la force des associations entre stimulus et réponse sous l'effet de l'apprentissage.* ». La découverte de la solution dans une situation problème est ici le résultat de tâtonnements, d'essais erreurs ; le comportement efficace menant à la solution étant renforcé par la réussite (la résolution du problème). L'apprentissage de ce comportement se fait par renforcement : la réussite renforce ce comportement qui est alors mémorisé comme un comportement positif à réutiliser.

1.3.2. L'approche des gestaltistes

Les gestaltistes s'écartent de ce point de vue. Ils mettent en avant l'influence de la représentation interne du problème sur la découverte de la solution. Selon cette approche, découvrir la solution consiste en une réorganisation perceptive des éléments du problème. Cette réorganisation brusque est nommée *insight*. (Wertheimer, 1959, cité par Clément, 2009). Celle-ci est illustrée, notamment par le problème de neuf points de Maier (1930, cité par Clément, 2009). La tâche est de relier les points avec quatre traits sans lever le crayon. La résolution de ce problème consiste à se dégager de la prégnance relative de la bonne forme (carré virtuel) et à réaliser que les traits pour relier les points peuvent dépasser le carré imaginaire (Figure 5).



Figure 5 : Le problème des neuf points et sa solution (Maier, 1930)

Dans cette approche, les apprentissages antérieurs peuvent être perçus comme un frein qui gêne la résolution de problème comme le montre Duncker (1945) lorsqu'il étudie des problèmes mettant en avant ce qu'il nomme la fixité fonctionnelle. Elle désigne le fait qu'un objet utilisé dans un contexte donné est attaché à cette fonction et peut difficilement être utilisé dans une autre fonction pour résoudre un problème (prégnance de la bonne forme). Un des problèmes étudiés par Duncker (1945) est celui de la bougie. Trois boîtes en carton, des bougies, des punaises et des allumettes sont disposées sur une table. On demande aux participants de fixer au mur une bougie afin qu'elle éclaire la pièce. Pour certains participants, les boîtes sont vides pour d'autres elles contiennent des allumettes, des bougies ou des punaises. Lorsque les boîtes sont remplies, les participants ont plus de difficulté à découvrir la solution⁶. Duncker interprète cette différence comme la conséquence de la fixité fonctionnelle. Elle est liée au fait que les apprentissages antérieurs enferment les participants dans une représentation du problème qui l'empêche de découvrir la solution.

1.3.3. Approche du traitement de l'information

Dans cette approche, l'être humain est conçu comme un système de traitement de l'information (Newell & Simon, 1972). Les processus de pensée peuvent alors être

⁶ La solution consiste à utiliser une boîte vide comme support pour la bougie. La boîte étant préalablement fixée au mur.

formalisés par un programme informatique. Dans cette perspective la résolution de problème est conceptualisée comme un processus d'exploration à l'intérieur d'un espace de recherche. Celui-ci formalise les différents états possibles du problème. Il peut être représenté par un graphique où chaque nœud représente un état possible et chaque lien une action possible. Résoudre le problème revient alors à trouver son chemin dans cet espace de recherche de l'état initial à l'état but. Le problème de la Tour d'Hanoï illustre bien cette approche.

Dans ce problème, des disques de tailles différentes sont empilés (du plus grand au plus petit) sur une tige parmi trois fixées sur un support et alignées de gauche à droite. Les disques forment une tour. La tâche consiste à déplacer cette tour sur une autre tige. Cependant, on ne peut déplacer qu'un disque à la fois. Si plusieurs disques sont sur la même tige, on ne peut déplacer que le plus petit. Et on ne peut pas poser un disque sur un plus petit. L'état initial est représenté en haut du graphe (Figure 6, position 1) ; l'état but en bas à droite (position 27). Le chemin qui relie directement ces états (branche de droite) correspond à la solution la plus rapide pour résoudre le problème.

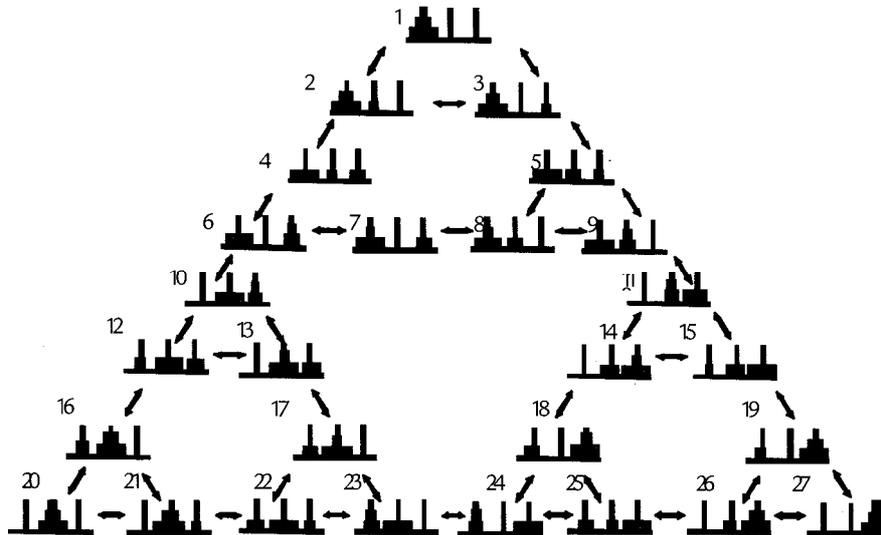


Figure 6 : Espace de recherche de la Tour d'Hanoï emprunté à Clément (2009, P. 34)

Dans cette approche, le choix des actions dans l'espace de recherche est guidé par des heuristiques. Ceux-ci ne garantissent pas la solution mais permettent d'explorer un nombre restreint de chemins qui semblent pertinents pour la solution. Deux stratégies (celles-ci étant présentées comme des heuristiques générales) sont définies : la recherche par essais erreurs et l'analyse moyens-fin. La recherche par essais erreurs consiste à appliquer au hasard les opérateurs⁷ légaux jusqu'à atteindre l'état final. L'analyse moyens-fin consiste à identifier la différence entre l'état courant et l'état but et à sélectionner un opérateur qui réduit cette différence. Si aucun opérateur n'est disponible, un sous-but est construit (position 10, par exemple) et l'opérateur qui permet d'atteindre ce sous-but est recherché et ainsi de suite, jusqu'à atteindre l'état final.

⁷ Moyens et actions permis par l'énoncé du problème à mettre en œuvre pour atteindre le but.

L'apprentissage s'exprime dans la recherche et l'utilisation des bons opérateurs. Les processus de résolution mis en avant dans cette approche (la recherche par essais erreurs et l'analyse moyens-fins) conduisent au développement de connaissances déclaratives (connaissance du chemin à parcourir) ou à des connaissances procédurales (utilisation préférentielle de tel ou tel opérateur).

1.3.4. La flexibilité cognitive

Cette approche s'attache à l'idée que la résolution d'un problème procède d'un changement de point de vue sur la situation de problème. Ce changement de point de vue caractérise la flexibilité cognitive. La restructuration du problème était déjà envisagée par les gestaltistes comme déterminante dans la découverte de la solution. Aujourd'hui, un certain nombre de travaux supportent cette approche (cf. Clément, 2009). Selon eux, les difficultés rencontrées en résolution de problème seraient essentiellement liées à la fixation. Certaines caractéristiques de la situation de problème fixeraient l'attention sur une certaine représentation de la situation et freineraient l'accès à la solution du problème. Si nous abordons le problème suivant par exemple,

« Deux gares ferroviaires sont distantes de cinquante miles. Un samedi, à deux heures de l'après-midi, deux trains partent chacun d'une des gares, à la rencontre l'un de l'autre. Au moment où les trains quittent les gares, un oiseau surgit des airs et se place devant le premier train. Il vole jusqu'au deuxième train, et quand il l'atteint il retourne vers le premier train. L'oiseau continue ces allers-retours jusqu'à ce que les deux trains se rencontrent. Sachant que les deux trains roulent à vingt-cinq miles par heure et que l'oiseau vole à cent miles par heure, combien de miles l'oiseau va-t-il parcourir jusqu'à ce que les trains se rencontrent ? » (Posner, 1973, cité par Clément, 2009)

la difficulté de ce problème réside dans la représentation que l'on peut se faire du problème. Si l'on considère les allers-retours de l'oiseau, ce problème est difficile. Par contre, si on change de point de vue et que l'on se centre sur le trajet des trains, le problème devient plus facile à résoudre. Comme les trains roulent à vingt-cinq miles à l'heure et que la distance qui les sépare est de cinquante miles, ils se rencontreront à mi-parcours (c'est-à-dire vingt-cinq miles) donc au bout d'une heure. Comme l'oiseau vole à cent miles à l'heure, il aura parcouru cent miles. Cet exemple montre bien que le point de vue qu'on a de la situation de problème peut rendre difficile la découverte de la solution et que c'est grâce à un changement de point de vue que celle-ci peut opérer. La flexibilité cognitive s'exprime ici par une certaine souplesse qui permet le changement de point de vue et donc la résolution du problème. Les apprentissages antérieurs peuvent ici être un frein à la découverte de la solution puisqu'ils peuvent fixer l'attention sur une certaine représentation de la situation.

1.3.5. Les schémas pragmatiques de raisonnement

Cheng et Holyoak (1985) dans leurs travaux sur la résolution de problèmes logiques, utilisent la notion de schémas pragmatiques de raisonnement (« *pragmatic reasoning schemas* ») afin d'expliquer les écarts de résultats entre les expériences des 4 cartes de

Wason (1968) et celles de Johnson-Laird, Legrenzi et Legrenzi (1972) utilisant un paradigme quasi-identique. Le problème des quatre cartes de Wason est un problème logique fortement échoué. Dans sa version originale, quatre cartes sont présentées qui montrent chacune respectivement, une voyelle, une consonne, un nombre impair et un nombre pair (Figure 7). Les participants sont informés que chaque carte contient une lettre sur une face et un chiffre sur l'autre face. Le participant doit sélectionner les cartes qui permettent de vérifier l'affirmation suivante et seulement celles-ci.

« Si une carte a une voyelle sur une face, alors elle a un nombre pair sur l'autre face »

Quels que soit les lettres et les chiffres présents sur les cartes, les deux cartes que le participant doit retourner sont la carte contenant une voyelle et celle contenant un nombre impair. Pour la Figure 7, les participants doivent retourner les cartes 'A' et '7'. La solution est la voyelle et le nombre impair car seule la présence de ces valeurs sur la même carte peut falsifier l'affirmation conditionnelle. Les erreurs les plus fréquentes consistent à retourner la carte contenant une voyelle et celle contenant le nombre pair, ou à ne retourner que la carte contenant une voyelle.

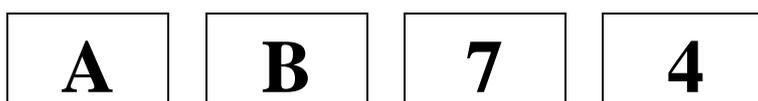


Figure 7 : Problème des 4 cartes (Wason, 1968)

Afin de mieux appréhender la non-réussite massive des participants (moins de 10% des participants donnent la bonne réponse), Johnson-Laird, Legrenzi et Legrenzi (1972) utilisent un paradigme identique avec un habillage faisant appel à la vie quotidienne. Dans leurs expériences, des étudiants italiens, doivent imaginer qu'ils sont des employés de la poste dont le travail consiste à trier le courrier. Ils doivent faire en sorte que le courrier soit trié selon la règle suivante.

« Si une enveloppe est fermée alors elle doit être affranchie avec un timbre de 50 lire »

Quatre enveloppes leur sont ensuite présentées. Une face de l'enveloppe indique si elle est ou non fermée, l'autre face indique le montant de l'affranchissement (Figure 8). Dans cette version de la tâche 90% des participants produisent la bonne réponse⁸.

⁸ Les participants doivent choisir la première et la dernière enveloppe.

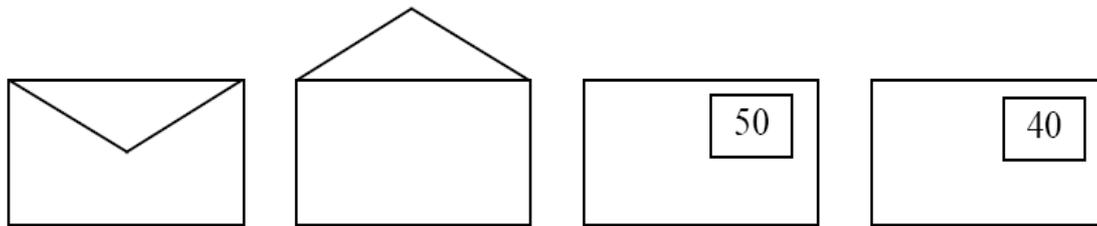


Figure 8 : Problèmes des quatre enveloppes (Johnson-Laird & al, 1972)

Griggs et Cox (1982) reproduisent cette expérience en Floride (Etats-Unis) où cette règle postale n'est pas en vigueur. Ils n'obtiennent pas d'effet facilitateur par rapport à la version classique du paradigme. Leur hypothèse est que ce n'est pas l'aspect concret du problème qui est facilitateur mais son ancrage dans la réalité quotidienne des participants. Dans une autre expérience, ils confrontent des étudiants à un paradigme reprenant un contexte de permission⁹ familial lié à l'âge légal de consommation d'alcool en vigueur en Floride. Avec celui-ci, le taux de réussite de la tâche est beaucoup plus élevé (environ 70% des participants donne la bonne réponse). Pour Cheng et Holyoak (1985), ces résultats s'expliquent par le fait que les individus ne raisonnent pas avec des règles formelles mais à partir de schémas pragmatiques généraux tels ceux qui structurent la vie quotidienne (schéma de permission, d'obligation, etc.). Ces schémas pragmatiques de raisonnement consistent en un ensemble de règles contextuelles qui seraient définies en termes de buts à atteindre et de liens entre ces buts. Selon eux, les schémas pragmatiques stockés en mémoire seraient utilisés afin de réussir les problèmes pratiques. Les participants ne posséderaient pas de schémas logiques leur permettant de résoudre le problème des 4 cartes de Wason. Cela expliciterait l'échec massif à cette tâche. A l'inverse, les participants posséderaient le schéma pragmatique de la permission, et cela expliquerait leur plus grande réussite à la tâche avec ce type de paradigme.

Dans cette approche, la résolution de problèmes est soumise à l'utilisation de connaissances stockées en mémoire (les schémas pragmatiques de raisonnement). L'apprentissage de la règle logique permettant la réussite de la tâche semble trop difficile. Dans leur étude, Cheng, Holyoak, Nisbett et Oliver (1986) n'obtiennent que 3% de réussite supplémentaire à la tâche des 4 cartes avec les participants ayant suivi un apprentissage logique. D'autre part, Wason et Shapiro (1971, expérience 1) observent une stabilité des erreurs malgré la mise en place d'une phase de familiarisation. Dans ce type de tâche, la résolution semble prendre le pas sur l'élaboration de connaissance.

⁹ Quatre personnes sont en train de boire dans un bar et vous disposez des informations suivantes : la première boit une boisson alcoolisée, la seconde a moins de 18 ans, la troisième a plus de 18 ans et la dernière boit une boisson sans alcool. Quelle(s) personne(s) devez-vous interroger sur leur âge ou sur le contenu de leur verre pour vous assurer que tous respectent bien la règle suivante : *Si une personne boit de l'alcool, elle doit avoir plus de 21 ans.*

1.4. Bilan du chapitre 1

Ce premier chapitre a permis de mettre en avant l'intérêt de la résolution de problème. C'est une situation complexe où deux processus entrent en concurrence : la résolution en elle-même, et l'apprentissage de nouvelles connaissances. Les deux sont étroitement liés, puisque l'utilisation de tel ou tel processus de résolution conduira à tel ou tel apprentissage. Des connaissances peuvent être élaborées suite à un processus de résolution par essais erreurs, découlées d'un processus de transfert, développées par expérience, liées à la vie quotidienne et même être perçues comme un frein à la résolution. Par exemple, lors de la résolution du problème des Maris Jaloux¹⁰, l'utilisation d'une stratégie par essai-erreurs conduit à l'apprentissage des mouvements à effectuer. Tandis que l'utilisation d'un raisonnement analogique (utilisation de la situation problème isomorphe¹¹ des Missionnaires et des Cannibales) pourrait conduire à la réorganisation des connaissances utilisées et à l'élaboration d'une catégorie de problèmes dont la résolution dépend de l'utilisation de l'algorithme « *ramener des personnes sur la rive de départ* » (Reed, Ernst & Banerji, 1974). Ainsi, la résolution de problème peut être perçue comme une forme d'apprentissage si l'on admet deux postulats. Le premier est que toute personne impliquée dans une situation problème déploie un certain nombre de processus pour produire une réponse adaptée et résoudre le problème. Le second est qu'il reste des traces de cette activité (Champagnol, 1974).

De cette idée que l'utilisation de tel ou tel processus de résolution peut favoriser l'élaboration ou la réorganisation des connaissances découle plusieurs questions. Si la résolution d'un problème conduit à l'apprentissage de connaissances, quelle est leur nature ? Et comment sont elles structurées en mémoire ?

Le chapitre suivant examine les différentes approches qui répondent à ces questions et notamment celle de Sweller (2003).

¹⁰ Trois couples mariés se trouvent sur une rive d'un fleuve, qu'ils doivent tous traverser. Ils ont à leur disposition une barque pouvant transporter soit une, soit deux personnes. Les trois maris sont jaloux: aucun d'eux ne peut admettre que son épouse se trouve avec un autre homme sur la rive opposée à la sienne. Le problème consiste à donner une suite de traversées en barque permettant de faire passer les six personnes sur la rive opposée, sans jamais provoquer la jalousie d'un mari.

¹¹ Deux problèmes sont dits isomorphes s'ils partagent le même but, les mêmes contraintes et le même espace de problèmes. Deux problèmes isomorphes disposent de la même structure de problème. Ils diffèrent par leur habillage sémantique c'est-à-dire que leurs traits de surfaces sont différents.

Chapitre 2 : l'apprentissage en résolution de problèmes

En situation de problème, le processus de résolution laisse des traces en mémoire. Le Chapitre 1 a permis de balayer une partie des différents travaux s'interrogeant sur les processus utilisés. Ce second chapitre se concentre sur la question de la nature des traces mnésiques. Celles-ci sont abstraites et regroupées en structures de connaissances selon les approches. Leur élaboration étant largement dépendante du contexte de la situation de problème.

Dans un premier temps, nous présentons la notion de schéma ainsi que les différentes recherches qui se sont questionnées sur les contraintes de leur élaboration. Dans un second temps, nous détaillons amplement la théorie de la charge cognitive développée par Sweller (2003). Celle-ci lie apprentissage et résolution de problème dans une perspective de développement des schémas de connaissances. Elle met en avant l'impact de la présentation du problème sur sa résolution et sur l'élaboration des schémas.

2.1. L'élaboration de connaissances en résolution de problèmes : aspects généraux

2.1.1. Introduction

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, le raisonnement mis en œuvre pour résoudre un problème peut conduire à l'apprentissage de connaissances. L'activité de résolution laisse des traces en mémoire du chemin parcouru jusqu'à la solution. Quel est alors la nature de ces traces et surtout quel est leur niveau d'abstraction ?

Différentes études ont abordé cette question et leur point de vue diverge (Cauzinille-Marmèche & Didierjean, 1999). En résolution de problèmes, deux processus d'apprentissage peuvent être mis en œuvre : la mémorisation d'exemplaire, et/ ou l'abstraction de connaissances généralisées (Didierjean, 2001). Selon les recherches, l'apprenant a la possibilité de mémoriser les exemplaires rencontrés ou d'en extraire des règles qu'il pourra réutiliser. Le premier pose comme mécanisme de résolution de problèmes le stockage puis l'utilisation des problèmes auxquels le participant a déjà été confronté sans qu'il y ait abstraction de connaissances plus générales. Actuellement, de plus en plus d'auteurs considèrent que ces deux processus ne s'opposent pas mais sont au contraire complémentaires (Didierjean & Cauzinille-Marmèche, 1998 ; Didierjean, 2001, 2003). Ils coexisteraient et seraient utilisés conjointement (Reeves & Weisberg, 1994). Face à un nouveau problème, il pourrait y avoir activation d'exemples spécifiques ou de schémas de résolution plus abstraits. La mise en œuvre de l'un ou de l'autre de ces processus semblant être fonction de nombreux paramètres : particularités interindividuelles, niveaux des apprenants, et caractéristiques de la tâche (Didierjean, 2003).

Un premier champ de recherche privilégie l'hypothèse de l'utilisation d'un processus de mémorisation d'exemplaire. Ce processus, notamment exploré par les recherches de Ross (1984, 1987, 1989), permettrait à l'individu de constituer une base de problèmes organisée. Résoudre un nouveau problème consisterait alors à rechercher en mémoire un problème, le plus proche possible, et à appliquer la solution qui y est rattachée. Dans ce cadre, les connaissances sont peu abstraites et les problèmes mémorisés sont annotés de manière à être retrouvés.

Ce modèle de raisonnement à partir de cas, défend l'idée que c'est l'adaptation de cas particuliers qui est le mode privilégié de résolution de problèmes. Il est appuyé par les travaux de Reed (1989), qui montrent que le traitement de plusieurs problèmes isomorphes ne conduit pas nécessairement à la construction de connaissances générales et que les participants novices ont recours à des épisodes spécifiques pour résoudre les problèmes.

D'autres recherches mettent en avant que les individus extraient une structure abstraite de connaissances des situations problèmes rencontrées (Gentner, 1983). Lors de la confrontation à une situation problème, des connaissances seraient dégagées du contexte

de la situation. Elles seraient structurées en schéma décontextualisé regroupant l'état initial, le but et les moyens pour y parvenir (Rumelhart & Norman, 1981).

Dans ce modèle, lors de la confrontation à un problème, ce n'est pas un exemple qui est utilisé mais un schéma abstrait regroupant les éléments essentiels liés à la structure du problème (Gick & Holyoak, 1980, 1983). A travers deux expérimentations (*cf.* 2.1.3), ils étudient dans quelles conditions les participants parviennent à utiliser la solution d'un problème qui leur a été présenté (la prise d'une forteresse) pour résoudre un problème de même structure (la destruction d'une tumeur). Les deux problèmes pouvant être résolus à partir du même schéma de résolution (schéma de convergence). Les auteurs observent que c'est par un processus de comparaison que serait extrait le schéma de résolution. Celui-ci regrouperait les éléments de structure des problèmes. Il serait détaché des éléments contextuels (traits de surface). L'abstraction du schéma de résolution faciliterait la résolution du problème cible.

Il apparaît cependant que les indices de surface jouent également un rôle, à la fois dans la représentation du problème cible et dans l'accès au schéma. Holyoak et Koh (1987) montrent ainsi que le transfert spontané de la solution du problème source vers le problème cible augmente lorsque ceux-ci partagent davantage de traits sémantiques avec le problème source (*cf.* 2.1.3). Pour eux, les traits de surface servent d'indice de récupération. Pour Ross (1987, 1989), les traits de surface jouent un rôle dans la phase d'adaptation de la source à la cible. Enfin, plusieurs auteurs défendent l'hypothèse que les schémas construits intègrent à la fois des connaissances abstraites et des éléments conceptuels (Chi, Feltovich & Glaser, 1987; Bernardo, 1994, Blessing & Ross, 1996).

La décontextualisation des connaissances est de plus perçue comme une qualité de l'expertise. Selon la recherche princeps de Chi, Feltovich, et Glaser (1981), les novices catégorisent davantage les problèmes à partir de leurs traits de surface tandis que les experts les catégorisent davantage selon les traits de structure. L'abstraction de connaissances serait l'une des clés de l'expertise (Didierjean & Gobet, 2008), elle diminuerait la charge cognitive (Sweller, 2003), et permettrait un meilleur transfert des connaissances (Gick & Holyoak, 1987). D'après ces travaux, favoriser l'élaboration de structures abstraites de connaissances est le processus d'apprentissage à privilégier.

Dès lors, deux questions se posent : quelles sont les caractéristiques des schémas ? Et quelles sont les contraintes liées à son élaboration ?

Dans la section suivante, nous traitons ces deux questions. Nous détaillons dans un premier temps la notion de schéma. Puis nous présentons différents travaux qui permettent d'expliquer comment les schémas sont élaborés et sous quelles contraintes.

2.1.2. La notion de schéma

Introduction

La notion de schéma est une notion floue en psychologie. Proposée par Head (1926, cité dans Bartlett, 1932 et dans Schmidt, 1975), elle est tout d'abord développée dans le domaine de la perception. Actuellement, utilisée aussi bien en psychologie cognitive qu'en ergonomie, son utilité dans le domaine plus spécifique de la résolution de

problèmes nous intéresse plus particulièrement. Pour bien des auteurs, la notion de schéma semble à même de définir la structuration des connaissances en mémoire.

A travers ses recherches sur la mémoire, Bartlett (1932) affirme que ce n'est pas la complexité du stimulus qui fait la complexité de la réponse mais la complexité de l'organisme qui répond. Pour lui, c'est toujours l'organisme entier qui répond. D'autre part, il observe le caractère à la fois créatif et modelé culturellement du processus de mémorisation. Il en conclut que chaque événement auquel est confronté l'organisme laisse une trace ou un groupe de traces élaborées et inscrites dans l'organisme ou la pensée. Selon lui, ces connaissances antérieures sont organisées en groupes d'éléments structurés qu'il définit à l'aide de la notion de schéma. Pour lui, les schémas se réfèrent à une organisation active des expériences passées qui permet à l'organisme d'avoir une réponse adaptée à l'environnement. Dans son approche, les informations conservées en mémoire, quelles qu'elles soient, sont donc organisées de manière dynamique sous forme de schémas.

Selon Weis-Barais (1993, p. 391), « *de manière générale, un « schéma » est une représentation cognitive qui spécifie les propriétés générales d'un type d'objet, d'événement ou de structure et laisse de côté les détails qui ne sont pas pertinents pour caractériser le type. Un schéma est donc une abstraction qui permet d'assigner à des catégories générales certaines spécifications [...] Le schéma élimine les détails en vue de permettre la catégorisation, puis la pensée et l'action fondée sur cette catégorisation.* ». En partant de cette définition, nos connaissances ne seraient pas éparpillées en mémoire au hasard de leur acquisition, mais regroupées dans des ensembles structurés et hiérarchisés : les schémas. Ceux-ci seraient des structures actives qui évolueraient constamment, au fil des apprentissages et des expériences, et ils représenteraient la connaissance à tous les niveaux. Ils structureraient les connaissances stockées en mémoire pour faciliter leur catégorisation et leur récupération. D'autre part, les schémas fonctionneraient comme des systèmes capables d'évaluer leur propre adéquation avec les données pour le traitement desquelles ils ont été convoqués.

La théorie des schémas de Schmidt (1975)

Ces premiers travaux posent la base de la notion de schéma. Schmidt (1975) l'utilise plus tard dans ses recherches autour de l'acquisition de compétences motrices. Dans son article "*A schema theory of discrete motor skill learning*", il propose une nouvelle théorie afin d'explicitier les processus en jeu dans l'acquisition des habiletés motrices. Il pose que les personnes n'apprennent pas que des mouvements particuliers mais construisent des schémas moteurs généraux. En pratique, pour un mouvement, comme lancer une balle, les pratiquants apprennent les relations entre les paramètres et les résultats. Par la collecte de données, ils comprennent la relation entre la manipulation des paramètres du lancer et le résultat du mouvement. Pour Schmidt, les compétences motrices sont organisées en mémoire suivant des représentations structurées, les schémas. Ses travaux ont été à la base d'un grand nombre de travaux sur les compétences motrices (Shea & Morgan, 1979 ; Lee & Magill, 1983).

Cette notion peut être généralisée à d'autres domaines de compétences et de connaissances comme le souligne Keetch, Schmidt, Lee & Young (2005). Selon eux, la

théorie des schémas (*cf.* van Rossum, 1990, pour une revue) formalise un modèle détaillé des représentations des habilités motrices et permet la production d'un certain nombre d'hypothèses plus générales. Herbert et Burt (2001), quant à eux, montrent que cette notion peut également nous éclairer sur l'organisation de connaissances plus déclaratives, dans la poursuite des travaux de Pellegrino (*cf.* Pellegrino & Glaser, 2007, pour une revue). Au cours de leurs recherches sur l'enseignement universitaire, Herbert et Burt (2001) arrivent à la conclusion que les connaissances intégrées par les étudiants pendant les cours sont schématisées au cours de l'apprentissage. Ces connaissances perdurent dans le temps et conditionnent les nouveaux apprentissages. Ainsi, pour eux, les schémas définissent également le mode d'organisation des connaissances déclaratives. Sweller (2003), pour sa part, en fait un pilier central de sa théorie de la charge cognitive.

Le point de vue de Sweller (2003)

Si nous l'acceptons telle qu'elle est définie par Weis-Barais (1993), la notion de schéma permet de comprendre comment l'information est stockée en mémoire. L'information y est structurée, catégorisée, groupée sous forme de schémas. Sweller (2003) redéfinit et utilise cette notion.

Pour lui, un schéma est bien une structure cognitive qui organise les éléments stockés en mémoire. Les schémas permettent de grouper et de catégoriser les éléments d'information. D'autre part, ils permettent également de contrôler l'action. Il note (2003, p.15) qu'un schéma, activé comme un exécutif central, coordonne l'information. Celui-ci indique quelle information doit être ignorée, quelle information est pertinente et comment les différents éléments pertinents s'organisent les uns par rapport aux autres. Selon son approche, les schémas sont des abstractions de connaissances stockées en mémoire à long terme, mobilisables en mémoire de travail comme un seul élément. En effet, selon Sweller (2003), un schéma n'est traité en mémoire de travail que comme un seul élément quel que soit le nombre d'éléments qu'il contient. Les schémas permettent, dans cette optique, de gérer des éléments fortement interactifs. Face à plusieurs éléments, en plus de les considérer simultanément en mémoire de travail, nous devons également considérer, simultanément, les relations qu'ils ont entre eux. Nous parlons alors de forte interactivité (comme lors de l'apprentissage d'une langue étrangère où nous devons considérer simultanément les mots mais également la syntaxe et la grammaire de la langue). Selon Sweller (2003), les schémas permettraient de gérer ces situations de forte interactivité puisqu'ils permettent la gestion d'éléments de forte interactivité en mémoire de travail comme un seul élément. En effet, une fois intégrés sous forme de schéma, les éléments interactifs représentent un faible poids en mémoire de travail et contournent ainsi la capacité limitée de celle-ci. Les schémas permettent également de guider le traitement de l'information et réduire ainsi la charge cognitive liée à ce traitement (Sweller, 2003).

Dans cette perspective, l'expertise pourrait se traduire par l'acquisition d'un grand nombre de schémas dans le domaine concerné. Selon Cooper et Sweller (1987), l'acquisition de schémas permet d'augmenter l'expertise. Ils suggèrent que l'acquisition des schémas et leur automatisation sont les déterminants des hautes performances en résolution de problèmes. Selon Kalyuga, Chandler, Tuovinen et Sweller (2001), cette acquisition permet de résoudre des problèmes avec peu d'effort cognitif. L'acquisition

des schémas appropriés permet selon leurs recherches de résoudre les problèmes rencontrés avec un minimum d'effort et davantage de réussite.

Conclusion

En conclusion, les schémas sont des représentations mentales abstraites qui résument et organisent de façon structurée des événements, des objets, des situations ou des expériences en interrelations. Les schémas, stockés en mémoire à long terme, permettent d'analyser, de sélectionner, de structurer et d'interpréter des informations nouvelles. Ils servent donc en quelque sorte de modèle, de cadre (pour reprendre l'expression équivalente utilisée en intelligence artificielle) pour traiter l'information et diriger les comportements. Ils organisent l'information en mémoire à long terme en structures organisées et dynamiques et réduisent le nombre de ressources cognitives à utiliser en mémoire de travail. L'apprentissage peut alors être conçu, et c'est ainsi que le définit Sweller, comme l'élaboration de schémas.

La question des conditions d'élaboration des schémas est abordée dans la section suivante.

2.1.3. L'élaboration de schémas, quelles contraintes ?

Introduction

Résoudre un problème ce n'est pas simplement rechercher la solution, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, c'est également extraire des connaissances, c'est à dire apprendre de cette situation problème afin de faire face si l'on venait à rencontrer de nouveau une situation problème similaire. En effet, il apparaît qu'au delà de la résolution de problème en elle-même (c'est à dire la recherche de la solution), la question de la nature de l'apprentissage qui est réalisé, est fortement débattu. La nature et l'utilisation des connaissances extraites en résolution de problèmes sont principalement étudiées dans le champ du raisonnement analogique.

L'étude du transfert¹² de connaissances entre un ou des problèmes sources (problèmes présentés dans une première phase) et un ou des problèmes cibles (problèmes qui permettent de tester le niveau de transfert des connaissances) intervient dans de nombreux travaux. Le transfert implique la mise en relation et l'adaptation, dans un contexte nouveau et inhabituel, d'une connaissance acquise précédemment. Il correspond à une recontextualisation de connaissances et de compétences dans une tâche cible, de connaissances et de compétences développées dans une tâche source (Tardif, 1999). Le transfert des connaissances serait réalisé à partir des schémas stockés en mémoire vers le problème rencontré.

¹² Selon Tardif (1999, p. 58) le transfert fait référence au « *mécanisme cognitif qui consiste à utiliser dans une tâche cible une connaissance construite ou une compétence développée dans une tâche source.* ». Frenay (1994, p. 73) le définit comme « *la capacité qu'a un apprenant de résoudre de nouvelles situations en mobilisant les connaissances acquises antérieurement dans des situations différentes* ».

Cependant, l'élaboration de schémas permettant le transfert de connaissances semble soumis à plusieurs contraintes. Les travaux de Gick et Holyoak (1983) appuient notamment la nécessité de s'appuyer sur plusieurs problèmes pour élaborer un schéma de résolution. Ces problèmes peuvent être proches sémantiquement (Holyoak & Koh, 1987) ou bien plus éloignés. D'après Ahn, Brewer et Mooney (1992), les schémas peuvent s'élaborer à partir d'un seul exemple, si l'on dispose déjà en mémoire de connaissances sur lesquelles s'appuyer. Ils montrent que les participants apportent leurs connaissances antérieures dans la tâche et peuvent alors acquérir un schéma à partir d'une seule source. Alors que pour Cummins (1992), c'est dans l'activité de comparaison qu'est élaborée une représentation cohérente des problèmes en fonction de leur structure. Elle observe que cette activité permet aux participants novices d'égaliser les participants experts. Pour Bernardo (1994), les schémas sont construits par analogie. C'est à dire dans la comparaison de plusieurs problèmes. Selon lui, l'acquisition des premières représentations d'un type de problème ne serait qu'un effet secondaire du raisonnement analogique. D'après les travaux de Chen et Mo (2004), les schémas sont davantage élaborés lorsque sont proposés, lors de la phase d'apprentissage, des problèmes différents. Pour eux, les schémas s'élaborent sur plusieurs dimensions. Introduire de la variabilité sur une ou plusieurs de ces dimensions favorise l'élaboration de schémas plus flexibles et une plus grande réussite aux problèmes de transfert.

La question de l'optimisation du transfert de connaissances par la favorisation de l'élaboration de schémas est au cœur de toutes ces recherches. Dans cette section, nous en détaillons différentes qui apportent des éléments de réponses à cette question.

Les recherches de Gick et Holyoak (1980, 1983)

Afin d'étudier le processus de transfert dans la résolution de problème, Gick et Holyoak (1980, 1983) ont développé le paradigme expérimental suivant. Dans un premier temps, ils présentent aux participants un problème source, le problème de la forteresse, ainsi que sa solution. Dans un second temps, ils demandent aux participants de résoudre un problème cible, le problème de la tumeur [emprunté à Duncker (1945)]. Le problème cible est analogue au problème source, ils partagent le même schéma de résolution : le schéma de convergence. Les énoncés des problèmes ainsi que le schéma de convergence sont présentés Figure 9.

Le problème de la forteresse

« Un petit pays était sous la coupe d'une forteresse dirigée par un dictateur. La forteresse était au centre du pays, entourée de fermes et de villages. Plusieurs routes du pays conduisaient à la forteresse. Un général rebelle voulut attaquer la forteresse. Le général savait que si son armée entière était mobilisée, elle réussirait à attaquer la forteresse. Il rassembla son armée sur une des routes, prêt à lancer une offensive de grande envergure. Mais le général apprit que le dictateur avait posé des mines sur chacune des routes. Les mines étaient posées de telle façon que seul un petit nombre d'hommes pouvait passer sain et sauf. Ainsi, une troupe trop importante ferait sauter les mines. Non seulement cela ferait sauter la route, mais cela détruirait aussi de nombreux villages voisins. Il paraissait impossible d'attaquer la forteresse.

Cependant, le général conçut un plan simple. Il divisa son armée en petites unités et répartit chacun des groupes sur une des routes. Quand ils furent tous prêts, il donna le signal et chacun des groupes s'engagea sur une route différente. Chaque groupe chemina vers la forteresse et l'armée entière arriva à la forteresse au même moment. De cette façon, le général assiégea la forteresse et renversa le dictateur. »

Le problème de la tumeur

« Supposez que vous soyez docteur et que vous receviez un patient qui a une tumeur maligne à l'estomac. Il n'est pas possible de l'opérer, mais si on ne détruit pas la tumeur, le patient mourra. On peut utiliser un certain type de rayons pour détruire la tumeur. Si les rayons atteignent la tumeur tous en une seule fois à une intensité suffisamment importante, on peut détruire la tumeur. Malheureusement, à cette intensité, les tissus sains qui seront atteints par les rayons seront détruits aussi. À une plus faible intensité, les rayons n'abîmeront pas les tissus sains, mais n'auront aucun effet sur la tumeur. Quelle procédure peut-on utiliser avec ces rayons pour détruire la tumeur sans détruire les tissus sains ? »

Schéma de convergence

But : utiliser une force pour détruire une cible centrale

Ressources : une force suffisamment importante

Contraintes : impossibilité d'appliquer l'ensemble de la force d'un seul lieu

Solution : appliquer simultanément des forces faibles de différents lieux

Conséquences : la cible centrale est détruite par la force

Figure 9 : Le problème de la forteresse, le problème de la tumeur et le schéma de convergence (d'après Gick & Holyoack, 1983, traduction empruntée à Clément, 2009, p.66)

Les auteurs (Gick & Holyoack, 1983) observent que face au problème de la tumeur seul, 10% des participants trouvent la solution. Lorsqu'il est précédé du problème de la forteresse accompagné de la solution, 20% des participants découvrent la solution spontanément et ce pourcentage croît à 75% lorsque les participants sont informés du lien entre les deux problèmes. Il croît également lorsqu'un second problème source est fourni aux participants en plus du problème de la forteresse. Les auteurs interprètent ces résultats par le fait qu'une représentation abstraite de la structure de la résolution doit être construite pour qu'un raisonnement analogique soit possible. Cette représentation serait de la forme du schéma de convergence (Figure 10) et exclurait les éléments contextuels (traits de surface) pour ne contenir que des termes généraux (indices de

structures). Ce schéma ‘pragmatique’ organise la représentation du problème en termes de but à atteindre et de moyens pour y parvenir (cf. 1.3.5).

Selon Gick et Holyoak (1987), le transfert de la solution dépend de l'acquisition des règles qui catégorisent la tâche. L'apprentissage de ces règles influence positivement le transfert bien que dans une tâche complexe cela ne soit pas aisé (faible transfert spontané observé lorsque les participants ne reçoivent pas d'indices sur l'analogie des deux problèmes ou qu'un seul problème source leur est présenté). Cependant, présenter le schéma de la solution (Figure 10) sans exemple ne suffit pas à faciliter le transfert (Gick & Holyoak, 1983, expérience 3). Plus précisément, les participants disposant d'une description du raisonnement (règle de résolution) ne transfèrent pas de manière adéquate leurs connaissances face aux problèmes tests, s'ils n'ont pas disposé d'exemples illustratifs. Les exemples permettraient de contextualiser le schéma.

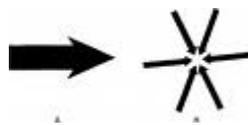


Figure 10 : Représentation du schéma de convergence (Gick & Holyoak, 1983)

En conclusion, ces recherches montrent que le transfert de connaissances spontané n'est pas aisé. L'élaboration d'un schéma global permettant la résolution d'un nouveau problème dépend fortement de la présentation de la tâche.

La recherche de Holyoak et Koh (1987)

Dans la poursuite des recherches présentées dans la section précédente, Holyoak et Koh (1987) s'interrogent sur les facteurs qui influencent la récupération et l'utilisation d'une situation analogue lors de la résolution d'un problème.

Leur première expérience teste plus particulièrement le transfert spontané. 31 participants ayant étudié le problème de la tumeur lors d'un cours (Figure 9) et dix étudiants formant un groupe contrôle sont mobilisés pour cette expérience. Les auteurs présentent aux participants, trois à sept jours après le cours, le problème de l'ampoule¹³ puis le problème de la tumeur sans allusions de lien avec le cours. Les résultats qu'ils observent sont rapportés dans le Tableau I.

¹³ Dans un grand laboratoire de physique, une ampoule spéciale est fréquemment utilisée pour des expériences. Or l'ampoule ne fonctionne plus, suite à une trop longue surchauffe qui a fait fondre le filament. L'ampoule coûte très cher et ne peut être remplacée. Le filament peut être ressoudé en utilisant des rayons laser avec une intensité suffisamment forte. Mais si tous les rayons laser passent par un même endroit, le tube de l'ampoule, très fragile, se brisera. Comment faire pour réparer quand même le filament ? (Traduction empruntée à Cauzinille-Marmèche, 1990)

Tableau I : Proportion de participants produisant la solution de convergence (Holyoak & Koh, 1987, expérience 1)

	Problème de l'ampoule	Problème de la tumeur
Groupe expérimental (ayant participé à un cours portant sur le problème de la tumeur)	81%	86%
Groupe contrôle	10%	10%

Ces résultats suggèrent qu'un transfert spontané est possible, même après un délai de plusieurs jours. Ce transfert est rendu possible, selon les auteurs, par la proximité sémantique des problèmes. Afin de vérifier cette hypothèse, ils élaborent trois versions du problème de l'ampoule faisant varier la proximité des traits de structure et la proximité des traits de surface. Les auteurs les proposent à 63 participants dans une seconde expérience. Les participants lisent tout d'abord une version plus ou moins similaire du problème de l'ampoule avec sa solution. Ensuite les auteurs leur demandent de résumer cette histoire avant de leur soumettre le problème de la tumeur. Enfin, les participants doivent répondre à trois questions : 1) vous êtes vous servis de l'histoire que vous avez lu pour résoudre le problème ? 2) quelle solution était suggérée par l'histoire ? 3) connaissiez vous le problème de la tumeur et sa solution ? Les deux premières questions servent d'allusions pour aider les participants. Les résultats des participants sont présentés dans le Tableau II.

Tableau II : Proportion de participants produisant la solution de convergence (Holyoak & Koh, 1987, expérience 2)

Similarité de surface			
Similarité de structure	Haute	Basse	<i>Moyenne</i>
<i>Sans aide</i>			
Haute	69%	38%	54%
Basse	33%	13%	23%
<i>Moyenne</i>	51%	26%	
<i>Avec aide</i>			
Haute	75%	81%	78%
Basse	60%	47%	54%
<i>Moyenne</i>	68%	64%	

Ils montrent que le transfert spontané est favorisé par des traits de surface et/ou de structure similaires. Ces deux caractéristiques influencent également et positivement le transfert spontané. D'autre part, lorsque de l'aide est fournie aux participants, l'influence des traits de surface est annulée. Seul celui des traits de structure perdure. Enfin, ce sont les participants qui ont lu la version la plus proche sémantiquement et structurellement qui rapportent le plus d'utilisation de l'histoire lors de la résolution du

problème. Plus l'histoire est dissimilaire plus le nombre de participants rapportant en faire usage décroît.

Les auteurs concluent de ces deux expériences, que le transfert analogique spontané, c'est-à-dire l'utilisation d'une situation déjà rencontrée, a lieu lorsque le problème auquel est confronté le participant dispose de multiples traits communs avec la situation source. La récupération en mémoire d'une situation qui peut aider à résoudre le problème dépend fortement de ces multiples indices. L'aide apportée pouvant également servir d'indice de récupération.

Les situations ou problèmes rencontrés seraient donc indicés en mémoire aussi bien à partir de traits de structures que des traits de surface. Leurs utilisations dépendraient fortement de la capacité du participant à faire le lien avec le problème rencontré. Les connaissances élaborées lors de la lecture de l'histoire semblent être largement dépendantes des particularités de la situation (traits de surface et traits de structure). Le schéma élaboré comporterait des informations plus spécifiques liées aux caractéristiques de la situation source. Cette hypothèse est soutenue par les travaux de Bernardo (1994) que nous décrivons dans la section suivante.

La recherche de Bernardo (1994)

Le but de ses recherches est de tester l'hypothèse selon laquelle les schémas contiennent à la fois des informations abstraites et des informations spécifiques. Celles-ci serviraient d'indices de récupération et permettraient l'accès aux informations plus abstraites.

Afin d'explorer cette hypothèse, Bernardo (1994) utilise un paradigme d'amorçage. Le protocole expérimental est similaire dans les quatre expériences. Dans une première phase, les participants ont à étudier quatre problèmes mathématiques résolus (problèmes cibles) puis sont confrontés à quatre problèmes de même type à résoudre (problèmes tests), présentés de manière aléatoire. Dans un deuxième temps, des listes de phrases leur sont présentées. Elles sont soit nouvelles soit extraites des problèmes rencontrés dans la première phase (ces dernières sont les phrases cibles). D'autre part, les phrases cibles sont soit précédées d'une phrase extraite des problèmes (amorces) soit d'une nouvelle.

La première expérience teste l'hypothèse spécifique suivante : si les participants ont élaboré des schémas dans lesquels des informations spécifiques sont rassemblées, les amorces devraient faciliter la reconnaissance des phrases cibles. Pour la moitié des problèmes, les participants sont informés qu'ils peuvent se servir d'un problème étudié pour résoudre le problème test, pour l'autre moitié, ils ne reçoivent pas d'indications. L'aide apportée est manipulée afin de montrer que si les participants ont mémorisé des éléments d'information c'est parce qu'ils les utilisent pour résoudre les problèmes tests. Les résultats sont présentés dans le Tableau III.

Tableau III : Temps de reconnaissance des phrases cibles en fonction de la présence d'amorce et d'aide, en secondes (Bernardo, 1994, p.384)

	Avec aide	Sans aide
Avec amorce	2.83	3.65
Sans amorce	3.54	3.81

Les résultats montrent un effet de l'amorçage lorsque les participants sont informés d'un lien entre les problèmes tests et les problèmes cibles mais pas d'effet lorsqu'ils ne le sont pas. Selon l'auteur, ces résultats conduisent à deux conclusions. Tout d'abord, les participants construisent des associations à partir des problèmes de même type lorsque le lien entre les problèmes est clairement identifié. Cette conclusion étant cohérente avec l'hypothèse selon laquelle l'élaboration d'un schéma des problèmes est une conséquence du raisonnement analogique. D'autre part, l'association est construite à partir d'indices superficiels, les traits de surface des problèmes. Cette conclusion appuie l'hypothèse selon laquelle les schémas de problèmes contiennent des éléments plus spécifiques.

Une seconde expérience, étudie l'hypothèse spécifique suivante : les participants retiennent des éléments spécifiques car ceux-ci facilitent l'accès aux informations de structure plus abstraites. Afin de tester cette hypothèse, des phrases non pertinentes pour les problèmes sont ajoutées aux textes des problèmes. L'auteur pose comme hypothèse opérationnelle que l'information portée par ces phrases hors de propos ne sera pas mémorisée et donc qu'aucun effet d'amorçage ne sera observé pour ce type de phrases. Les résultats confirment cette hypothèse. L'auteur observe un effet d'amorçage pour les phrases pertinentes pour les problèmes mais pas d'effet pour les phrases hors de propos. Ces résultats supportent l'hypothèse selon laquelle les participants incluent des éléments spécifiques lors de l'élaboration de schémas de problèmes car ceux-ci facilitent l'accès aux informations structurelles. Les résultats de la troisième expérience appuient également cette hypothèse.

L'expérience 4 étudie l'hypothèse selon laquelle les participants utilisent les informations de surfaces pour accéder aux informations de structure contenues dans le schéma du problème. Pour cela, les participants sont confrontés, dans la phase d'amorce, à des problèmes entiers, de même type que les problèmes déjà rencontrés, avant de leur soumettre les phrases tests. L'hypothèse opérationnelle de l'auteur est la suivante : si les participants utilisent des indices superficiels pour accéder aux schémas alors la lecture du problème devrait activer le schéma du type de problème et la reconnaissance de la phrase cible sera facilitée. Les résultats de l'auteur appuient cette hypothèse. L'auteur observe un temps de reconnaissance plus court lorsque le problème d'amorçage présenté est en lien avec le type de problème dont est extraite la phrase cible. L'auteur en conclue que les participants incluent des éléments spécifiques aux schémas de problèmes car ils facilitent l'accès aux informations de structure.

En conclusion, ces recherches apportent deux éléments importants. Tout d'abord, les schémas semblent s'élaborer en conséquence du raisonnement analogique puisque tous les effets d'amorçage sont observés lorsque les participants sont informés du lien entre les problèmes tests et les problèmes cibles. D'autre part, les schémas contiendraient des éléments spécifiques facilitant l'accès aux informations plus abstraites. En effet, les résultats des expériences montrent que les participants ne retiennent les informations que si elles sont en lien avec les informations de structures du type de problèmes. Ces informations de surface faciliteraient l'accès aux informations plus abstraites contenues dans le schéma du type de problèmes.

Nous pouvons conclure de ces recherches que les caractéristiques des problèmes sources et des problèmes cibles sont prises en compte lors de l'élaboration du schéma de problème. Celui-ci serait élaboré au cours du raisonnement analogique lorsque les participants sont en mesure de faire le lien entre les problèmes du même type. Il n'y aurait pas d'élaboration lorsque les participants ne sont pas informés d'un lien entre les

problèmes sources et tests (pas d'effet d'amorçage observé). D'autre part, les traits de surface des problèmes indiceraient les informations de structures et joueraient un rôle lors de la confrontation à de nouveaux problèmes. Ils faciliteraient la reconnaissance du type de problème.

Enfin, l'élaboration d'un schéma serait dépendante de la confrontation entre au moins deux problèmes de même type. Le rapprochement entre deux problèmes de même type semblant nécessaire à l'élaboration d'un schéma comme le sous-entendaient les travaux de Gick et Holyoak (1980, 1983). Cette hypothèse est reprise par Kurtz et Loewenstein (2007). Le paragraphe suivant présente leur recherche.

La recherche de Kurtz et Loewenstein (2007)

Kurtz et Loewenstein (2007) poursuivent les travaux de Gick et Holyoak (1983) en s'interrogeant sur l'hypothèse de la nécessité de la confrontation entre au moins deux problèmes pour l'élaboration d'un schéma de résolution. Ils observent à travers trois expériences que la comparaison de problèmes sources ou cibles favorise l'émergence d'une solution commune. Selon eux, c'est l'encodage des problèmes au sein d'un schéma commun qui favorise la récupération de la solution analogique.

Ils utilisent dans leur étude le problème de la tumeur (Duncker, 1945), le problème de la forteresse (Gick & Holyoak, 1983) ainsi que le problème Red Adair¹⁴. Dans une première expérience, ils comparent trois conditions expérimentales. Dans la condition contrôle, ils présentent aux participants une histoire (celle de la forteresse) puis le problème test (celui de la tumeur). Dans la condition 'comparaison des sources', ils utilisent deux histoires sources (celle de la forteresse et celle de Red Adair) puis le problème test. Dans la condition 'comparaisons des cibles', les participants lisent une histoire (celle de la forteresse) puis sont confrontés à deux problèmes (celui de Red Adair et de la tumeur) avec pour consigne de les comparer et de les résoudre. Les résultats montrent que ce sont les participants de la condition 'comparaisons des cibles' qui génèrent davantage la solution de convergence. Les participants de la condition contrôle sont ceux qui génèrent le moins la solution de convergence (ce qui va dans le sens des résultats de Gick & Holyoak, 1983). Les données sont présentées dans le tableau IV.

¹⁴ En Arabie Saoudite, un puits de pétrole avait éclaté et avait pris feu. Le résultat était un feu infernal qui consommait une énorme quantité de pétrole chaque jour. Après que tous les efforts pour l'éteindre aient échoué, le pompier célèbre Adair Rouge fut appelé. Rouge savait que le feu pourrait être arrêté si une quantité suffisamment importante de mousse étouffant le feu pouvait être déposée sur la base du puits. Il y avait assez de mousse disponible sur le site pour réaliser ce projet. Cependant, il n'y avait aucun tuyau assez grand pour lancer sur le feu toute la mousse assez vite. Les petits tuyaux qui étaient disponibles ne pouvaient pas lancer la mousse assez rapidement pour éteindre le feu. Il a semblé qu'il devrait y avoir un retard coûteux avant qu'une tentative sérieuse ne puisse être faite.

Cependant, Adair Rouge savait quoi faire. Il plaça des hommes en cercle tout autour du feu, avec tous les petits tuyaux disponibles. Quand chacun fut prêt, tous les tuyaux furent ouverts et la mousse dirigée sur le feu de toutes les directions. De cette façon une grande quantité de mousse frappa rapidement la base du feu. La flamme fut éteinte et les Saoudiens furent satisfaits que Rouge ait mérité ses honoraires de trois millions de dollars. (Kurtz & Loewenstein, 2007, p.341)

Tableau IV : Proportion de solution convergente pour les trois expériences en fonction des conditions expérimentales (Kurtz & Loewenstein, 2007, p. 336)

Conditions	Expérience 1	Expérience 2	Expérience 3
Contrôle	.15**		
Comparaisons des sources	.41		
Comparaisons des cibles	.54	.38	.51
Problèmes tests uniquement		.27	.34*
Comparaisons des cibles sans allusions		.15**	

Note : *p < .05 ; ** p< .01

Les auteurs en déduisent que comparer les problèmes permet de produire davantage de récupération de la solution de convergence. Afin de vérifier cette hypothèse, ils présentent une deuxième étude. Elle a pour objectif de tester une variation de la condition ‘comparaison des cibles’ où les participants ne seront pas guidés vers l’idée d’une solution commune aux deux problèmes. D’autre part, cette seconde expérience teste l’hypothèse que la découverte de la solution lors de la comparaison des deux problèmes cibles vient bien de la récupération de cette solution auprès de l’histoire rencontrée préalablement. La première condition ‘comparaison des cibles’ est identique à celle de l’expérience 1. La seconde ‘comparaisons des cibles sans allusions’ en est tout proche hormis les allusions à la solution commune qui sont ôtées. Dans la dernière condition ‘problèmes tests uniquement’, les participants sont uniquement confrontés aux deux problèmes tests (celui de la tumeur et celui de Red Adair) avec pour consigne de les comparer et de les résoudre. Les résultats sont également présentés dans le Tableau IV. Ils montrent, d’une part, que sans aide les participants ont des difficultés à découvrir la solution commune de convergence. D’autre part, que la production de la solution de convergence ne semble pas émettre de la résolution de deux problèmes cibles isomorphes mais bien de la comparaison de ces deux problèmes au vu de la plus grande production de solutions de convergence dans la condition ‘comparaison des cibles’.

Une troisième expérience est menée afin de comparer uniquement les conditions ‘comparaison des cibles’ et ‘problèmes tests uniquement’. Les deux conditions sont identiques excepté la présence ou l’absence de l’histoire source de convergence. Les résultats montrent que davantage de participants produisent la solution de convergence lorsqu’ils ont lu l’histoire de la forteresse avant de résoudre les problèmes tests. D’autre part, les participants qui produisent la solution de convergence indiquent, dans un questionnaire qui suit la résolution des problèmes, qu’ils utilisent davantage une stratégie de comparaison des problèmes ou une stratégie analogique d’utilisation de l’histoire lue précédemment ; alors que les participants qui n’ont pas produit la solution de convergence rapportent plutôt une stratégie indépendante d’étude de chaque problème un par un.

Les auteurs concluent de ces expériences que la comparaison de problèmes cibles favorise la récupération d’informations (tel que la solution d’une histoire similaire) et donc le transfert analogique. Selon eux, une représentation de la situation problème serait élaborée lors de la comparaison des problèmes et dans la récupération de la solution. C’est un schéma des problèmes qui serait élaboré et non un schéma de la

solution. C'est pourquoi, la présentation d'un seul problème source ou d'un seul problème cible ne suffit pas à provoquer le transfert de la solution. Enfin, le schéma qui serait élaboré serait une représentation unique des différents problèmes reconnus comme appartenant au même type. Elle serait dépendante de la représentation qu'a le participant de chaque problème.

Conclusions et perspectives

Dans cette section, nous avons détaillé plusieurs recherches. De celles-ci nous pouvons relever plusieurs résultats. Tout d'abord, Gick et Holyoak (1980, 1983, 1987) observent que le transfert spontané n'est pas aisé. Les participants ont besoin d'une seconde histoire source ou bien d'aide pour élaborer le schéma de résolution permettant de résoudre le problème test. D'autre part, Holyoak et Koh (1987) soulignent l'importance des caractéristiques des problèmes. La proximité entre les problèmes favorise le transfert de la solution ainsi que l'élaboration des schémas. Les travaux de Bernardo (1994) soutiennent cette hypothèse. Il observe que les caractéristiques spécifiques des problèmes sont prises en compte lors de l'élaboration du schéma de problèmes. Celui-ci étant une conséquence du raisonnement analogique. Pour Bernardo (1994), les schémas s'élaborent dans la confrontation entre deux problèmes. Ils incorporent des traits généraux et des traits spécifiques. Kurtz et Loewenstein (2007) soutiennent quant à eux l'hypothèse selon laquelle c'est un schéma des problèmes qui est élaboré et non un schéma de la solution, comme le sous-entendaient Gick et Holyoak (1983). Ce schéma serait élaboré lors de la confrontation entre les problèmes comme le suggère Bernardo (1994). Cette hypothèse est renforcée par les travaux de Gick et Patterson (1992) qui montrent que l'utilisation d'un troisième problème contrastant¹⁵ facilite l'élaboration du schéma de résolution. Selon Kotovsky et Fallside (1989), il dépendrait de la représentation interne que les participants ont des problèmes. Celle-ci étant influencée par les caractéristiques de la tâche (allusion sur le lien entre les problèmes donnée aux participants ou non), des problèmes (proches sémantiquement ou non) et du participant (expérience, stratégie utilisée).

D'autres recherches poussent plus loin cette hypothèse et s'interrogent sur l'impact de l'organisation de la tâche sur l'élaboration des schémas. Pierce, Duncan, Gholson, Ray & Kamhi (1993), notamment, observent dans leur recherche que laisser des enfants explorer librement l'espace de problème du problème (version adaptée du problème des Missionnaires et des Cannibales) favorise l'élaboration d'un schéma général du problème et augmente la réussite au problème de transfert (version adaptée du problème des Maris Jaloux). L'importance de l'ordre de présentation est également soulignée par Roughead et Scandura (1968). Dans leur étude, ils montrent que les participants ne peuvent découvrir les règles que si la solution ne leur est pas présentée initialement. Les deux groupes expérimentaux qui reçoivent la solution des problèmes mathématiques présentés dans la première phase obtiennent de moins bons résultats aux problèmes de transfert que les autres groupes qui doivent la découvrir.

L'impact de la tâche sur la nature des connaissances élaborées est une question centrale également dans les travaux de Sweller (1988). Sa démarche est basée sur l'hypothèse

¹⁵ Problème différent des deux autres problèmes sources par le fait qu'il ne peut être résolu par le même schéma de résolution (le schéma de convergence dans l'étude citée).

selon laquelle lors de la résolution d'un problème, nous pouvons, si toutes les ressources en mémoire de travail n'ont pas été mobilisées par la recherche de la solution, élaborer une ou plusieurs règles de résolution, c'est à dire construire un schéma d'action englobant la nature du problème, sa structure ainsi que les opérateurs à utiliser afin de le résoudre. Par la suite, ces schémas peuvent être réutilisés pour résoudre des problèmes similaires (Ward & Sweller, 1990). Dans cette perspective l'élaboration des schémas est intimement liée à la résolution de problèmes, puisque, selon Sweller (2003), l'apprentissage en résolution de problèmes consiste en l'élaboration des structures de résolution que sont les schémas. Cependant, élaborer des schémas de résolution en situation de résolution de problèmes demande un effort cognitif (Kalyuga, Chandler, Tuovinen & Sweller, 2001). Cet effort ne peut être fourni que si des ressources sont disponibles en mémoire de travail, c'est à dire, si la résolution du problème ne monopolise pas toutes les ressources disponibles. Ici, l'emploi d'un processus de résolution peut grandement influencer l'apprentissage. En effet, l'utilisation de telle ou telle stratégie mobilisera peu ou beaucoup de ressources cognitives ; et permettra ou non l'élaboration de schémas de résolution.

A partir de cette hypothèse, Sweller (1988) élabore la théorie de la charge cognitive. Celle-ci explore l'impact de la charge cognitive liée à la tâche sur sa réussite et sur le niveau d'apprentissage qui devrait découler de la réalisation de cette tâche. La section suivante la définit.

2.2. L'approche de Sweller

2.2.1. La théorie de la charge cognitive

Introduction

La notion de charge cognitive s'est développée à partir des années 1960 (*cf.* Leplat, 2002, pour une revue). Les travaux menés autour de l'attention testaient alors l'hypothèse d'un canal unique de traitement. Cette hypothèse a conduit à développer des théories relatives à la limitation des capacités de traitement et par conséquent à celles liées à la notion de charge cognitive (*cf.* Chanquoy, Tricot & Sweller, 2007, pour un historique complet). Dans les années 1980, parallèlement aux travaux portant sur l'attention et la mémoire de travail, la théorie de la charge cognitive émerge (Sweller, 1988). A partir des années 1990, le nombre de publications autour de cette notion augmente considérablement.

Le terme de charge cognitive renvoie selon Barrouillet (1996, p. 321) au niveau d'«*effort mental (la quantité de ressources) requis par la planification et la mise en œuvre d'une procédure de résolution donnée chez un sujet dont les niveaux de développement et d'expertise dans le domaine concerné sont fixés*» et pour Tricot et Chanquoy (1996, p. 313) à «*la quantité de ressources mobilisées par un sujet lors de la réalisation d'une tâche.* ». Selon ces définitions, la charge cognitive dépend de la tâche

mais aussi de la stratégie utilisée par l'individu pour la réalisation de celle-ci et également de son expertise. D'autre part, cette notion de charge cognitive s'appuie sur l'hypothèse de la limitation de la mémoire de travail (Baddeley & Hitch, 1974, 1994). Selon celle-ci, la réalisation d'une tâche peut nécessiter plus de ressources cognitives que la mémoire de travail n'en dispose : cela provoque alors une surcharge cognitive (et par là des erreurs).

Au cours de la réalisation d'une tâche, les différents processus mis en jeu nécessitent chacun une certaine quantité de ressources cognitives. Les différentes charges mentales exigées devront être équilibrées afin d'éviter une surcharge cognitive. Comment est réalisé cet équilibre ? Comment favoriser un processus (l'apprentissage, par exemple) lors de la réalisation d'une tâche (de résolution de problème, par exemple) ?

C'est à partir de ces questions et des travaux sur l'attention, l'apprentissage et la mémoire, que Sweller définit la théorie de la charge cognitive en reprenant le concept de charge cognitive que nous venons d'explicitier. Il travaille à comprendre les différences de performance dans les tâches d'apprentissage. La théorie de la charge cognitive s'appuie largement sur une organisation mémorielle en schémas (explicités plus haut) reposant sur une architecture cognitive classique (postulant deux types de mémoire, la mémoire de travail et la mémoire à long terme).

La théorie de la charge cognitive

La théorie de la charge cognitive, telle qu'elle est proposée actuellement (notamment : Tricot, 1998 ; Sweller, 2003, 2004 ; van Merriënboer & Sweller, 2005 ; pour une revue), est une « *théorie intégrée qui utilise l'évolution de la cognition humaine comme base à partir de laquelle il est possible de générer des applications et des implications éducatives. L'évolution par la sélection naturelle est considérée ici comme un cadre théorique fondamental pour déterminer les fonctions et les structures cognitives, ainsi que les raisons de leur existence.* » (Chanquoy & al., 2007, p. 134). Sweller (2004, 2006) met ainsi en parallèle la gestion de l'information au niveau biologique et au niveau cognitif. Il s'appuie sur plusieurs principes de gestion de l'information et montre qu'ils s'appliquent tout aussi bien au niveau biologique que cognitif. Il parle de processus naturels.

D'autre part, « *la théorie de la charge cognitive a, avant tout, une visée pratique : son but est de permettre l'amélioration des connaissances et leur transfert à de nouvelles situations, lors de l'apprentissage, via la construction de schémas de connaissances en mémoire* » (Chanquoy & al., 2007, p. 135). La théorie de la charge cognitive prend appui sur une architecture cognitive classique ; postulant deux types de mémoire, la mémoire de travail et la mémoire à long terme (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). La mémoire à long terme est présentée comme regroupant les connaissances antérieures. Celles-ci étant organisées en schémas plus ou moins automatisés. Comme le souligne Sweller (2003), le savoir est stocké en mémoire à long terme sous une forme schématique. La mémoire de travail, quant à elle, traite les informations, en interaction avec l'environnement et la mémoire à long terme. Elle a une capacité limitée tant en terme de quantité d'informations, qu'en terme de durée de maintien de l'information. En résumé, la théorie de la charge cognitive s'appuie sur une mémoire de travail limitée et une mémoire à long terme illimitée, qui prend en charge une large gamme de schémas qui varient suivant leurs niveaux d'automatisme.

Les schémas permettent aux individus de dépasser la capacité limitée de la mémoire de travail puisqu'ils permettent de traiter plusieurs éléments comme une seule unité en mémoire de travail. L'expertise dans un domaine est évaluée en fonction du nombre et de la qualité des schémas stockés.

Ainsi, la théorie de la charge cognitive, telle qu'elle est définie par Sweller (1988, 2003, 2006), est une théorie globale qui pose la cognition humaine telle un système de traitement de l'information. Celle-ci est soumise aux contraintes de la mémoire de travail, dépendante des connaissances stockées en mémoire à long terme, et basée sur une élaboration schématique des connaissances. Elle est construite suite à l'insatisfaction de Sweller vis à vis de la stratégie classique moyens-fins en résolution de problème comme procédure d'apprentissage. C'est en fait, pour lui, une situation coûteuse qui ne favorise pas l'élaboration des schémas et par là même l'apprentissage. En effet, selon cette théorie, l'élaboration et l'automatisation des schémas constituent la première fonction de l'apprentissage (Kalyuga & al., 2001). Ce processus peut être inhibé si l'apprenant doit consacrer les ressources limitées de la mémoire de travail à une activité qui n'est pas directement liée à l'élaboration et à l'automatisation des schémas.

En conclusion, la théorie de la charge cognitive pose l'hypothèse : (1) d'une mémoire limitée qui ne peut manipuler que peu d'éléments dans un temps donné ; (2) d'une mémoire à long terme illimitée où sont stockées les connaissances qui peuvent être utilisées pour palier les limitations de la mémoire de travail ; (3) des schémas qui sont stockés en mémoire à long terme et qui sont utilisés pour structurer les connaissances en organisant les éléments d'information de schémas de bas niveaux à des schémas de niveaux plus généraux qui requièrent moins de ressources en mémoire de travail ; et (4) de l'automatisation qui permet aux schémas d'être activés automatiquement en mémoire de travail ce qui réduit la charge cognitive (Pollock, Chandler & Sweller, 2002).

Les différents types de charges cognitives

Sweller et al. (1998) considère trois catégories de charge cognitive : intrinsèque (*intrinsic*), inutile (*extraneous*) et pertinente (*germane*).

La charge cognitive intrinsèque est déterminée par la quantité d'information à traiter par l'apprenant c'est-à-dire par le nombre d'éléments qui interagissent en mémoire de travail. Elle est par conséquent dépendante du niveau d'interactivité¹⁶ entre les éléments à traiter. Lorsque l'interactivité entre les éléments est faible (apprentissage par cœur d'une liste d'items, par exemple), la charge cognitive intrinsèque est également faible. A l'inverse, lorsque l'interactivité entre les éléments est forte (apprentissage d'une langue étrangère, par exemple), la charge cognitive intrinsèque est également forte. Le traitement simultané d'éléments en forte interactivité impose une forte charge cognitive en mémoire de travail. Une fois que l'apprentissage de ces éléments a permis l'élaboration d'un schéma, celui-ci (et donc les éléments qui le composent) ne devient plus qu'un élément unique à traiter. Le niveau d'expertise des apprenants influence ici la charge cognitive intrinsèque puisqu'il conditionne le nombre d'éléments à traiter (un seul s'il y a eu acquisition d'un schéma au préalable, plusieurs si les éléments doivent

¹⁶ Le niveau d'interactivité correspond à la quantité de lien existant entre plusieurs éléments.

être intégrés avec un haut degré d'interactivité). D'autre part, même si l'interactivité est faible, un grand nombre d'éléments à traiter rendra l'apprentissage plus difficile.

La charge cognitive inutile correspond, quant à elle, à une utilisation de ressources cognitives pour des opérations qui ne sont pas pertinentes pour la tâche (mauvaises consignes, mauvaise présentation de la tâche, par exemple, ...). Comme le soulignent Leahy et Sweller (2005), la charge cognitive inutile (ou extrinsèque) est produite par l'énoncé du problème. Elle n'est pas nécessaire et peut être réduite par la manipulation de celui-ci. Diminuer cette charge cognitive inutile apparaît pertinent afin de laisser des ressources cognitives pour les autres charges cognitives (notamment en organisant la présentation de la tâche avec pertinence). En effet, la charge inutile n'est pas nécessaire pour l'apprentissage. Elle découle d'une mauvaise présentation de la tâche, comme le soulignent également van Merriënboer et al (2006).

La charge cognitive pertinente, enfin, apparaît lorsque des ressources cognitives sont libérées en mémoire de travail et consacrées à l'élaboration, à l'enrichissement ou à l'automatisation de schémas. Selon Leahy et Sweller (2005), la charge cognitive pertinente facilite l'élaboration et l'automatisation des schémas. Elle est bénéfique à la réalisation de la tâche. Elle est utile à l'apprentissage et permet la construction de l'expertise. Comme le soulignent van Merriënboer et al. (2006), la charge cognitive pertinente est la charge qui contribue directement à l'apprentissage.

Nous abordons la mesure de la charge cognitive dans le paragraphe suivant.

La mesure de la charge cognitive

Un grand nombre de techniques sont utilisées pour mesurer la charge cognitive (Borg, Bratfisch & Dornic, 1971 ; O'Donnell & Eggemeier, 1986 ; Sweller & al, 1998 ; Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003). Ces techniques se déclinent en quatre catégories : les mesures subjectives, le paradigme de la double tâche, les mesures physiologiques et la formalisation proposée par Chanquoy et al. (2007).

Les mesures subjectives regroupent les différentes échelles de mesures, nous les présentons en premier, ainsi qu'une application possible de ce type de mesure : l'indice d'efficacité des instructions (développé par Paas & van Merriënboer, 1993 & 1994). Ensuite, nous détaillons le paradigme de la double tâche où les performances à la seconde tâche mesurent la charge cognitive. Nous abordons également les mesures physiologiques, avant de clore sur la formalisation proposée par Chanquoy et al. (2007).

Les mesures subjectives :

Une des premières techniques possibles pour mesurer la charge cognitive d'une tâche consiste en l'utilisation d'une mesure subjective. Celle-ci se présente sous la forme d'une échelle en plusieurs points ponctuée d'expressions verbales tels que « très, très faible effort mental » à « très, très fort effort mental ». Il existe différentes sortes d'échelles, notamment la SWAT (Luximon & Goonetilleke, 2001), la NAS-TLX, et la RPE scale (Borg, 1978 ; Bratfisch, Borg & Dornic, 1972).

Cette technique est basée sur l'hypothèse que les participants sont capables d'évaluer subjectivement leur effort mental et de lui assigner une valeur c'est-à-dire que les individus sont capables d'introspecter leurs processus cognitifs et de reporter la hauteur de l'effort mental qu'ils ont fourni pour réaliser la tâche. Ce type de mesure est non intrusif, facile à analyser et présente une bonne fiabilité (O'Donnel & Eggemeier, 1986). Elle est utilisée dans de nombreuses recherches (Logie, Baddeley, Mané, Donchin et Sheptak, 1989 ; Paas & van Merriënboer, 1993 ; Colle & Reid, 1998 ; Tuovinen & Sweller, 1999 ; Kalyuga, Chandler, Tuovinen & Sweller, 2001 ; Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003 ; Kalyuga & Sweller, 2005 ; van Gerven, Paas, van Merriënboer & Schmidt, 2006 et Um, Song & Plass, 2007). Paas (1992), notamment, l'utilise pour évaluer la charge cognitive de trois types de problèmes (conventionnel, problèmes à compléter ou exemples), en demandant à ses participants de reporter sur une échelle de neuf échelons le niveau d'effort mental qu'ils estiment avoir investi dans la tâche.

La mesure de la charge cognitive à partir d'une échelle peut être combinée avec une mesure objective de la performance des participants (tels que les temps de réponse) pour obtenir un indice d'efficacité des instructions (« *the instructional efficiency* »). Cet indice permet de mesurer l'efficacité des instructions (c'est-à-dire de l'organisation de la tâche et/ou de l'énoncé du/des problème/s). Il est basé sur la conversion du niveau d'effort mental, mesuré par les participants sur une échelle, et du niveau de performance en données applicables sur les axes d'un graphique. Largement détaillé par Paas et van Merriënboer (1993 & 1994), cet indice est défini par la relation entre l'effort mental lié à la tâche et la performance observée. Il se calcule par la formule suivante :

$$E = \frac{|M - P|}{\sqrt{2}} .$$

Où 'E' représente l'indice d'efficacité ; le 'M' le niveau de charge mentale perçue ; le 'P' la mesure de la performance. Les auteurs présentent ensuite cet indice sur un graphique reprenant en tant qu'axes la performance et le niveau d'effort mental. Ce graphique permet de visualiser l'efficacité de la condition expérimentale.

Dans leur étude, Paas et van Merriënboer (1994), testent deux modes d'instruction (problèmes résolus *vs* problèmes à résoudre), ainsi que la variabilité (niveau de différences entre les problèmes) des problèmes rencontrés (haute variabilité *vs* faible variabilité).

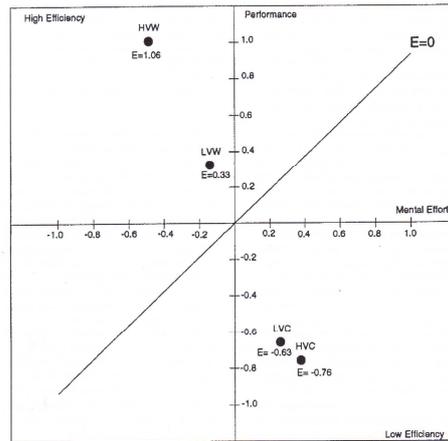


Figure 5. Relative condition efficiency as a function of practice type and practice variability
 LVC = low-variability conventional condition; HVC = high-variability conventional condition
 LWV = low-variability worked condition; HWV = high-variability worked condition

Figure 11 : Graphique représentant l'indice d'efficacité (Paas & van Merriënboer, 1994)

Nous pouvons observer (Figure 11) que c'est la condition 'haute variabilité - problèmes résolus' qui présente le meilleur indice d'efficacité. Ce mode d'instruction semble le plus efficace c'est à dire présentant les meilleures performances pour un effort cognitif relativement faible.

Cet indice est également utilisé par Marcus, Cooper et Sweller (1996), Yeung, Jin et Sweller (1997), Tuovinen et Sweller (1999), Camp, Paas, Rikers et van Merriënboer (2001), Pollock et al (2002), Kalyuga et Sweller (2005) et Hasler, Kersten et Sweller (2007). Paas, Tuovinen, van Merriënboer et Darabi (2005) enrichissent cet indice par la prise en compte de la motivation de l'apprenant. Ils notent que la motivation de l'apprenant, son investissement joue un rôle dans l'efficacité d'un type d'instruction. Cette perspective est basée sur l'hypothèse selon laquelle l'effort mental, la performance et la motivation seraient positivement reliés.

Le paradigme de la tâche ajoutée (ou double tâche) :

Une deuxième façon de mesurer la charge cognitive consiste à ajouter une seconde tâche à la tâche principale afin de mesurer la charge cognitive de la tâche principale. La seconde tâche entrant en concurrence avec la tâche principale plus celle-ci demandera de ressources cognitives et plus les performances à la seconde tâche seront faibles. La performance à la seconde tâche (temps de réponse ou nombre d'erreurs, le plus souvent) mesure donc le niveau de ressources cognitives exigé par la tâche principale. Généralement, la seconde tâche est une tâche simple telle la détection d'un signal sonore ou visuel. Kellogg (1987, cité dans Piolat, Roussey, Olive & Farioli, 1996) mesure ainsi l'effort cognitif lors d'une tâche rédactionnelle. Les participants doivent tout en rédigeant une composition de texte, réagir le plus vite possible à un bip sonore. Le temps de réaction mesure alors le coût cognitif associé à la rédaction de texte. Cependant, il existe un risque de contamination de la tâche principale par la tâche ajoutée. Dans le sens où la tâche ajoutée peut mobiliser des ressources cognitives qui font alors défaut à la tâche principale.

Ce paradigme est utilisé dans de nombreux travaux (Logie & al, 1989 ; Chandler & Sweller, 1996 ; van Gerven & al., 2006). Brünken, Steinbacher, Plass et Leutner (2002), par exemple, utilisent le paradigme de la double tâche dans l'étude d'un apprentissage multimédia car, comme ils le soulignent (p. 110), ce paradigme permet de mesurer directement, au cours de la tâche, la charge cognitive. La seconde tâche utilisée est ici la détection visuelle du changement de couleur d'une lettre.

Les mesures physiologiques :

Les mesures physiologiques sont basées sur l'hypothèse que les variations au niveau cognitif se reflètent au niveau physiologique. Ces techniques regroupent : les mesures du rythme cardiaque et les mesures neurologiques. Malgré leur apparente scientificité, ces mesures sont intrusives et peu valides dans l'étude de la charge cognitive (variations non- significatives) comme l'ont montré, notamment, Paas et van Merriënboer (1994). Ils utilisent une échelle de mesure dans leur étude ainsi qu'un relevé du rythme cardiaque comme mesure de la charge cognitive. Leurs résultats montrent que les techniques physiologiques (battements cardiaques) ne sont sensibles qu'aux différences entre les périodes d'activité et celles d'inactivité. Ils concluent que cette mesure n'est pas sensible aux variations de la charge cognitive observées au cours de la tâche, contrairement à l'échelle de mesure qu'ils considèrent comme une évaluation pertinente de la charge mentale.

Formalisation de la charge cognitive :

Davantage centrés sur les composants de la charge cognitive, Chanquoy et al. (2007) présentent quant à eux une formalisation de la charge cognitive. Pour eux, la charge cognitive $W_{(t, h, m)}$ impliquée dans la réalisation de la tâche t par l'individu h au moment m est égale à :

$$W_{(t, h, m)} = \sum (k_i + q_i) CA_i + \sum E_j - \sum p_t W(A_t).$$

Avec e = le seuil d'effort de l'individu h au moment m ; A_i étant une unité d'information ou un lien entre deux informations contenues dans la tâche t ; t = l'ensemble des unités d'information soit $U \{A_1, A_2, A_3, \dots A_n\}$; k_i = le poids lié à la proximité de A_i à tous les autres A ; CA_i = le coût relatif à h de A_i : $CA_i = A_i - a_i$ où a_i = le degré de connaissance de h à propos de A_i ; E_i = l'intensité de l'interférence générée par un élément extérieur à t ; q_i = le coefficient multiplicatif lié à l'effet de E_i ; $\sum k_i CA_i$ = représente la charge intrinsèque ; $\sum E_j$ = représente la charge extrinsèque ; $\sum p_t W(A_t)$ = représente la charge éliminée par la stratégie utilisée ; $W(A_t) = (k_1 + q_1) CA_1$; $p_1 = 1$ si A_1 est éliminé(e) par la stratégie utilisée et sinon $p_1 = 0$.

Bilan

La théorie de la charge cognitive repose donc sur plusieurs postulats. Tout d'abord, la mémoire de travail dispose d'une capacité de traitement et de stockage limitée alors que

la mémoire à long terme dispose d'une capacité illimitée. La mémoire de travail gère le traitement des informations, ainsi que l'apprentissage des nouvelles connaissances et des nouvelles compétences. La mémoire à long terme stocke les informations, les connaissances sous forme structurée. Ces structures de connaissances sont définies en tant que schémas. Ceux-ci organisent l'information et facilitent son traitement. D'autre part, l'apprentissage est sous-tendu par l'élaboration des schémas ; c'est à dire par le développement d'une structuration des connaissances en mémoire à long terme. Enfin, la quantité de ressources cognitives nécessaire à la réalisation d'une tâche, c'est à dire la charge cognitive d'une tâche pour un individu, joue, dans cette théorie, un rôle central dans l'explication des différences de performance. Cette charge peut se définir en trois types : pertinente, inutile et intrinsèque. Favoriser la charge cognitive pertinente en réduisant les charges cognitives intrinsèque et inutile est un objectif à suivre pour favoriser la réalisation de la tâche ainsi que l'élaboration de schémas de connaissances.

De cette théorie, découlent de nombreuses applications, celles-ci se situant essentiellement dans le domaine de l'enseignement et de façon plus générale, au niveau de situations d'apprentissage. Globalement, Sweller et ses collaborateurs cherchent à mettre en avant le risque de surcharge cognitive lié au mode de présentation des problèmes. A travers de nombreux travaux, ils étudient l'impact du mode de présentation d'un problème sur sa résolution et plus largement sur l'apprentissage qui doit en découler. Ils constatent notamment qu'un mode de présentation exigeant trop de ressources cognitives nuit à la réussite de la tâche et à l'élaboration des schémas (Sweller, 2004).

Plus spécifiquement, en situation de résolution de problèmes, un apprenant doit diviser ses ressources cognitives entre deux processus concurrents : la recherche de la solution permettant la résolution du problème en lui-même et conditionnant la réussite ; et l'élaboration de connaissances en schémas conditionnant l'apprentissage (Pass & van Merriënboer, 1994). Ces deux processus exigent un certain niveau de ressources et peuvent entrer en conflit si la capacité de la mémoire de travail est insuffisante pour répondre à cette demande. Il y a alors surcharge cognitive. Cela peut pénaliser la réussite et/ou l'apprentissage. Diminuer la charge cognitive liée à la recherche de la solution permet, selon ces travaux, de laisser davantage de ressources cognitives disponibles pour l'apprentissage. Cette diminution pourrait être obtenue de différentes manières, notamment en jouant sur le mode de présentation du problème (Sweller, 1988), comme nous allons le voir dans la section suivante.

2.2.2. Les effets de présentations

Introduction

Sweller (2003; Sweller & Chandler, 1991; Sweller & al, 1998; notamment) a largement mis en avant l'effet de la présentation d'un problème sur sa résolution et sur l'apprentissage qui devrait en découler.

Le premier est 'l'effet de non spécification du but' (*Goal free effect*). D'après les travaux de Sweller (1988), les problèmes dont la spécificité du but est réduite sont mieux réussis que les problèmes conventionnels (cf. 1.2.1.). La non spécification du but élimine la possibilité d'utiliser une stratégie d'analyse moyens-fins pour résoudre le problème. Cette stratégie interférant avec l'apprentissage. En effet, Sweller et ses collaborateurs ont montré que la spécification du but induit une analyse moyens-fins qui gêne l'apprentissage et augmente le temps de résolution ainsi que le nombre d'erreurs (Sweller & Levine, 1982). Le second effet est celui dit de 'l'effet de l'exemple résolu' (*Worked example effect*). Selon cet effet, étudier des problèmes déjà résolus facilite l'apprentissage. Tout comme l'élimination de la spécification du but, l'étude d'exemples résolus élimine également l'utilisation d'une analyse moyens-fins et concentre les ressources cognitives de l'apprenant sur les états du problème et ses mouvements associés ce qui permet l'élaboration de schémas de résolution générale (Sweller & Cooper, 1985; Cooper & Sweller, 1987). La question de l'apprentissage à partir d'exemples est posée par de nombreux travaux (cf. Nogry & Didierjean, 2006, pour une revue). Le troisième effet concerne l'effet dit 'de l'attention partagée' (*Split attention effect*). Selon celui-ci répartir l'attention entre plusieurs sources d'information rend l'apprentissage plus difficile (Sweller, Chandler, Tierney & Cooper, 1990; Chandler & Sweller, 1991). Il est pertinent de réduire la dissociation de l'attention en intégrant physiquement les informations en les présentant à proximité les unes des autres. Le quatrième effet se nomme 'l'effet de redondance' (*Redundancy effect*). Selon les recherches de Sweller et Chandler (1991), présenter de manière différente la même information (redondance) rend également l'apprentissage plus difficile. Traiter des informations en double (la même information présentée sous la forme d'un texte et d'un graphique séparé, par exemple) nécessite de grandes ressources cognitives et gêne l'apprentissage. Le cinquième effet concerne l'effet dit 'de modalité' (*Modality effect*). Selon cet effet (Tabbers, Martens & van Merriënboer, 2000), présenter l'information en utilisant plusieurs voies sensorielles peut faciliter l'apprentissage. Par exemple, en montrant un graphique (canal visuel) et en faisant entendre le texte explicatif (canal auditif). Cependant l'information ne doit pas être redondante. Enfin, l'effet d'imagination (*Imagination effect*), c'est-à-dire, demander aux participants d'imaginer les procédures à suivre pour répondre aux instructions est plus favorable à l'apprentissage, sous certaines conditions, que leurs demander d'étudier les mêmes procédures.

Cependant, selon Sweller (2003), la forme idéale de l'instruction prend en compte l'expertise des apprenants. En effet, même s'ils sont plusieurs fois vérifiés expérimentalement, les effets de présentation sont fonction du niveau d'expertise des apprenants. Par exemple, l'utilisation d'exemples résolus facilite l'acquisition chez des participants novices mais pénalise les performances de participants plus experts. Cet effet est appelé par Sweller (2003), l'effet réversible de l'expertise (*expertise reversal effect*). D'autre part, des interactions entre les effets peuvent être trouvées (Leahy & Sweller, 2004, 2005). Les paragraphes suivant décrivent plus amplement ces effets de présentation.

L'effet de non-spécification du but

Cet effet a été le premier à être étudié par Sweller (Sweller & Levine, 1982). Il découle directement de l'étude de l'utilisation de la stratégie moyens-fins en résolution de

problème et du constat que cette stratégie mobilise beaucoup de ressources cognitives et donc gêne voire même empêche l'apprentissage. Selon Sweller (1988), la stratégie moyens fins impose une haute charge cognitive car l'état initial, l'état final ainsi que les opérateurs possibles doivent être manipulés ensemble en mémoire de travail. Sweller propose alors une alternative qui consiste à proposer des problèmes sans but spécifié (cf. 1.2.1.). Ces problèmes ne peuvent induire l'utilisation d'une stratégie moyens-fins et favorisent l'utilisation d'autres stratégies moins coûteuses en termes de ressources cognitives. La stratégie utilisée consiste alors simplement à considérer l'état actuel du problème et trouver un opérateur qui permettra de modifier cet état. Elle réduit le besoin de ressources puisqu'elle demande de maintenir moins d'informations en mémoire de travail. La stratégie moyens fins requière de maintenir en mémoire davantage d'informations qu'un problème sans but spécifié (état actuel, état final, opérateurs vs état actuel et opérateurs), comme le souligne Sweller (1988). Lors de l'utilisation de ce type de problème, l'attention est redirigée vers l'état actuel du problème et les opérations pertinentes pour cet état. Ce qui facilite l'acquisition des schémas (puisque considérer un état d'un problème et les opérateurs qui s'y rattachent correspond à la structure d'un schéma) et donc l'apprentissage.

Effet de l'exemple résolu

L'utilisation de problème résolu peut être profitable à l'apprentissage. Selon Kalyuga et al. (2001), l'utilisation d'exemples résolus (consistant à présenter des problèmes accompagnés des différentes étapes de la solution) est une meilleure alternative que la résolution de problèmes conventionnels. Sweller (2006) justifie cet effet par le fait qu'utiliser des problèmes résolus réduit la charge cognitive inutile et permet alors de libérer des ressources cognitives pour l'élaboration de schémas et donc pour l'apprentissage. Réduire la charge cognitive inutile permet de libérer des capacités en mémoire de travail et d'augmenter ainsi la charge cognitive pertinente. L'utilisation de problème résolu permet l'élimination de la charge cognitive inutile lié à la résolution du problème et dirige l'attention de l'apprenant sur les états du problème et les opérations qui y sont associées (cf. Cooper & Sweller, 1987; Ward & Sweller, 1990 ; notamment).

Cependant, travailler sur des exemples résolus peut pénaliser l'apprentissage. En effet, si le problème est construit en ne prenant pas en compte les éléments pouvant saturer la mémoire de travail, il n'est pas plus efficace qu'un problème traditionnel (Sweller, 2003). Ce mode de présentation pénalise l'apprentissage si :

- l'exemple présente plusieurs sources d'information à intégrer (effet de l'attention partagée) ;
- plusieurs sources présentent la même information (effet de redondance) ;
- l'expertise des participants leur fait ressentir l'exemple résolu comme redondant (effet de redondance).

L'effet de l'attention partagée

Cet effet (Sweller & al, 1990, Kalyuga, Chandler & Sweller, 2000 ; Mayer & Moreno, 1998) découle de situations de problèmes où l'individu doit intégrer plusieurs sources d'informations différentes. Cette intégration demande beaucoup de ressources cognitives, ce qui peut gêner, voire empêcher, l'apprentissage. Sweller (2003) note à ce

propos que l'intégration mentale mobilise un certain nombre de ressources cognitives puisque l'apprenant doit intégrer des éléments d'information dans une structure cohérente. Il doit maintenir en mémoire de travail, les différents éléments ainsi que la structure dans laquelle il souhaite les intégrer. Cette mobilisation peut pénaliser l'apprentissage dans le sens où elle mobilise trop de ressources cognitives. En géométrie, par exemple, un moyen de réduire l'effet de l'attention partagée est d'intégrer le texte explicatif du diagramme sur le diagramme (Figure 12).

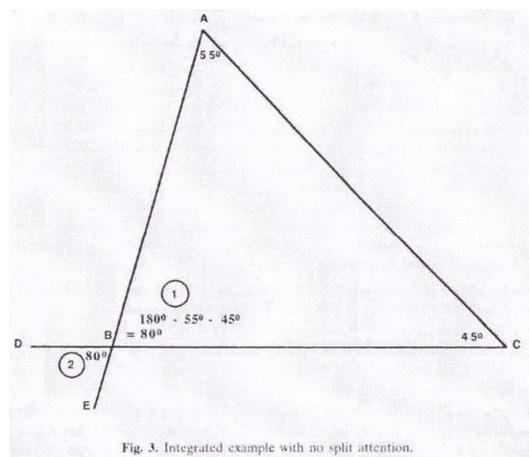
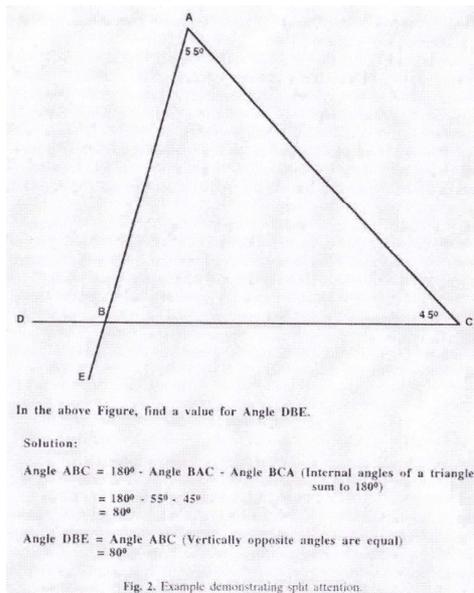


Figure 12: Exemple de l'effet de l'attention partagée (Sweller & al, 1998)

L'effet de redondance

Cet effet découle en partie de l'effet précédent. Le fait d'intégrer physiquement plusieurs sources d'information n'est intéressant que si ces différentes sources sont complémentaires (Kalyuga & al., 1999). Si, par exemple, le texte intégré décrit la figure qui n'a pas besoin du texte pour être comprise, alors l'information est redondante. Cette redondance a un effet négatif sur l'apprentissage puisque des ressources cognitives sont inutilement mobilisées. Comme le souligne Sweller (2003), l'effet de redondance est présent lorsque des informations additionnelles au lieu d'avoir un effet positif ou neutre, pénalisent l'apprentissage. L'effet de redondance intervient si une forme de présentation d'un problème contient la même information compréhensible et adéquate sous différentes formes ce qui impose une charge cognitive inutile. L'effet de redondance se retrouve également lors de l'utilisation de problèmes résolus chez des experts. L'effet de redondance est un phénomène lié à la charge cognitive car l'élimination de l'information redondante limite les ressources cognitives allouées à la compréhension du problème, et permet de concentrer l'attention sur l'information pertinente pour développer des schémas de résolution et éviter la surcharge (Kalyuga & al., 2001).

L'effet de modalité

Selon Baddeley et Hitch (1974), la mémoire de travail peut être divisée en trois processus indépendants : l'administrateur central qui régule les informations et les ressources, la boucle phonologique qui gère les informations auditives et le calepin visuo-spatial qui gère les informations visuelles. Selon Mayer et Moreno (1998), la capacité effective de la mémoire de travail peut être optimisée par l'utilisation simultanée de ces différents canaux porteurs de l'information ; par exemple en utilisant le canal visuel (image) et le canal auditif (texte à l'oral). Sweller et al. (1998) appuient également cette hypothèse. Cependant, l'information portée par le canal visuel et celle portée par le canal auditif doivent être complémentaires, c'est à dire non redondante, afin d'augmenter la capacité de traitement de la mémoire de travail et non d'augmenter la charge cognitive. L'étude complémentaire de l'effet de l'attention partagée et de l'effet de modalité est particulièrement pertinente dans l'utilisation d'hypermédias pour l'apprentissage (Mayer & Moreno, 1998 ; Tabbers, Martens & van Merriënboer, 2000).

L'effet d'imagination

Dans certaines circonstances, inciter les apprenants à imaginer les procédures permettant de résoudre un problème faciliterait davantage l'apprentissage que leur demander d'étudier ce même problème. C'est ce que Leahy et Sweller (2004) nomme l'effet d'imagination. En situation de résolution de problème, un participant peut être amené à utiliser ses propres explications pour imaginer la procédure à suivre pour résoudre le problème. S'engager dans ce type de réflexion interne de mise en relation du problème avec les connaissances, les schémas, stockés en mémoire, semblent favoriser l'apprentissage (Leahy & Sweller, 2004, 2008). Cependant, cet effet est seulement valable si les participants disposent déjà d'une certaine expertise dans le domaine concerné (Cooper, Tindall-Ford, Chandler & Sweller, 2001). Des novices sont incapables d'imaginer une procédure puisqu'ils ne disposent pas de base de connaissances en mémoire. Imaginer la ou les procédure(s) à suivre demande de mettre en correspondance, en mémoire de travail, simultanément, le problème (sa structure, le but à atteindre) et les schémas stockés en mémoire à long terme. Vu la capacité limitée de la mémoire de travail, manipuler un matériel non familier (novices) peut être difficile, voire impossible, sans les schémas appropriés.

L'effet réversible de l'expertise

Cet effet découle de l'interaction entre les différents effets présentés ci-dessus et l'expertise des apprenants. Il apparaît lorsqu'un mode de présentation A favorise les performances par rapport à un mode de présentation B pour des participants novices, alors qu'aucune différence ne sera observée voire que l'effet inverse sera observé (mode de présentation B > au mode de présentation A) pour des participants experts dans une tâche donnée (Kaluga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003 ; Kalyuga & Sweller, 2004 ; van Merriënboer & Sweller, 2005, Reisslein, Atkinson, Seeling & Reisslein, 2006). Sweller (2003) explique cet effet par le fait que l'expertise dirige le participant dans la tâche comme cherche à le faire le mode de présentation utilisé pour le novice. Le mode de présentation dirige le participant expert en redondance avec les schémas stockés en mémoire ce qui nuit à l'enrichissement des schémas et donc à l'apprentissage (*cf.* effet

de redondance). Les schémas développés créent un certain guidage et donc le guidage créé par le mode de présentation de la tâche (utilisation de problèmes résolus par exemple), n'est plus pertinent. Sweller (2003) insiste sur le fait que le mode de présentation idéal dépend du niveau de connaissances des participants.

2.3. Bilan du chapitre 2

Dans la première section, nous avons présenté plusieurs travaux exposant les différentes contraintes liées à l'élaboration des schémas. Ces schémas sont des structures de connaissances abstraites regroupant les caractéristiques du (des) problème(s) ainsi que les opérateurs utilisables pour atteindre la solution. Selon Sweller (2003), le développement de ces schémas pose les bases de l'apprentissage puisqu'ils permettent de gérer au mieux les connaissances et donc de faire face aux nouveaux problèmes rencontrés. A travers sa théorie de la charge cognitive, Sweller (2003) développe un modèle complet de l'apprentissage en résolution de problèmes où la notion de schéma tient une place centrale. Cette théorie insiste sur la prise en compte de l'aspect limité de la mémoire de travail et illimité de la mémoire à long terme. Cette dernière stocke les connaissances sous forme de schémas abstraits permettant ainsi de traiter plusieurs éléments d'information comme un seul élément cohérent, réduisant par le fait la quantité de ressources cognitives à allouer à ce traitement. Elle insiste également sur la prise en compte de la charge cognitive imposée par le mode de présentation utilisé. Nous avons présenté à travers plusieurs effets, l'impact de celui-ci sur la réussite et sur l'apprentissage.

D'autre part, le type de stratégie utilisée pour résoudre un problème influence la charge cognitive liée à ce problème. En effet, la charge liée à la stratégie peut interférer avec l'apprentissage (Chandler & Sweller, 1991). Par exemple, une stratégie moyens-fins requière de maintenir en mémoire de travail l'état initial et l'état final, plus les états intermédiaires (sous-buts) ainsi que les opérateurs permettant de réduire la différence entre les différents états du problème. Ce type de stratégie mobilise énormément de ressources cognitives. La résolution du problème peut alors nécessiter toutes les capacités cognitives disponibles et ainsi empêcher l'apprentissage puisqu'une charge cognitive excessive interfère avec l'apprentissage (Sweller, 1988). Ainsi, la résolution d'un problème et l'acquisition de procédure de résolution (d'opérateurs, de schémas) sont deux processus en compétition au niveau de la charge cognitive et de la limitation de la mémoire de travail. Comme le souligne Sweller (1988), les mécanismes de résolution de problèmes et ceux permettant l'élaboration des schémas peuvent être distincts. Les ressources cognitives peuvent se retrouver mobilisées uniquement pour résoudre le problème et non pour favoriser l'élaboration des schémas alors que l'acquisition des schémas est un processus important du développement de l'expertise en résolution de problèmes. Le développement de l'expertise peut être retardé par une trop grande implication dans la résolution du problème.

Enfin, l'utilisation d'un certain mode de présentation influence la répartition des ressources cognitives entre ces deux processus. Bien que les travaux liés à la théorie de

la charge cognitive nous renseignent sur la résolution de problème unique, leurs hypothèses peuvent être étendues à des tâches de résolution comprenant plusieurs problèmes (de Croock & van Merriënboer, 2007; de Croock, van Merriënboer & Pass, 1998). Une situation d'enseignement se composant rarement de la résolution d'un seul problème, l'apprentissage de compétences complexes est le plus souvent réparti sur plusieurs problèmes. Au delà du mode de présentation, c'est donc le mode d'instruction, c'est à dire le mode d'organisation de la tâche de résolution de problèmes qui nous pose question. L'apprentissage semblant fortement lié au contexte même de la résolution de problème.

Quel est alors l'impact du mode d'organisation des problèmes ? Celui-ci peut-il se mesurer en termes de coût cognitif ?

Les travaux de la théorie de la charge cognitive se sont concentrés sur le mode de présentation des problèmes en eux-mêmes tandis que d'autres auteurs se questionnent autour du mode d'organisation globale d'une tâche. Nous abordons dans le chapitre suivant ces recherches.

Chapitre 3 : Impact de l'organisation de la tâche en résolution de problèmes

Le Chapitre 1 présentait les différentes approches questionnant les processus en jeu dans la résolution de problèmes. Le second précisait la notion de schéma et détaillait la théorie de la charge cognitive (Sweller, 2003).

A partir des travaux présentés dans ces deux chapitres, nous posons trois postulats. Tout d'abord, le processus de résolution engagé par l'individu pour se dégager de la situation problème laisse des traces en mémoire. Deuxièmement, ces connaissances sont structurées sous forme de schémas. Ceux-ci regroupent des indices structurels et des indices superficiels de la situation problème. Enfin, leur élaboration est fonction du contexte de la tâche c'est à dire des caractéristiques de la situation problème.

Dès lors, l'impact de l'organisation de la tâche sur l'élaboration des connaissances nous pose question. Dans ce troisième chapitre, nous présentons différents travaux qui se sont développés autour de cette question. Ceux-ci sont regroupés en trois approches que nous abordons successivement. La première approche regroupe les travaux de l'interférence contextuelle. Ils observent une prévalence de la variabilité sur la consistance. La seconde approche s'interroge plus spécifiquement sur la prise en compte de la charge cognitive dans l'élaboration d'une tâche de résolution de problèmes. Ce sont les travaux de l'« *Instructional design* ». Enfin, des travaux observant la prévalence d'une hiérarchisation des problèmes sont présentés.

3.1. L'effet d'interférences contextuelles

3.1.1. Introduction

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, Sweller et ses collaborateurs ont largement mis en avant l'effet de la présentation d'un problème sur sa résolution et sur l'apprentissage. Nous allons maintenant élargir notre travail à la présentation de l'effet d'interférences contextuelles (« *Contextual interference* »). Cet effet, que nous définissons dans la section suivante, a été isolé par Battig (1972). Il met en valeur la prévalence d'une présentation aléatoire sur une présentation par blocs. Nous le détaillons dans cette section.

3.1.2. Prévalence de la variabilité : l'effet d'interférence contextuelle

L'interférence contextuelle est un phénomène qui regroupe les situations d'apprentissage pour lesquelles l'interférence durant l'entraînement bénéficie à l'apprentissage. Cet effet renvoie à l'hypothèse selon laquelle les performances lors de la phase d'acquisition en situation de forte interférence contextuelle (présentation aléatoire) sont inférieures à celle en situation de faible interférence contextuelle (présentation par bloc). Tandis que, les mesures de rétention (test d'apprentissage après un délai de plusieurs jours) ou de transfert (performance face à de nouveaux problèmes) sont meilleures lorsque les participants ont été soumis à une forte interférence contextuelle (Shea & Zimmy, 1983).

Cet effet a tout d'abord été démontré par Battig¹⁷ (1972) avec du matériel verbal puis par Shea et Morgan (1979) avec des apprentissages moteurs (*cf.* Magill & Hall, 1990 ; Lee, Wulf & Schmidt, 1992 ; Schmidt & Bjork, 1994, pour une revue) et observé par Carlson et Yaure (1990) en résolution de problèmes. Cependant cet effet ne semble pas valable pour tous les apprenants (par rapport à leur niveau d'expertise), ni à toutes les tâches (niveau de complexité, différences entre les tâches) (*cf.* Brady, 1998, pour une revue). Il a été vérifié chez des jeunes adultes ainsi qu'auprès d'adultes plus âgés (van Gerven & al, 2006). Parmi les nombreuses études observant cet effet (Pelligrino, 1972 ; Lee & Magill, 1983 ; Jelsma & Pieters, 1989 ; Carlson & Yaure, 1990 ; Shea, Khol & Indermill, 1990 ; Wulf & Schmidt, 1997, notamment), nous détaillons la recherche princeps de Shea et Morgan (1979).

Shea et Morgan (1979) utilisent un dispositif complexe offrant trois tâches motrices (T₁.T₂.T₃). À l'aide d'une balle, les participants doivent réaliser un enchaînement de lancers différents imposés par le dispositif. Après un pré-test, une phase d'entraînement (18 essais¹⁸), les participants sont testés lors d'une phase de rétention dix minutes et dix jours après la phase d'entraînement (18 essais à chaque fois). Afin de tester l'impact de l'organisation de la tâche sur les performances, les participants sont confrontés soit aux essais par bloc (T₁.T₁.T₁.T₂.T₂.T₂.T₃.T₃.T₃) soit en aléatoire (T₁.T₂.T₃.T₂.T₃.T₁.T₃.T₁.T₂)

¹⁷ Il l'avait initialement appelé '*intratask interference*'.

¹⁸ Six essais pour chaque tâche.

lors de la phase d'apprentissage et lors de la phase de rétention. Les résultats montrent que les participants du groupe 'bloc' réalisent plus rapidement les tâches que le groupe 'aléatoire' lors de l'entraînement. Cependant, lors de la phase de rétention, dix minutes ou dix jours après la phase d'apprentissage, ce sont les participants du groupe 'aléatoire' qui réalisent plus rapidement les tâches. Cette étude appuie l'hypothèse selon laquelle la variabilité favorise les performances lors de tâches de transfert. Les auteurs concluent que la variabilité lors de l'entraînement impose aux participants de multiplier les stratégies ce qui favorise une meilleure élaboration des acquisitions motrices et permet de meilleures performances aux tâches de rétention. La pratique en aléatoire encourageant les processus de mise en relations ainsi que l'encodage des différences et des similarités entre les tâches présentées.

A cette première hypothèse, défendue notamment par Shea et Morgan (1979), se focalisant sur la structure de la représentation en mémoire développée par la pratique, une seconde, défendue notamment par Lee et Magill (1983), van Merriënboer, Kester et Pass (2006) ainsi que Carlson et Yaure (1990), se focalise sur les procédures cognitives de construction et de reconstruction de la solution. La solution, stockée en mémoire de travail, pourrait être remaniée par la présentation aléatoire de problèmes (ou de tâches). Ils notent que les participants doivent reconstruire un nouveau plan d'action à chaque essai dans la condition aléatoire alors que dans la condition bloquée, les participants n'ont qu'à se souvenir passivement du plan d'action.

Du point de vue de la théorie de la charge cognitive (de Croock & van Merriënboer, 2007 ; de Croock & al., 1998), cet effet pourrait s'expliquer par le fait que la construction de schémas de résolution lors d'une présentation aléatoire exigerait davantage de ressources cognitives qu'une présentation par bloc, ce qui diminuerait les performances lors de la phase de pratique. Cependant, ces schémas seraient plus riches (basés davantage sur les différences et les similarités entre les problèmes) et permettraient de meilleures performances face à de nouveaux problèmes. Comme le notent de Croock et al. (1998), une haute interférence contextuelle peut augmenter la charge cognitive car elle stimule les participants à investir un effort mental dans la tâche, ce qui favorise l'élaboration de schémas durant la phase d'apprentissage. Les bonnes performances à la tâche de transfert peuvent être expliquées par l'exploitation de ces schémas.

3.1.3. Bilan

La plupart des travaux classiques¹⁹ mettent en avant le fait que la variabilité favorise l'apprentissage. En situation de résolution de problèmes, comme pour d'autres tâches, une présentation aléatoire pénalise donc les performances durant la phase de pratique mais favorise, dans la plus part des cas, les performances lors d'une tâche de rappel.

¹⁹ Sweller et al. (1998, p. 286) notent même que « *le fait que la variabilité d'un entraînement permet des effets positifs sur le transfert de l'apprentissage est très bien documenté* ».

Dans leurs recherches Cheng et Mo (2004) observent ce type de résultats. A travers quatre expériences, ils mettent en avant la prévalence de la variabilité en résolution de problèmes. Ils utilisent des problèmes proches du problème des jarres²⁰. Ils font varier les procédures ou les quantités dans les problèmes d'apprentissage (trois ou quatre suivant l'expérience) et observent le niveau de réussite aux problèmes de transfert. Lorsque les problèmes d'apprentissage sont similaires, les participants réussissent rapidement ceux-ci, cependant, ils réussissent moins bien les problèmes de transfert que les participants du groupe ayant rencontré de la variabilité. D'autre part, les auteurs relèvent que les participants confrontés à de la variabilité dans les problèmes d'apprentissage construisent un schéma de résolution plus élaboré des problèmes. Ils cotent les réponses des participants et observent une corrélation positive entre le niveau d'élaboration du schéma de résolution et la réussite aux problèmes de transfert. Leurs résultats vont dans le sens de ceux présentés dans cette section.

La variabilité de la tâche semble encourager les apprenants à développer des schémas car cette organisation augmente la probabilité que des traits similaires soient identifiés et que les traits de structures soient détachés des traits de surface. La confrontation avec des séquences variées de problèmes incite les apprenants à étendre et préciser le domaine d'application de leurs schémas.

Ces résultats semblent aller à l'encontre des travaux sur la charge cognitive puisque selon ceux-ci la variabilité augmenterait la charge cognitive. Cependant, selon Pass et van Merriënboer (1994), la variabilité favoriserait le transfert uniquement si la charge cognitive inutile (*cf.* 2.2.1.) est faible et que les capacités cognitives de l'apprenant peuvent se centrer sur la comparaison des problèmes (charge cognitive pertinente). Ils explicitent ainsi les différents résultats rapportés. Enfin, il apparaît qu'au delà de la variabilité c'est le mode d'instruction utilisé qui influence les performances. Cette question de l'impact du mode d'organisation est alors transférée vers la question de l'impact du mode d'instruction utilisé que nous abordons dans la section suivante.

3.2. Instructional design

3.2.1. Principales distinctions

Sous cette appellation, sont regroupées les recherches portant sur le mode d'instruction à privilégier dans le cadre d'un apprentissage. La question que posent ces travaux est comment organiser au mieux l'apprentissage d'une compétence ou d'une connaissance pour que l'apprenant élabore cette compétence ou cette connaissance (meilleure réussite à des problèmes de transferts, meilleure rétention, meilleure compréhension, faible taux d'erreurs, schémas davantage élaborés...).

Pour tenter de répondre à cette question, Salden, Paas et van Merriënboer (2006) distinguent l'approche statique et l'approche dynamique comme mode de sélection des

²⁰ Dans le problème des jarres de Luchins (1942, cité dans Clément, 2006), les participants disposent de trois jarres de contenances différentes. Ils doivent avec l'aide des jarres obtenir un volume d'eau prédéfini.

tâches. L'organisation de la tâche est déterminée au préalable en situation statique (les problèmes sont présentés suivant un ordre fixé à priori, suivant un ordre croissant de difficulté par exemple). Elle est ajustée au cours de l'apprentissage en situation dynamique (suivant les performances du participant, son attitude, le ressenti qu'il renvoie, etc....).

Salden et al. (2006) font une deuxième distinction. Elle est liée à la présentation de la tâche : dans son intégralité ou partiellement (par sous-but, segmentation ou simplification). Dans le cadre d'une présentation statique et partielle de la tâche, plusieurs modes de présentation sont possibles (Figure 13).

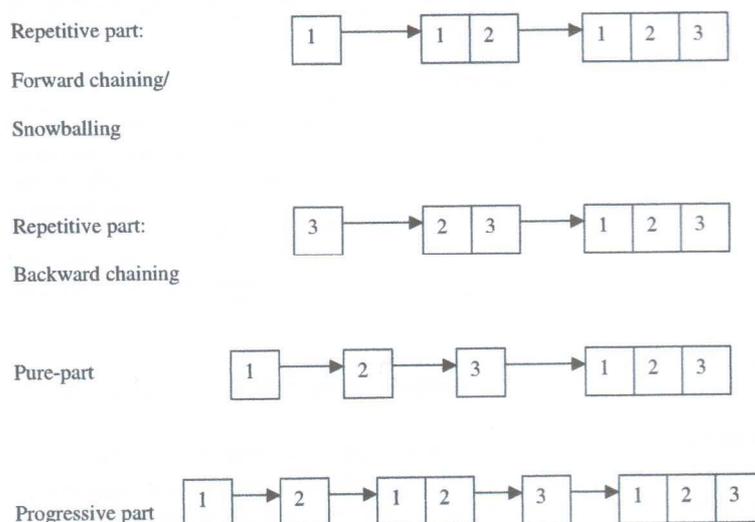


Figure 13 : Exemple de modes de présentation (Salden & al, 2006)

Ce type de présentation (statique et partielle) pose certaines questions (détermination des tâches partielles, difficultés d'intégration face à la tâche complète). Naylor et Briggs (1963, cité dans van Merriënboër, Kirschner & Kester, 2003) notent que scinder une tâche d'apprentissage ne favorise pas l'apprentissage de compétences complexes exigeant l'intégration d'aptitudes, de connaissances et d'attitudes. Une présentation statique de la tâche complète est alors une alternative possible. Elle a l'avantage d'inclure toutes les compétences que l'apprenant doit acquérir. Cependant, toutes les approches statiques ajustent la situation d'apprentissage, c'est à dire le mode d'organisation de la tâche avant l'apprentissage lui-même. Cette approche rigide peut être remplacée par une approche plus flexible, dynamique d'organisation de la tâche. Celle-ci permet de faire des ajustements par rapport à l'apprenant et ce au cours de l'apprentissage, c'est-à-dire au cours de la réalisation de la ou des tâche(s). Dans cette approche dynamique, les auteurs distinguent également la présentation de la tâche de manière complète ou partielle. L'intérêt d'une approche dynamique est de pouvoir prendre en compte les progrès de l'apprenant pour optimiser la sélection de la tâche suivante. Camp et al. (2001) ont étudié l'intérêt d'une présentation dynamique des problèmes par rapport à une présentation fixe. Ils montrent qu'un entraînement adapté, utilisant une présentation dynamique des problèmes, est plus efficace qu'une présentation fixe suivant un ordre croissant de difficulté des problèmes. Ils utilisent trois

critères pour adapter le niveau des problèmes à l'apprenant : la performance, l'effort mental perçu par l'apprenant et l'indice d'efficacité (*'mental efficiency'*).

Actuellement, l'essentiel de ce champ de recherche découle des travaux autour de la théorie de la charge cognitive (Pass, Renkl & Sweller, 2003). Sweller, van Merriënboer et Pass (1998), notamment, définissent les liens entre la théorie de la charge cognitive et les modes d'instruction. Pour eux, le mode d'instruction le plus efficace est celui qui diminue la charge cognitive intrinsèque et inutile, et qui favorise la charge cognitive utile. Cela peut être le cas d'une tâche présentant des problèmes du plus simple au plus difficile ainsi que d'une séquence aléatoire de problèmes, si elles respectent ces deux conditions. La théorie de la charge cognitive présente des implications directes sur le mode d'instruction, étayées par de nombreuses expérimentations (van Gog, Ericsson, Rikers & Pass, 2005). En 1994, Pass et van Merriënboer posaient deux buts aux modes d'instructions découlant de la théorie de la charge cognitive. Le premier consiste à diminuer la charge cognitive inutile et intrinsèque. Le second vise à centrer l'attention de l'apprenant sur l'élaboration de connaissances schématisées. Ce point de vue découle de leurs travaux sur l'élaboration et l'automatisation des schémas (van Merriënboer & Pass, 1990). Acquérir des schémas est pour eux un processus important dans l'apprentissage de compétences complexes. A ce titre, le mode d'instruction qui le favorise ne peut qu'être privilégié.

Salden et al. (2006) concluent en associant les différentes possibilités de présentation / d'organisation des tâches en fonctions des types de compétences à acquérir. Selon eux, l'utilisation des tâches partielles ou complètes dépend du type de compétences que l'on souhaite faire acquérir à l'apprenant.

3.2.2. *The mental efficiency approach*

Paas et van Merriënboer (1993) développent « *The mental efficiency approach* ». Cette approche incorpore la question de l'effort mental lors de la session d'apprentissage pour optimiser le mode d'organisation de la tâche. Ces auteurs proposent de prendre en compte la charge cognitive lors de la mise en place d'une tâche d'apprentissage. Pour eux, il est primordial de favoriser l'élaboration et l'utilisation des schémas lors de la séquence d'apprentissage. Le mode de présentation choisi doit l'être en fonction des connaissances des apprenants avant la réalisation de la séquence, de la quantité de ressources cognitives que l'apprenant devra investir dans la tâche et de la quantité de ressources dont il dispose pour réaliser la tâche.

Paas et van Merriënboer (1993) utilisent l'indice d'efficacité du mode d'instruction (section 2.2.1.) qu'ils ont développé, pour intégrer la prise en compte de l'effort cognitif fourni dans la tâche d'apprentissage. Il en résulte l'hypothèse qu'un problème résolu peut l'être avec beaucoup de facilité (effort mental faible) ou bien avec des difficultés (effort mental élevé). Cette hypothèse rejoint l'idée que la réussite d'un problème ne garantit pas le développement de connaissances élaborées.

Une première indication des bénéfices de cette approche peut être trouvée dans une étude de Camp et al. (2001). Dans cette recherche, ils utilisent l'indice d'efficacité développé par Pass et van Merriënboer (1993) afin d'éprouver plusieurs méthodes d'apprentissage dans le domaine du trafic aérien. Ils comparent une organisation hiérarchique fixe des problèmes (condition contrôle : organisation statique) avec une sélection dynamique des problèmes au cours de la tâche. Les problèmes sont sélectionnés en fonction de la performance des participants, de la charge mentale qu'ils expriment (mesurée à l'aide d'une échelle subjective de mesure en cinq points) ou bien de l'indice d'efficacité²¹. La difficulté des problèmes résidant dans le nombre de conflits²² rencontrés, les performances sont mesurées en fonction de l'exactitude avec laquelle les participants guident les avions. Les variables utilisées sont : le temps en dehors des voies aériennes, le temps sans coupure, le nombre d'ordres donnés ainsi que le nombre d'avions qui ont atteint leur objectif avec succès. Ces indices sont combinés en un indice relatif de performance évoluant entre 1 et 5. L'indice d'efficacité est mesuré par la formule indiquée dans la section 2.2.1. Les résultats montrent que le groupe dont l'apprentissage évolue en fonction de l'indice d'efficacité a besoin de moins de problèmes avant d'atteindre le plus haut niveau de difficultés²³ (9 problèmes vs 14 en moyenne pour les deux autres conditions expérimentales). L'utilisation d'une organisation statique (condition contrôle) produit un plus fort taux d'effort mental et de moins bonnes performances que les trois organisations dynamiques (conditions expérimentales). Enfin, et contrairement aux hypothèses des auteurs, les résultats ne montrent pas de différences significatives entre les performances des quatre groupes aux tests de transfert. Les auteurs concluent qu'adapter la tâche au fur et à mesure de l'apprentissage est plus efficace qu'une organisation statique. D'autre part, au vu des indices d'efficacité calculés à posteriori pour les quatre conditions (0.76 pour la condition performance vs 0.13 pour la condition effort mental vs -0.17 pour la condition indice d'efficacité vs -0.80 pour la condition fixe), la prise en compte de la performance dans une présentation dynamique de la tâche semble la plus pertinente. Les auteurs nuancent ces résultats en notant que cette variable semble pertinente en ce qui concerne l'acquisition de compétences récurrentes exigeant peu d'effort mental ; mais que l'élaboration de connaissances plus complexes exige davantage de ressources cognitives, ce qui diminue l'indice d'efficacité. Ils concluent en soulignant que l'indice d'efficacité semble être une variable pertinente dans l'étude des modes d'instruction.

3.2.3. Conclusion

Nous pouvons noter que l'« *instructionnal efficiency* » permet la prise en compte de la charge cognitive dans l'élaboration de tâches d'apprentissage. Cette prise en compte offre une perspective tournée vers l'apprenant. Les connaissances qu'il doit élaborer sont mises en symétrie avec ses compétences. Cette préoccupation relève également de

²¹ Soit trois conditions expérimentales (trois sélections dynamiques : à partir de la performance, la charge mentale exprimée et de l'indice d'efficacité) et une condition contrôle (organisation statique).

²² Conflits aériens entre les différentes trajectoires des avions.

²³ Lorsque qu'un problème est résolu avec un bon indice de performance le participant passe au niveau supérieur de difficulté. Et cela jusqu'à atteindre le plus haut niveau de difficulté.

travaux centrés sur la catégorisation et l'organisation des compétences à acquérir. L'objectif étant d'organiser au mieux une tâche d'apprentissage afin qu'il élabore des connaissances et/ou des compétences complexes. Nous abordons ces travaux dans la section suivante.

3.3. Prévalence du 'simple vers le complexe'

3.3.1. Introduction

Pour van Merriënboer et al. (2003), reprenant les travaux de Sweller, van Merriënboer & Pass (1998, p. 6), « *il est clairement impossible, d'utiliser une tâche d'apprentissage hautement complexe au début d'une séquence de formation car cela exigerait une charge cognitive excessive pour les apprenants, avec des effets négatifs sur l'apprentissage, la performance et la motivation.* ». Dans cette optique, Reigeluth et Stein (1983) propose une méthode mettant en avant un découpage des compétences à acquérir (« *simplifying condition method* »). Cette approche issue de leur théorie de l'élaboration (« *elaboration theory* ») détermine l'ordre et la complexité des tâches par l'analyse des différents niveaux d'expertise requis par la tâche avant de les présenter aux apprenants. Van Merriënboer (1997) propose quant à lui « *a mental model progressions approach* ». Cette approche conseille de commencer l'apprentissage par des tâches contenant des idées simples, représentatives et concrètes. Avant d'aborder plus en avant les travaux contemporains, nous détaillons les travaux de Gagné (1962, 1968), fondateur de la hiérarchie d'apprentissage dans cette section.

3.3.2. Les travaux de Gagné (1962, 1968)

Cette approche est basée sur l'observation qu'une compétence s'appuie sur des pré-requis ou des compétences de base qui doivent être acquises avant des compétences plus larges ou plus complexes (Gagné, 1962). Selon lui, « *personne ne peut réussir la tâche finale sans disposer d'habiletés préalables, c'est-à-dire sans être capable de résoudre les tâches simples et plus générales.* » (p. 356). A partir de cette observation, Gagné (1968) propose une approche hiérarchique qui va du bas vers le haut afin d'acquérir les habiletés de niveau inférieur en premier, puis de construire les autres à partir de celles-ci. Selon lui, le développement des habiletés intellectuelles est comparable à un processus de construction. La maîtrise des habiletés de niveau inférieur fournit une base nécessaire à l'apprentissage des habiletés de niveau supérieur. Par exemple, pour apprendre à résoudre des problèmes de divisions élaborées, il faudrait commencer par connaître les nombres et leur valeur, l'addition simple et la soustraction, la multiplication et la division simple. Ainsi, pour enseigner une habileté donnée, il est nécessaire d'identifier les habiletés préalables, puis de s'assurer que l'apprenant les possède. Gagné (1962, 1968) nomme cette liste d'habiletés composant un apprentissage, une hiérarchie d'apprentissage. Il élabore cette approche à partir de ces travaux sur le traitement de l'information (Brien & Lagana, 1979). Les habiletés intellectuelles

peuvent dans ce cadre être conçues en termes de programmes et de sous-programmes ou d'objectifs et de sous objectifs. Dans cette approche, l'acquisition d'une habilité M est sous-tendu à l'existence en mémoire des concepts A, B, C eux-mêmes sous tendu par l'existence des sous-concepts a, b, c.

Le mode d'instruction proposé est alors basé sur plusieurs principes. Le premier est qu'il doit permettre d'identifier la performance finale attendue. C'est-à-dire définir l'objectif de l'apprentissage. Le second porte sur l'identification des éléments. L'apprenant doit avoir une représentation adéquat des termes et notions employés. La troisième fonction est de stimuler la rétion et le rappel des connaissances acquises précédemment. Enfin, la dernière fonction du mode d'instruction est de guider l'apprenant. Ce guidage est réalisé par une procédure de pas à pas visant à conduire l'apprenant à utiliser les connaissances déjà acquises pour faire face à la nouvelle situation. L'apprenant est conduit à maîtriser une nouvelle tâche (connaissance ou compétence) progressivement à un niveau hiérarchique de plus en plus important jusqu'à atteindre le niveau final de la tâche. Gagné (1962) attribue l'impact positif de ce mode d'instruction au transfert des connaissances pré-acquises, dans la résolution de la tâche finale. La résolution d'un problème complexe est dans cette optique soumise à la présence en mémoire de connaissances suffisantes (vocabulaire, opérateurs, ...) transférables (Gagné, 1968). Selon cette approche, la réussite d'un problème complexe ne semble pas pouvoir se faire sans étayage.

3.3.3. Frederiksen et White (1989)

Frederiksen et White (1989) proposent quant à eux un mode d'instruction basé sur la décomposition de la tâche en sous-buts et la mise en place de situations permettant d'acquérir progressivement les compétences liées à ces sous-buts. Ils montrent que des apprenants soumis à ce type d'instruction organisé réussissent davantage la tâche que les participants qui réalisent directement la tâche.

Dans leur étude, Frederiksen et White (1989) utilisent le jeu de la Forteresse Spatiale (*'the space fortress game'*). C'est une tâche complexe qui exige de la coordination et de la stratégie (Mané & Donchin, 1989). Le but est de détruire une forteresse spatiale sans être détruit par elle. Le joueur est aux commandes d'un vaisseau spatial disposant de plusieurs armes. Il doit élaborer des stratégies d'attaque pour perforer les défenses de la forteresse tout en optimisant son énergie et en évitant les attaques de la forteresse.

Par l'analyse fine des stratégies optimales définies à l'aide de trois protocoles d'experts, Frederiksen et White (1989) développent un protocole d'apprentissage. Celui-ci est construit en se focalisant sur les habilités et stratégies pertinentes repérées dans les protocoles des experts. En respectant les relations hiérarchiques des différentes composantes de celles-ci, plusieurs 'sous-jeux' sont ensuite proposés par les auteurs, chacun permettant de développer une habilité particulière. A travers deux expériences, ils comparent les performances d'une trentaine de participants. Le groupe expérimental est soumis à un entraînement utilisant les sous-jeux élaborés. Le groupe contrôle pratique directement le jeu complet. La procédure est la suivante (pour l'expérience 1) :

le premier jour, tous les participants sont soumis à deux essais du jeu complet ; les jours 2, 3 et 4, le groupe expérimental pratique la séquence d'entraînement (composées des sous-jeux élaborés) tandis que le groupe contrôle pratique le jeu complet ; les jours 5 et 6, les deux groupes pratiquent le jeu complet. La moyenne des scores des essais de chaque jour est mesurée pour chaque groupe ainsi que d'autres critères (rapidité notamment). Les auteurs observent clairement de meilleures performances pour le groupe expérimental. L'expérience 2, plus longue (neuf jours), introduit, pour le groupe expérimental, des sous-jeux supplémentaires. Elle offre les mêmes résultats : le groupe soumis à l'entraînement obtient de meilleures performances que le groupe qui pratique uniquement le jeu complet. Ces résultats montrent l'avantage d'un entraînement basé sur l'apprentissage progressif de compétences repérées préalablement chez des experts. Les auteurs concluent (p. 133-134) que « *lorsque la tâche d'apprentissage a été élaborée pour refléter les stratégies d'experts et pour intégrer les composantes de ces habilités, l'effet de l'apprentissage est supérieur à un entraînement basé sur la pratique de la tâche complète durant un temps comparable.* ».

Cette approche (analyser des protocoles d'experts) permet de développer des tâches restrictives qui facilitent le développement de stratégies spécifiques. Les habilités développées peuvent être générales et applicables non seulement à la tâche complète mais également à un autre environnement. La pratique de la tâche complète permet, selon les auteurs, le transfert des compétences acquises dans les sous-tâches.

3.3.4. Le 4C Instructional design model

S'appuyant sur ces conclusions, van Merriënboer, Jelsma et Pass définissent en 1992 : le « *four-component instructional design model* ». Ce modèle définit une stratégie d'apprentissage fondée sur la décomposition des compétences à acquérir. Les quatre composants de ce modèle sont : l'analyse des compétences de base (par exemple utiliser un ordinateur) ; l'analyse des compétences spécifiques (se rapportant exclusivement à la résolution de la tâche) ; l'analyse des pré-requis nécessaires pour utiliser les compétences récurrentes (c'est à dire identifier les concepts sous jacents à ces compétences) et l'analyse des pré-requis nécessaires pour utiliser les compétences non récurrentes (c'est à dire identifier les schémas qui doivent être élaborés lors de la réalisation de la tâche). Ce modèle (Jelsma & Bijlstra, 1990) propose un guide sur lequel s'appuyer lors de l'élaboration de séquence d'apprentissage. Pour van Merriënboer et al. (1992), la tâche ne peut être construite sans une analyse fine des compétences et des connaissances que l'on souhaite que l'apprenant élabore.

3.3.5. Bilan

Les travaux présentés ci-dessus mettent en avant la prévalence du simple sur le complexe dans le sens où ils privilégient un mode d'organisation hiérarchique basé sur la connaissance des compétences de base afin de les développer avant de proposer des

tâches plus complexes. Gagné (1962, 1968) nomme cette organisation une hiérarchie des apprentissages, tandis que van Merriënboer, Jelsma et Pass (1992) proposent un modèle structuré en quatre composants s'appuyant sur l'analyse des pré-requis pour guider l'apprentissage. Enfin, Frederiksen et White (1989) s'appuient sur des protocoles d'experts pour proposer des sous-tâches d'entraînement. Selon ces approches l'apprentissage est organisé d'éléments simples vers des éléments complexes.

3.4. Bilan du chapitre 3

Dans une première section, nous avons présenté les travaux liés aux interférences contextuelles. Selon ces travaux (Shea & Morgan, 1979 ; Lee & Magill, 1983), une bonne réussite en phase d'apprentissage n'est pas garant d'une réussite face à des nouveaux problèmes. En effet, une haute variabilité qui gêne la réussite en phase d'apprentissage semble favoriser l'apprentissage puisqu'elle permet une meilleure réussite face aux problèmes de transfert. De ces travaux nous pouvons également retenir que le mode d'organisation de la tâche est un facteur qui influence l'apprentissage en résolution de problèmes.

Les travaux de l'« *Instructional design* » soulignent également l'importance du mode d'organisation de la tâche. La prise en compte de la charge cognitive dans le mode d'instruction choisi en résolution de problèmes permet, d'après ces travaux (Pass & van Merriënboer, 1993 ; Salden & al., 2006), de favoriser l'apprentissage.

L'importance du mode d'organisation est enfin appuyée par d'autres travaux (Gagné, 1962, 1968). Ceux-ci appuient la prévalence du 'simple vers le complexe'. C'est-à-dire l'intérêt d'organiser la tâche de résolution de problèmes en fonction d'une hiérarchie des composants à acquérir.

A travers les différents travaux présentés (Gagné, 1962, 1968 ; Shea & Morgan, 1979 ; Lee & Magill, 1983 ; Pass & van Merriënboer, 1993 ; Salden & al., 2006), nous pouvons conclure en proposant trois hypothèses. Tout d'abord, selon les travaux de l'interférence contextuelle (Shea & Morgan, 1979 ; Lee & Magill, 1983), la variabilité de la tâche favorise l'apprentissage et l'élaboration des schémas. Ensuite, selon les travaux de l'« *Instructional design* » (Pass & van Merriënboer, 1993 ; Salden & al., 2006), les tâches qui favorisent la charge cognitive pertinente en réduisant les charges cognitives intrinsèque et inutile sont celles qui favorisent l'apprentissage. Enfin, selon d'autres travaux (Gagné, 1962, 1968), afin d'optimiser la phase l'apprentissage, il est pertinent de diviser la tâche en sous buts hiérarchisés, en fonction des habilités visées. C'est afin d'éprouver ces différentes hypothèses que nous menons notre recherche. Nous développons notre problématique dans le chapitre suivant.

Chapitre 4 : Discussion de la première partie

Au cours des chapitres précédents nous avons présenté le lien étroit entre résolution et apprentissage. Les processus engagés par l'individu pour résoudre le problème influencent la qualité des connaissances qu'il retire de la situation problème. Un autre facteur peut influencer l'élaboration de connaissances : le mode de présentation et/ou d'organisation de la tâche. Les différents travaux présentés nous conduisent à plusieurs hypothèses que nous développons dans ce chapitre.

Le Chapitre 1 a permis de présenter les différentes notions qui vont être utilisées dans cette recherche. Il a également permis de mettre en avant l'intérêt de la résolution de problème. C'est une situation complexe où deux processus entrent en concurrence : la résolution en elle-même, et l'apprentissage de nouvelles connaissances. Comme nous l'avons vu dans ce chapitre, la situation de problème est une situation propice aux apprentissages. Ceux-ci sont modélisés différemment suivant les approches présentées mais toujours liés à la situation de problèmes. De cette imbrication résolution de problème / apprentissage a découlé le second chapitre. En effet si la résolution d'un problème conduit à l'apprentissage de connaissances, la question de leur nature se pose.

Le Chapitre 2 visait à répondre à cette question. Nous avons conclu des différents travaux présentés (Gick & Holyoak, 1983 ; Ross, 1987 ; Reed, 1989) qu'en résolution de problème, les connaissances développées peuvent soit être stockées en tant qu'exemplaires soit être élaborées en structures complexes. Ces structures complexes sont nommées schémas. Cette notion a été définie dans ce chapitre à travers deux approches principales : celle de Schmidt (1975) et celle de Sweller (2003). Ce dernier utilise cette notion pour élaborer une théorie de la charge cognitive. Celle-ci est également définie dans ce chapitre. Elle prend en compte l'aspect limité de la mémoire de travail et illimité de la mémoire à long terme. Cette dernière stockant les connaissances sous forme de schémas. Ceux-ci sont plus ou moins automatisés et permettent de traiter plusieurs éléments d'information comme un seul. Cette théorie présente également l'importance de la prise en compte de la charge cognitive allouée à la tâche dans le mode de présentation utilisé. De cette prise en compte découlent plusieurs effets. Ceux-ci visent à limiter la charge cognitive mobilisée par la résolution de problèmes afin que les ressources puissent être investies dans l'élaboration de schémas et donc dans l'apprentissage. En effet, la résolution du problème peut nécessiter d'investir toutes les capacités cognitives disponibles dans la recherche de la solution et ainsi pénaliser l'apprentissage. Ce chapitre a également mis en avant l'importance du mode de présentation d'un problème. En effet, nous avons pu voir que l'impact du mode d'organisation est double puisqu'il influence la résolution du problème en termes de performance (temps nécessaire afin de trouver la solution par exemple) ainsi que l'apprentissage qui découlera de cette résolution (évaluer le plus souvent en termes de réussite à des problèmes de transfert). Ce chapitre a enfin permis de soulever certaines contraintes liées à l'élaboration des schémas. Ceux-ci sont davantage élaborés dans la confrontation de plusieurs problèmes suffisamment proches (structurellement et/ou sémantiquement). Ils contiennent à la fois des éléments généraux de structure et des éléments plus superficiels servant d'indices de récupération.

Dans le troisième chapitre, nous avons élargi notre point de vue sur le mode d'organisation des problèmes en présentant trois axes de recherches. Dans un premier temps, nous avons observé la prévalence de la variabilité dans le cadre de l'interférence contextuelle, où une haute variabilité qui gêne la réussite en phase d'apprentissage semble favoriser l'apprentissage puisqu'elle permet une meilleure réussite face aux problèmes de transfert. Dans un second temps, nous avons présenté les travaux de l'« *Instructional design* » (Pass & van Merriënboer, 1993 ; Salden & al., 2006), portés par les principes de la théorie de la charge cognitive, qui développent des modes d'organisation prenant en compte la charge cognitive. Pour finir, nous avons balayé les travaux (Gagné, 1962, 1968), portant la prévalence du simple sur le complexe. Ceux-ci supportent l'hypothèse d'organiser la tâche de résolution de problèmes en fonction d'une hiérarchie des composants à acquérir. Nous avons conclu ce chapitre en posant trois hypothèses. Tout d'abord, la variabilité favorise l'apprentissage dans la mesure où la charge cognitive requise ne surcharge pas l'apprenant. D'autre part, la prise en compte de la charge cognitive allouée à une tâche est pertinente si l'objectif est de développer l'élaboration de connaissances structurées. Enfin, l'organisation de la tâche en prenant en compte les habilités pré-requises est pertinente vis-à-vis de l'apprentissage de compétences complexes.

En lien avec la littérature exposée, nous faisons l'hypothèse générale suivante : si l'individu s'engage dans un processus analogique de résolution, c'est-à-dire de comparaison du problème rencontré avec les connaissances stockées en mémoire afin d'élaborer une solution pour résoudre le problème, cette stratégie favorisera l'élaboration de schémas structurés de connaissances permettant de faire face à de nouveaux problèmes même complexes. Dès lors la question de comment inciter les participants à s'engager dans ce type de processus se pose. Afin de répondre à cette question, nous testons trois hypothèses spécifiques liées au mode d'instruction et à son impact sur l'apprentissage à travers six expériences.

Notre première hypothèse opérationnelle découle des travaux sur l'interférence contextuelle et de la prise en compte des travaux sur la charge cognitive. Selon les travaux de l'interférence contextuelle (Shea & Morgan, 1979 ; Lee & Magill, 1983), la variabilité de la séquence d'apprentissage pénalise la réussite lors de cette séquence mais permet un meilleur apprentissage, mesuré par une meilleure réussite aux problèmes de transfert. L'explication qui peut être avancée est la suivante : la variabilité favorise l'élaboration des schémas, ce qui permet une meilleure réussite face à des nouveaux problèmes. Néanmoins cette variabilité requiert une forte mobilisation cognitive, et pénalise par là même la recherche de la solution, donc la réussite. Il apparaît que ce mode d'instruction incite l'apprenant plutôt à investir ces ressources dans l'apprentissage. De plus, la variabilité favorise l'élaboration de schémas plus riches et plus flexibles (Cheng & Mo, 2004). Dans cette perspective, notre première hypothèse opérationnelle est la suivante : un mode d'instruction intégrant de la variabilité conduit l'apprenant à s'investir davantage dans l'élaboration de connaissances. Nous testerons cette première hypothèse à travers les deux premières expériences.

Notre seconde hypothèse opérationnelle se situe dans la continuité des travaux de Gagné (1962, 1968). Elle s'enrichit de l'idée qu'élaborer une tâche en prenant en compte les habilités pré-requises est pertinent vis-à-vis de l'apprentissage de compétences complexes. Dans cette approche, il apparaît intéressant de proposer une hiérarchie des problèmes basée sur leur niveau de difficulté. Ce mode d'organisation conduirait à davantage de réussite dans la résolution des problèmes et davantage d'élaboration de schémas de résolution. La proximité de structure des problèmes présentés du plus facile ou plus difficile favorisant la comparaison des problèmes et par là même l'élaboration des schémas. Notre seconde hypothèse opérationnelle est testée lors des expériences n°3, 4, 5 et 6.

Notre troisième hypothèse opérationnelle découle de la prise en compte de la charge cognitive. Ceci semble pertinent si l'objectif est de développer l'élaboration de connaissances structurées. Selon la théorie de la charge cognitive, une tâche qui favorise la charge cognitive pertinente permet un meilleur apprentissage. C'est à dire qu'une tâche construite en minimisant les charges cognitives intrinsèque et inutile favorise l'élaboration de schémas. Face à ce type de tâche l'apprenant concentrerait ces ressources sur l'élaboration de schémas de résolution qui lui permettraient de faire face à de nouveaux problèmes. Dans cette optique, notre troisième hypothèse opérationnelle est la suivante : le mode d'organisation d'une tâche favorise l'apprentissage et la réussite lorsque la charge cognitive n'est pas trop importante. L'apprentissage profite alors d'un processus d'élaboration des connaissances en schémas de résolution. Les expériences n°4 et 5 permettrons également d'explorer cette hypothèse.

Partie 2 : Influence du mode d'instruction : aspects expérimentaux

Introduction de la seconde partie

Différentes études ont montré un effet de la charge cognitive en situation de problèmes ancrés dans la réalité pédagogique : problèmes géométriques (Sweller, 1989; Paas & van Merriënboer, 1994), problèmes statistiques (Paas, 1992), de circuits électriques (Chandler & Sweller, 1991; Pollock & al, 2002), de compréhension de textes (Piolat & al., 1996; Stull & Mayer, 2007). Il est intéressant de tester si les résultats présentés peuvent s'appliquer face à des problèmes de raisonnement logique. En effet, Wason (1968 ; Wason & Green, 1984) a montré avec le problème des 4 cartes que seulement 10% de participants utilisent un raisonnement logique dans leurs recherches de la solution et réussissent le problème. Nous avons souhaité utiliser des problèmes de raisonnements logiques hors connaissances contextuelles afin d'interroger l'implication du mode d'instruction sur l'élaboration de connaissances dans le cadre d'un jeu logique.

L'utilisation de jeux dans l'étude des processus cognitifs est plutôt répandue : les échecs (Chase & Simon, 1973), le jeu Tétris© (Kirsh & Maglio, 1994), le scrabble© (Estay, 1982), etc. Notre attention s'est concentrée sur le jeu du Démineur©²⁴. Ce jeu a l'avantage de proposer de nombreuses situations de problèmes, de difficultés variables, où les raisonnements peuvent être circonscrits. D'autre part, il est largement connu du grand public. Nous le détaillons dans cette section.

Le jeu du Démineur

« *Le but du jeu du Démineur© est de localiser toutes les mines aussi rapidement que possible, sans en afficher aucune. Si vous découvrez une mine, vous avez perdu.* » Telle est la définition que donne Windows de ce jeu. Il se présente sous la forme d'une grille d'une taille modifiable. Elle varie de 9 cases x 9 cases à 24 cases x 30 cases. Plusieurs niveaux sont proposés : débutant, intermédiaire et expert ; le joueur peut également personnaliser sa grille et indiquer le nombre de mines qu'il souhaite chercher. La taille de la grille ainsi que le nombre de mines présentes influencent fortement la difficulté du jeu. Au début de la partie, toutes les cases sont en relief, c'est-à-dire non découvertes (Figure 14).

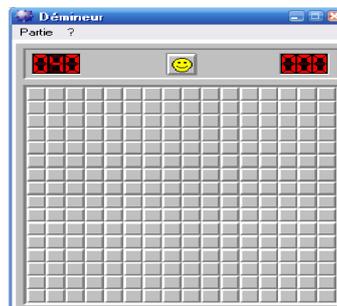


Figure 14 : Image d'une partie du jeu du Démineur© initialisée

²⁴ Microsoft Windows Minesweeper game, © 1985 – 1992 Microsoft corp., by R. Donner and C. Johnson.

Un indicateur affiche le nombre de mines présentes dans la grille de jeu (en haut, à gauche de l'image, Figure 14). Ce nombre peut varier entre 10 et 667. Cet indicateur diminue au fur et à mesure que le joueur identifie les mines dans le jeu.

Lorsque le joueur clique pour la première fois sur la grille avec le bouton gauche de la souris, un chronomètre se déclenche (en haut à droite de l'image, Figure 14). Le clic gauche sur une case entraîne également sa découverte. Une case peut cacher soit une mine, soit un chiffre compris entre 1 et 8, soit rien. Si le joueur découvre une mine, il a perdu. S'il découvre un chiffre, il obtient une information sur la présence et la localisation d'une ou plusieurs mines. En effet, les chiffres indiquent la présence d'une ou plusieurs mines dans les cases adjacentes. Si ni une mine ni un chiffre ne se trouve sous cette case, alors toutes les cases vides environnantes sont découvertes (Figure 15).



Figure 15 : Image d'une partie du jeu du Démineur© après un clic droit sur une case vide

Avec l'aide des chiffres, le joueur doit localiser les mines dans les cases non découvertes. Lorsqu'il est convaincu de la présence d'une mine sous une case non découverte, il l'indique en cliquant avec le bouton droit de la souris sur celle-ci. Un drapeau apparaît alors sur cette case. En cas d'erreur, le joueur peut enlever le drapeau en cliquant par deux fois avec le bouton droit de la souris sur la case marquée d'un drapeau. Le compteur déduit un pour chaque drapeau posé. Le joueur a gagné lorsqu'il a repéré sans erreur toutes les mines c'est-à-dire qu'il n'a pas découvert de cases contenant une mine et qu'il a déposé correctement chaque drapeau sur les cases contenant une mine (Figure 16).

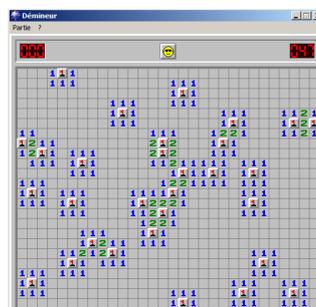


Figure 16 : Image d'une partie du jeu du Démineur© réussie

Un site internet officiel existe (www.planete-demineur.com). Il répertorie des astuces et des conseils pour déminer le plus rapidement des grilles de Démineur©. Un classement international des joueurs est également enregistré. Nous rencontrons ici des joueurs experts intéressés par la rapidité de jeu ; celle-ci ne correspond pas toujours à la recherche la plus efficace de la solution mais plutôt à une prise de décision rapide. Il existe également des ouvrages de conseils stratégiques tels que celui de Novelli et Rivière (2003). Enfin, ce jeu intéresse également le mathématicien Adamatzky (1997).

Le didacticiel

Pour notre expérimentation nous avons utilisé un didacticiel que nous avons élaboré à partir d'un environnement de développement intégré édité par Borland pour Windows (Delphi). Ce didacticiel permet de présenter les problèmes un par un dans l'ordre souhaité, d'enregistrer la réponse et le temps de réponse des participants. La Figure 17 présente une capture d'écran du didacticiel.

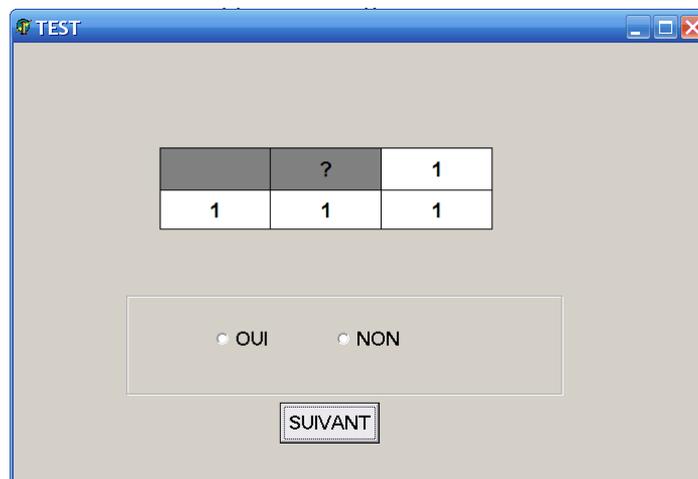


Figure 17 : Situation de passation (problème n° 3)

Des pré-tests ont été effectués avant de présenter la version définitive du didacticiel. L'aspect graphique, la facilité d'utilisation, l'optimisation de l'enregistrement, la souplesse sont autant de critères qui ont conduit à cette version définitive. Le code de programmation de l'expérience n°6 est présenté en annexes pour exemple (cf. annexes n°2).

Les problèmes

Présentation :

Les problèmes sont donc issus du jeu du Démineur© présenté plus haut. Cependant, ils ont subi plusieurs modifications depuis leur extraction du jeu en lui-même. La situation de problème est minimisée. Cela se traduit visuellement par des problèmes comprenant peu de cases (découvertes avec un indice chiffré ou non découvertes) et aucune case

vide, des situations en bord de grille ou en coin. Le participant est ainsi centré sur un questionnement unique. De plus, les problèmes sont centrés sur des situations équivoques d'implication. C'est-à-dire que dans chaque problème, toutes les mines peuvent être positionnées avec certitude. Chaque mine est soit sous une case soit sous une autre. Le participant peut découvrir son emplacement à l'aide des indices chiffrés.

Les problèmes sont au nombre de 42. Trente sont principalement utilisés dans les expérimentations. Leurs bordures signalent la limitation de la grille et délimitent la situation de problème. Les cases grisées sont des cases non découvertes. Elles peuvent contenir une mine, un chiffre ou rien. Les cases blanches sont des cases découvertes. Elles contiennent toujours un chiffre. Cependant celui-ci peut être remplacé par un 'x' ; afin de minimiser l'information. Les points d'interrogation représentent la case pour laquelle la question est posée au participant.

La tâche consiste pour le participant à décider si une mine se trouve sous une case prédéterminée. Cette case étant marquée d'un point d'interrogation, la question posée aux participants est la suivante.

« *Y-a-t-il une mine sous le point d'interrogation ?* ».

Les problèmes peuvent être catégorisés en fonction du raisonnement en jeu dans leur résolution : soit ils ne sont qu'une simple application de la règle du jeu, soit un chiffre implique la réponse ou l'exclue (implication) soit il s'agit d'une conjonction d'implication (c'est à dire qu'il y a plusieurs implications à prendre en compte, plusieurs indices chiffrés).

Par exemple, dans la Figure 18, le 1_f implique la présence d'une mine dans la case _b. Cette affirmation découle de la règle du jeu du Démineur© présentée plus haut. De plus, le 1_e exclue la présence d'une mine dans la case marquée du point d'interrogation. En effet, le 1_e est déjà 'pris' par la mine contenue dans la case _b. Il ne peut indiquer une autre mine puisqu'il n'indique qu'une mine. Aucune autre mine ne peut être présente dans les cases adjacentes au 1_e que celle de la case _b dont on connaît déjà l'existence. Le 1_e exclut donc la présence de mine dans la case marquée d'un point d'interrogation. Le participant devra donc répondre non pour ce problème.

a ?	1	1 _f
1 _e	b	1

Figure 18 : Situation d'implication

Les problèmes suivent un ordre croissant de difficulté. La difficulté des problèmes est définie a priori par : le nombre de mines dans l'espace de problème, la valeur des chiffres présentés, la disposition des mines et des indices chiffrés. Nous pouvons hiérarchiser cette difficulté sur trois niveaux : la compréhension et l'utilisation de la règle d'implication produite par la présence de tel ou tel chiffre ; la gestion de la combinaison de plusieurs implications et enfin la génération de règles d'inférences

gérant des situations complexes et identifiables. La difficulté des problèmes est vérifiée par une régression significative ($F(1, 23) = 21.960, p < .001$).

La totalité des problèmes est présentée en annexes (cf. annexe n°.1) mais les Figures 19, 20, 21 présentent trois problèmes de niveaux différents.

La Figure 19 présente un problème simple dans lequel tous les '1' indique qu'une mine se trouve sous le point d'interrogation.

?	1
1	1

Figure 19 : Problème simple d'application de la règle du jeu

La Figure 20 présente un problème d'implication où les '1' de droite impliquent qu'une mine soit présente sous le point d'interrogation.

	?	1
1	1	1

Figure 20 : Problème avec situation d'implication

La Figure 21 présente un problème d'implication réciproque. Il dispose d'un 'x'. Celui-ci remplace un chiffre n'importe lequel. L'utilisation du 'x' permet de minimiser l'information. Le '2' implique la présence de deux mines parmi les trois cases, le '1' implique la présence d'une seule mine parmi les deux cases de droite : il y a donc forcément une mine sous le point d'interrogation

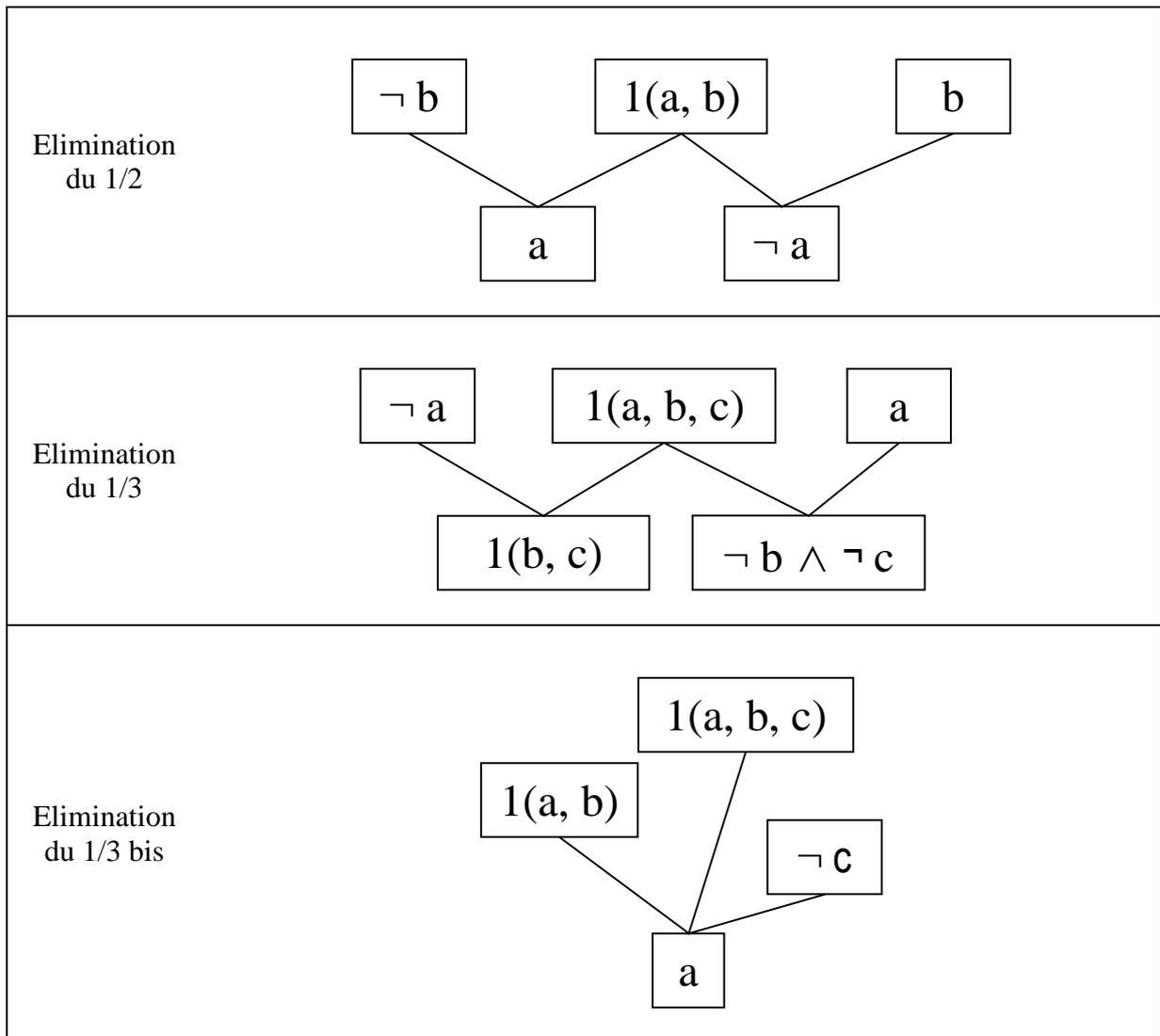
?		
x	2	1

Figure 21 : Problème d'implication réciproque

Les schémas de résolution

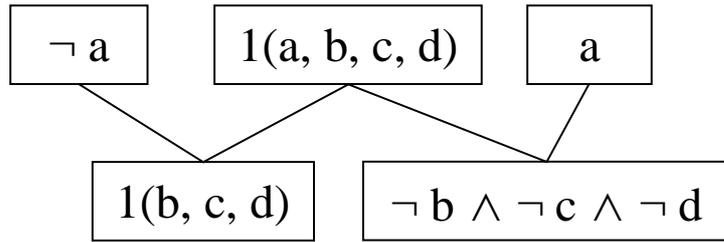
Les raisonnements en jeu dans la résolution des problèmes peuvent être schématisés. Nous parlons alors de schémas de résolution pour définir les règles permettant de résoudre les problèmes. Ils sont symétriques et hiérarchisés en fonction de leur complexité. Chaque règle est schématisée en termes de soustraction d'espaces. Un

chiffre définit un espace : par exemple, il y a une mine parmi ces deux cases ; un autre chiffre ajoute de l'information et permet de réduire l'espace possible de situation de la mine. Toutes les règles de résolution sont construites autour de la soustraction des espaces. Pour chaque règle évoquée nous pouvons observer une soustraction des espaces disponibles. Par exemple : 'il y a une mine parmi deux cases' et 'il y a une mine parmi trois cases' = une case est exclue ; $1(a, b) \wedge 1(a, b, c) = \neg c$. Il y a bien, ici, une soustraction de l'espace de problème : $(a, b, c) - (a, b) = \neg c$. La Figure 22 présente l'ensemble des schémas de résolution²⁵.

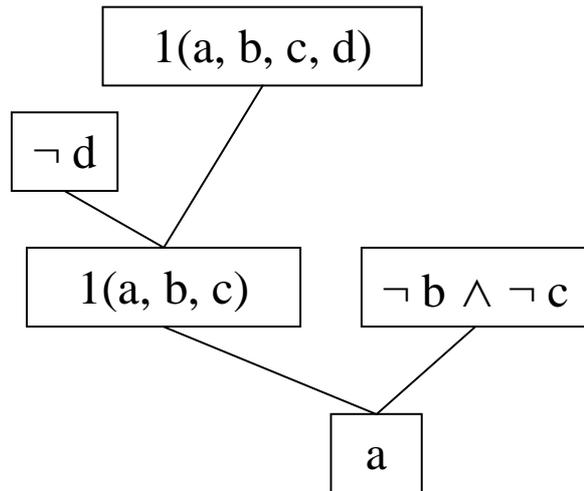


²⁵ Le '¬' exprime le 'non'. Le '∧' exprime le 'et'.

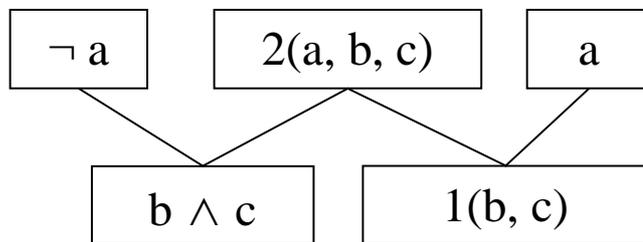
Elimination
du 1/4



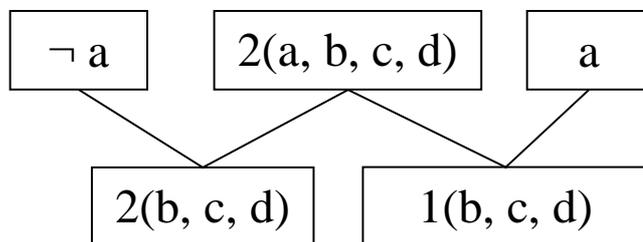
Elimination
du 1/4 bis



Elimination
du 2/3



Elimination
du 2/4



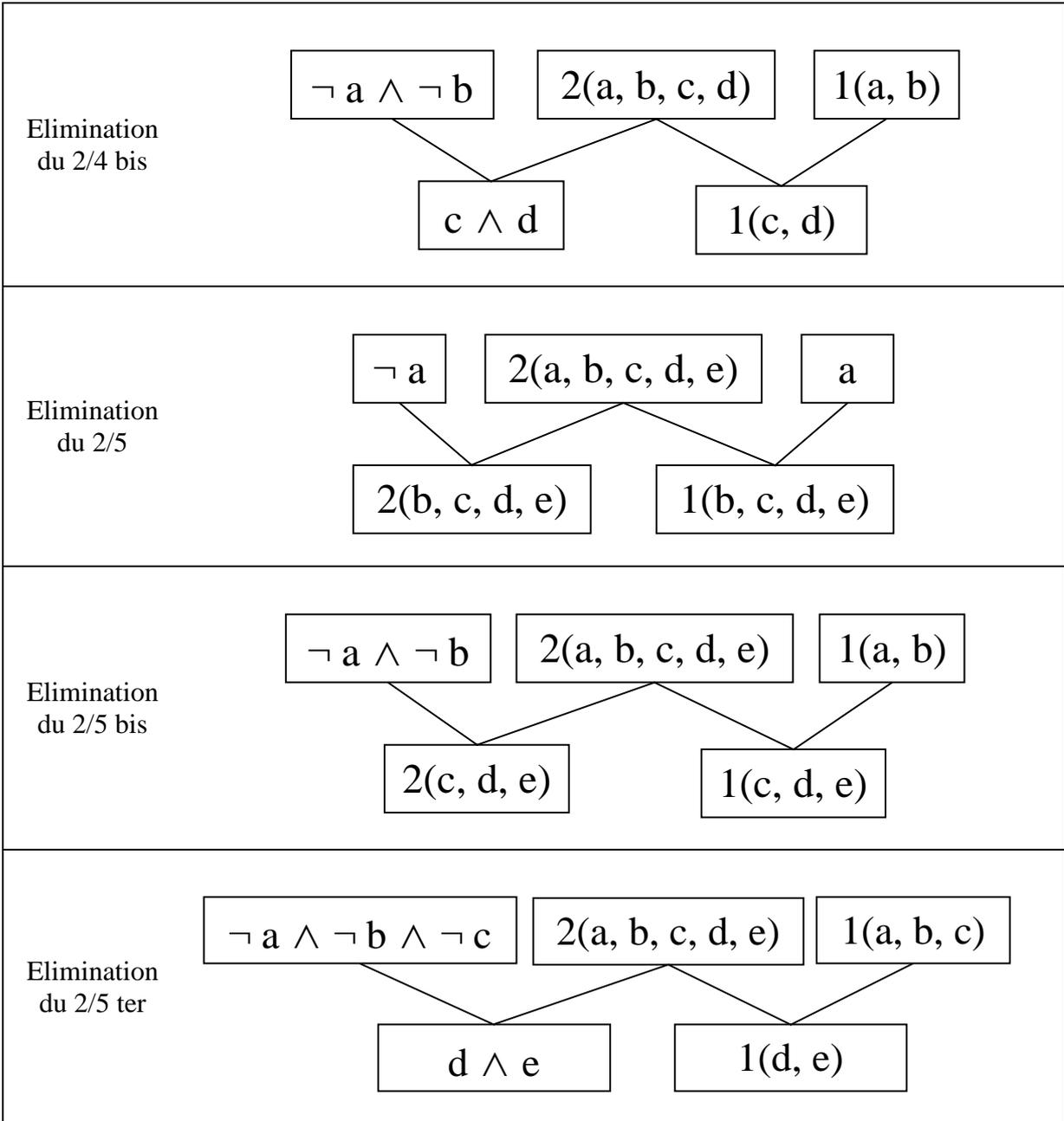


Figure 22 : Schémas de résolution des problèmes utilisés

Chapitre 5 : Impact des traits de surface sur le transfert par l'analyse des mouvements oculaires

Nous faisons l'hypothèse qu'un mode d'instruction qui favorise l'élaboration de connaissances abstraites et structurées en schémas est celui qui incite les participants à utiliser un processus de résolution analogique basé sur la comparaison des problèmes. Afin de le vérifier, nous testons dans ce chapitre, l'hypothèse spécifique selon laquelle la variabilité serait une caractéristique de ce mode d'instruction optimum.

L'expérience que nous présentons dans ce chapitre utilise l'analyse des mouvements oculaires pour explorer les processus de résolution des participants et tester l'impact de la variabilité des traits de surface des problèmes sur ceux-ci.

5.1. Introduction

La première hypothèse spécifique que nous testons découle des travaux sur l'interférence contextuelle (Shea & Morgan, 1979 ; Lee & Magill, 1983), et pose qu'un mode d'instruction intégrant de la variabilité favorise l'élaboration de schémas généraux puisque ce mode d'organisation de la tâche incite les participants à comparer les problèmes et à extraire une structure commune.

Les connaissances élaborées lors de la phase d'apprentissage sont le plus souvent évaluées à partir de problèmes de transfert. Ces problèmes sont proposés après la phase d'apprentissage à tous les participants quel que soit le mode d'instruction auquel ils ont été confrontés. Ils permettent d'évaluer à travers leur réussite et/ou le temps de réponse le niveau de compétences des participants. La réussite des problèmes de transfert suggère que des connaissances ont été élaborées lors de la phase d'apprentissage, c'est à dire lors de la résolution des problèmes sources. Cette approche est sous-tendue par la notion de transfert. Ce mécanisme permet d'utiliser la solution d'un problème analogue, stockée en mémoire, pour résoudre le problème rencontré. Largement étudié en tant que tel, il exige une recontextualisation des schémas (Richard, 1990). Celle-ci serait fortement dépendante de la représentation qui est faite du problème (Kotovsky & Fallside, 1989) et des traits de surface des problèmes (Holyoak & Koh, 1987 ; Ross, 1984, 1987). Reed, Ernst et Banerji (1974) observent que le transfert entre deux problèmes proches (le problème des missionnaires et des cannibales et celui des maris jaloux) a lieu uniquement si les participants ont à résoudre celui des maris jaloux en premier et qu'ils sont explicitement informés du lien entre les deux problèmes. Gick et Holyoak (1980) montrent, quant à eux, que l'utilisation de la solution du problème de la tumeur pour résoudre le problème de la forteresse décline lorsque les participants ne disposent pas d'indices pour les y aider. Dans leur étude, Gick et Paterson (1992) examinent l'effet d'un troisième exemple (problème contraste de non convergence) sur l'acquisition d'un schéma de résolution et sur le transfert de la solution à un nouveau problème. L'utilisation de ce troisième problème facilite l'acquisition de schémas ainsi que le transfert de la solution. Cependant lorsque les éléments superficiels du troisième exemple diffèrent des deux autres problèmes, l'effet de facilitation et de transfert n'étaient pas observés.

Reed, Dempster et Ettinger (1985) étudient le transfert à travers quatre expériences. Ils s'interrogent sur la manière dont des étudiants peuvent utiliser les solutions de divers problèmes pour résoudre de nouveaux problèmes (problèmes d'algèbre). Dans chaque expérience, les participants résolvent tout d'abord un premier problème source puis deux problèmes tests. La solution du problème source leur est présentée avant les problèmes tests. Le problème source est soit en lien avec les problèmes tests (groupe expérimental) soit sans lien (groupe contrôle). Pour le groupe expérimental, un des problèmes test est équivalent au premier problème (il peut être résolu exactement de la même manière), l'autre est similaire (il requiert une légère modification de la procédure pour être résolu). Le groupe contrôle étudie les mêmes problèmes tests. Dans la première expérience, les participants du groupe contrôle et du groupe expérimental ne diffèrent pas significativement dans leur habilité à résoudre les problèmes tests qu'ils soient équivalents ou similaires. Cependant, le groupe expérimental produit davantage

de bonnes équations que l'autre groupe [29% vs 10%]. Les deux groupes réussissent davantage les problèmes équivalents que les problèmes similaires. Les auteurs font l'hypothèse que le faible niveau de performance du groupe qui a travaillé dans un premier temps sur un problème du même domaine par rapport à celui du groupe qui a travaillé sur un problème sans lien, est dû à la difficulté pour les participants de se rappeler la solution. La seconde expérience teste cette hypothèse. Lorsque les participants ont accès à la solution du premier problème, ils produisent plus de réponses correctes que lorsqu'ils n'y ont pas accès (38% vs 18%) pour les problèmes équivalents. Il n'y a pas de différences pour les problèmes similaires. Les auteurs font alors l'hypothèse que c'est l'abstraction de la solution qui pose problème aux participants. L'expérience 3 introduit une présentation détaillée de la solution. Ceci permet au groupe expérimental de produire davantage de bonnes réponses que le groupe contrôle (56% vs 17%) pour les problèmes équivalents. Les performances pour les problèmes similaires restent faibles et identiques pour les deux groupes. Les participants n'arrivent pas à produire la bonne équation. Les auteurs testent un dernier facteur pouvant expliciter ces résultats dans l'expérience 4 : la complexité des problèmes. Comme pour les expériences précédentes, le premier problème est soit sans lien (groupe contrôle) soit relié aux problèmes tests. Il est également soit complexe soit simple. Que le premier problème soit simple ou complexe, les participants qui ont pratiqué le problème en lien ont de meilleurs résultats que le groupe contrôle. Les participants ayant pratiqué le problème complexe produisent encore davantage de bonnes réponses (57% vs 36% vs 11%) pour le problème simple. Mais moins pour le problème complexe (17% vs 46% vs 6%). Les participants confrontés au premier problème simple réussissent mieux le problème simple ; les participants qui ont été confrontés au premier problème complexe réussissent mieux le problème complexe. Les résultats suggèrent que c'est pour abstraire l'équation à utiliser pour résoudre les problèmes que les participants rencontrent des difficultés. Lorsque la solution est présente (Expérience 2) ou lorsqu'une présentation détaillée de la solution est introduite (Expérience 3) ou bien lorsque le niveau de difficulté des problèmes est équivalent (Expérience 4), les performances augmentent. Nous pouvons conclure de ces résultats que c'est le mode d'instruction utilisé dans ces expériences qui influence le transfert puisqu'il conduit plus ou moins les participants à abstraire l'équation. La résolution des problèmes dans la première phase influence la réussite des nouveaux problèmes. Selon cette expérience, les participants résolvent davantage les nouveaux problèmes s'ils ont extrait un schéma suffisamment abstrait du ou des problèmes sources. La qualité de ce schéma déterminant la réussite du transfert de la solution. Cette qualité semble être influencée par le mode d'instruction utilisé (présentation de la solution, contrôle du niveau de difficulté). Cette influence pouvant se situer à plusieurs niveaux (organisation de la tâche, structure des problèmes, traits de surface).

Holyoak et Koh (1987) ont notamment montré qu'une similarité visuelle entre les problèmes sources favorise la réussite de problèmes de transfert ; tout comme dans l'expérience de Reed, Dempster et Ettinger (1985), dans laquelle les participants résolvent plus facilement les problèmes de transfert équivalents. Tandis que, selon Lee et Magill (1983) et le courant des interférences contextuelles, c'est la variabilité qui favorise la richesse des schémas et la réussite des problèmes de transfert.

Notre objectif est ici d'évaluer plus précisément l'influence des similarités visuelles sur l'élaboration de schémas abstraits de résolution à l'aide de l'analyse des mouvements oculaires des participants.

L'analyse des mouvements oculaires est une technique innovante aujourd'hui mise à disposition de la psychologie. Utilisée dans l'analyse des raisonnements (Boucheix & Lowe, 2009), l'étude de l'apprentissage (Mayer, 2009), la compréhension de l'expertise (Tai, Loehr & Brigham, 2006 ; Baccino & Draï-Zerbib, 2005 ; Strahm & Baccino, 2006) ainsi que dans le domaine de la perception (Spering, Gegenfurtner & Kerzel, 2006), cette méthode permet de recueillir des indices de l'activité du participant au cours de la résolution de problèmes.

Dans cette expérience, nous étudions l'impact des traits de surface de problèmes sources : visuellement équivalents ou visuellement différents, sur la réussite de deux problèmes tests (un équivalent, un différent). La présentation des problèmes test est accompagnée de la présentation des problèmes d'apprentissage. Dans la poursuite des travaux présentés portant sur l'interférence contextuelle (Shea & Morgan, 1979 ; Lee & Magill, 1983), nous faisons l'hypothèse que les participants confrontés aux problèmes sources visuellement différents (condition 'différent') vont, en comparant les différents problèmes sources, extraire un schéma de résolution contrairement aux participants confrontés aux problèmes sources visuellement similaires (condition 'équivalent'). Ils ressentiront moins le besoin de consulter à nouveau les problèmes sources lors de la résolution des problèmes tests. A l'inverse, les participants confrontés aux problèmes sources visuellement similaires seront moins enclin à extraire un schéma de résolution abstrait. Ils auront donc davantage besoin de se référer aux problèmes sources lors de la résolution des problèmes tests. Nous faisons l'hypothèse que les participants de la condition 'différent' soumis à la variabilité visuelle auront extrait le schéma de résolution et se référeront moins aux problèmes de la première phase avant de résoudre les problèmes tests que les participants de la condition 'équivalent'.

5.2. Méthode

5.2.1. Participants

38 volontaires (dont huit garçons), étudiants à l'Université de Bourgogne, ont participé à cette expérience (âge moyen 20 ans et 5 mois ; écart type 13 mois). Ils sont répartis aléatoirement entre deux conditions expérimentales (un participant de la condition 'équivalent' est éliminé car son pattern oculométrique est incomplet).

5.2.2. Matériel

Huit problèmes ont été utilisés dans la phase d'apprentissage (quatre visuellement équivalents pour la condition 'équivalent' et quatre visuellement différents pour la

condition 'similaire) et deux pour la phase test (un équivalent et un différent - identiques pour les deux conditions). Les deux problèmes tests, comme les huit problèmes d'apprentissage, se résolvent grâce à la même règle de résolution. Les problèmes peuvent être résolus à partir de la règle suivante : *lorsqu'il y a un '2' et un '1' côte à côte, il y a forcément une mine sous la case non adjacente au '1'*. Pour chaque problème, les participants doivent décider s'ils sont sûrs qu'une mine est dissimulée sous le point d'interrogation. Nous attendons une réponse positive pour la moitié des problèmes, une réponse négative pour l'autre moitié. La Figure 23 présente les quatre problèmes d'apprentissage équivalents.

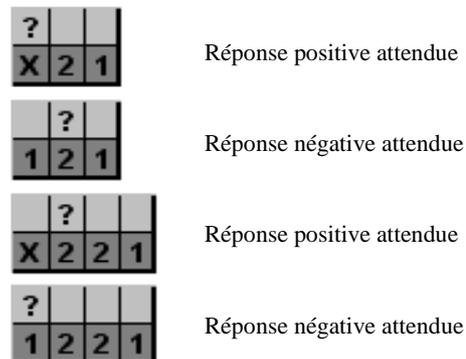


Figure 23 : Problèmes visuellement équivalents

La Figure 24 présente les quatre problèmes d'apprentissage visuellement différents.

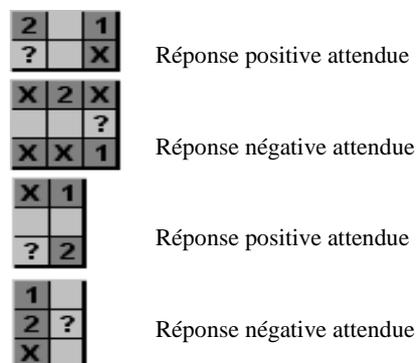


Figure 24 : Problèmes visuellement différents

La Figure 25 présente les deux problèmes tests.

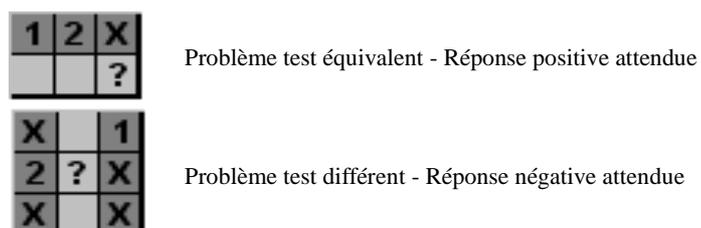


Figure 25 : Problèmes tests (équivalent - différent)

5.2.3. Appareillage

L'appareillage oculométrique utilisé est un Tobbi 1750 mis à disposition par le laboratoire de psychologie de l'Université de Bourgogne. Cet oculomètre utilise la technique du reflet cornéen ; c'est à dire qu'une lumière infrarouge est envoyée au centre de la pupille de l'œil du sujet, son reflet est renvoyé par la cornée puis détecté par l'appareil. L'appareillage fonctionne avec deux caméras fixées sous l'écran qui permettent un enregistrement à 60Hz (toutes les 17 ms environ). Cet appareillage permet une correction des mouvements de la tête ce qui offre un recueil de données fiables. L'enregistrement est précédé d'un calibrage en neuf points de références. Le matériel expérimental est affiché sur un écran de 17 pouces (en 1200 x 1024 pixels). Ce type d'appareillage possède des contraintes physiques réduites ce qui permet un recueil de données dans des conditions expérimentales proches de situations de résolution de problèmes sur ordinateur.

5.2.4. Procédure

Cette expérience se déroule en deux phases. Dans une première phase (apprentissage), les participants sont confrontés aux problèmes sources, un par un, dans le même ordre pour tous. Les problèmes sont soit visuellement équivalents soit visuellement différents en fonction de la condition expérimentale. Dans une deuxième phase, les participants sont confrontés aux deux problèmes tests, un par un, de manière contrebalancée. Les participants ont dans cette phase un accès visuel aux quatre premiers problèmes auxquels ils ont été confrontés dans la première phase. Le tableau V résume la procédure expérimentale.

Tableau V : Description de la procédure expérimentale

Conditions expérimentales	Condition 'équivalent'		Condition 'différent'	
	Groupe 1	Groupe 3	Groupe 2	Groupe 4
Groupes expérimentaux				
Phase 1	Quatre problèmes visuellement équivalents		Quatre problèmes visuellement différents	
	Un par un - même ordre pour tous		Un par un - même ordre pour tous	
Phase 2	Problème test équivalent	Problème test différent	Problème test équivalent	Problème test différent
	Problème test différent	Problème test équivalent	Problème test différent	Problème test équivalent

Note : Les participants sont répartis en quatre groupes :

le groupe 1 rencontre les problèmes visuellement équivalents dans la première phase et le problème test équivalent en premier ;

le groupe 2 rencontre les problèmes visuellement différents dans la première phase et le problème test équivalent en premier ;

le groupe 3 rencontre les problèmes visuellement équivalents dans la première phase et le problème test différent en premier ;

le groupe 4 rencontre les problèmes visuellement différents dans la première phase et le problème test différent en premier.

Dans la phase d'apprentissage et dans la phase test, nous demandons aux participants de cliquer sur oui s'ils sont sûrs qu'une mine se trouve sous le point d'interrogation. La Figure 26 présente un exemple de présentation d'un problème source.

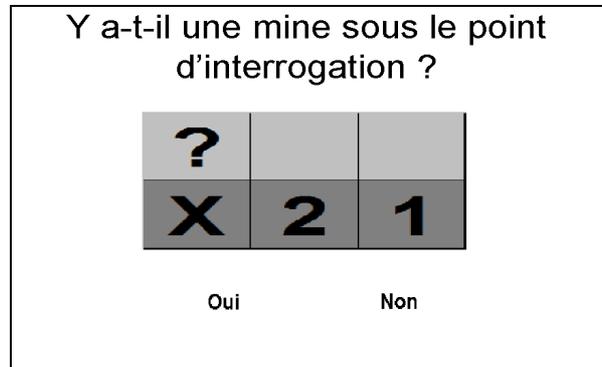


Figure 26 : Exemple de la présentation d'un problème source (problème n°1 - condition 'équivalent')

Nous enregistrons la réponse des participants ainsi que leurs mouvements oculaires (Figure 27).

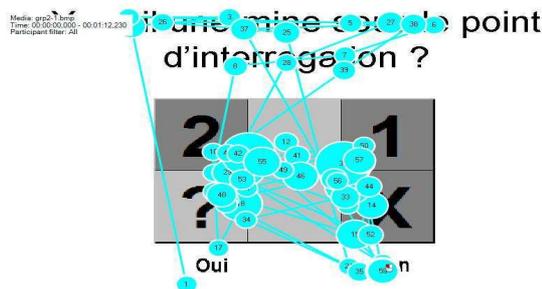


Figure 27 : Exemple d'un protocole de fixation pour un problème d'apprentissage. Les points représentent les fixations oculaires. Les chiffres la durée de la fixation en millisecondes. Les traits de couleur correspondent aux transitions oculaires.

La phase test débute juste après la présentation du quatrième problème d'apprentissage. La consigne est rappelée aux participants. Puis, les deux problèmes tests sont présentés un par un. Le visuel des problèmes d'apprentissage est joint (Figure 28).

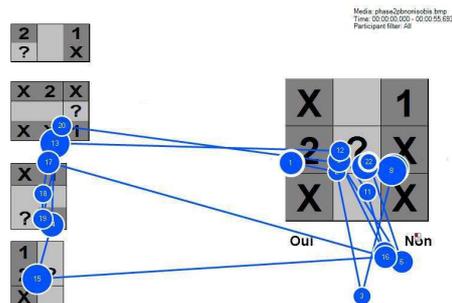


Figure 28 : Exemple de protocole individuel pour un problème test. Les points représentent les fixations oculaires ; Les chiffres, la durée de la fixation en millisecondes. Les traits de couleur correspondent aux transitions oculaires.

5.3. Résultats

5.3.1. Analyse des performances

► Comme le montre le Tableau VI, quelle que soit la condition expérimentale, davantage de participants réussissent le problème équivalent. En moyenne 73% des participants réussissent le problème équivalent vs 38.5% des participants réussissent le problème différent ($t(36) = 2.52, p < .016$).

Tableau VI : Pourcentage de participants ayant réussi les problèmes tests par condition et en fonction du problème.

Conditions expérimentales	Equivalent		Différent	
	Problème équivalent	Problème différent	Problème équivalent	Problème différent
Pourcentage de participants résolvant le problème	72 %	45 %	74 %	32 %

Nous n'observons pas de différence de réussite aux problèmes tests en fonction de l'apprentissage (17 participants dans chaque groupe réussissent au moins un problème test). D'autre part, très peu de participants réussissent les deux problèmes tests (cinq dans la condition 'équivalent' ; six dans la condition 'différent').

► L'indice utilisé pour évaluer la performance des participants est le niveau de réussite. Il correspond au nombre de problèmes réussis divisé par le nombre de problèmes rencontrés. La Figure 29 présente les niveaux de réussite aux problèmes d'apprentissage

et aux problèmes tests des deux groupes. Les résultats ne montrent pas de différences significatives entre les deux groupes (tous problèmes confondus), ce qui atteste de l'équivalence des groupes. Il n'y a pas d'écarts de niveaux entre les participants de ces deux groupes. Les résultats ne montrent pas non plus de différences entre les niveaux de réussite aux problèmes en fonction de leur type (apprentissage ou test) ce qui atteste de l'équivalence de difficulté des problèmes tests par rapport à ceux de la phase d'apprentissage.

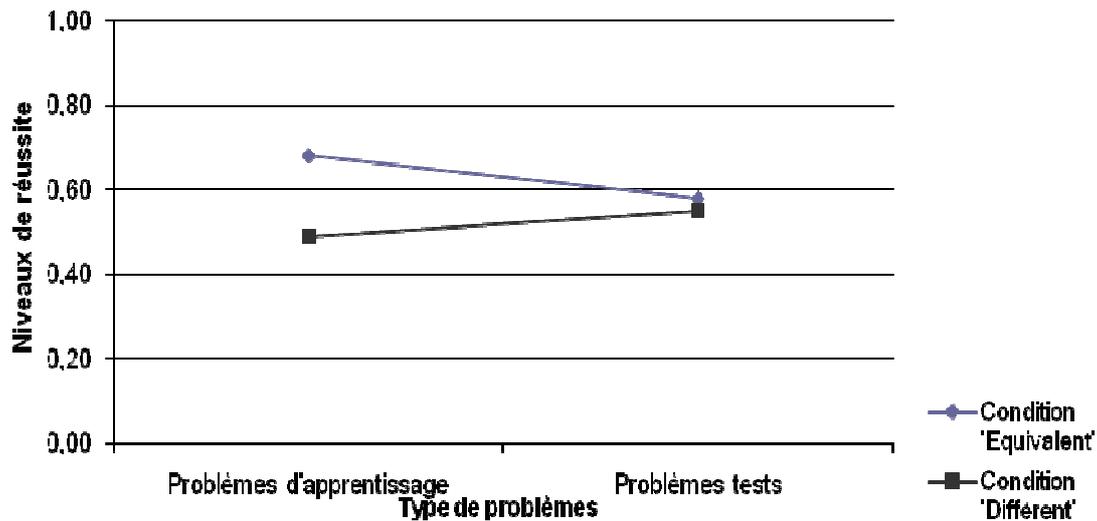


Figure 29 : Niveaux de réussite aux problèmes d'apprentissage et aux problèmes tests en fonction de l'apprentissage reçu.

Les participants du groupe 'équivalent' présentent un niveau de réussite moyen plus élevé pour les problèmes d'apprentissage que les participants du groupe 'différent' ($F(1, 35) = 5.0375, p < .031$). Les problèmes visuellement équivalents sont davantage résolus par les participants que les problèmes visuellement différents.

► La Figure 30 présente les niveaux de réussite moyens par problèmes et par condition en fonction du type de problèmes. Les performances des participants sont équivalentes quel que soit le problème d'apprentissage dans la condition 'équivalent' ($F(3, 51) = .768, ns$) ce qui confirme l'équivalence intra-groupes des problèmes en terme de difficulté pour cette condition.

Nous observons une différence de réussite aux problèmes d'apprentissage pour la condition 'différent' ($F(3, 54) = 2.94, p < .041$). Le problème visuellement différent 4 est fortement échoué (20% de réussite en moyenne vs 58% pour les autres problèmes d'apprentissage visuellement différents). Ces résultats peuvent expliciter ceux observés ci-dessus (Figure 30). Le problème visuellement différent 4 pénalise une majorité de participants de la condition 'différent'. Il semble plus difficile que les autres.

Nos résultats montrent également une différence significative de réussite entre le problème test équivalent et le problème test différent les deux conditions confondues ($F(1, 36) = 6.337, p < .016$), pas de différence significative pour la condition 'équivalent'

($F(1,17) = 2.03, ns$); et une différence significative de réussite entre le problème 'équivalent' et le problème 'différent' pour la condition 'différent' ($F(1,18) = 4.45, p < .049$). Le problème 'différent' est moins bien résolu que le problème 'équivalent' (40% vs 72%). Le visuel du problème 'différent' semble augmenter la difficulté de ce problème; les deux problèmes, comme les huit problèmes d'apprentissage, se résolvant pourtant grâce à la même règle de résolution.

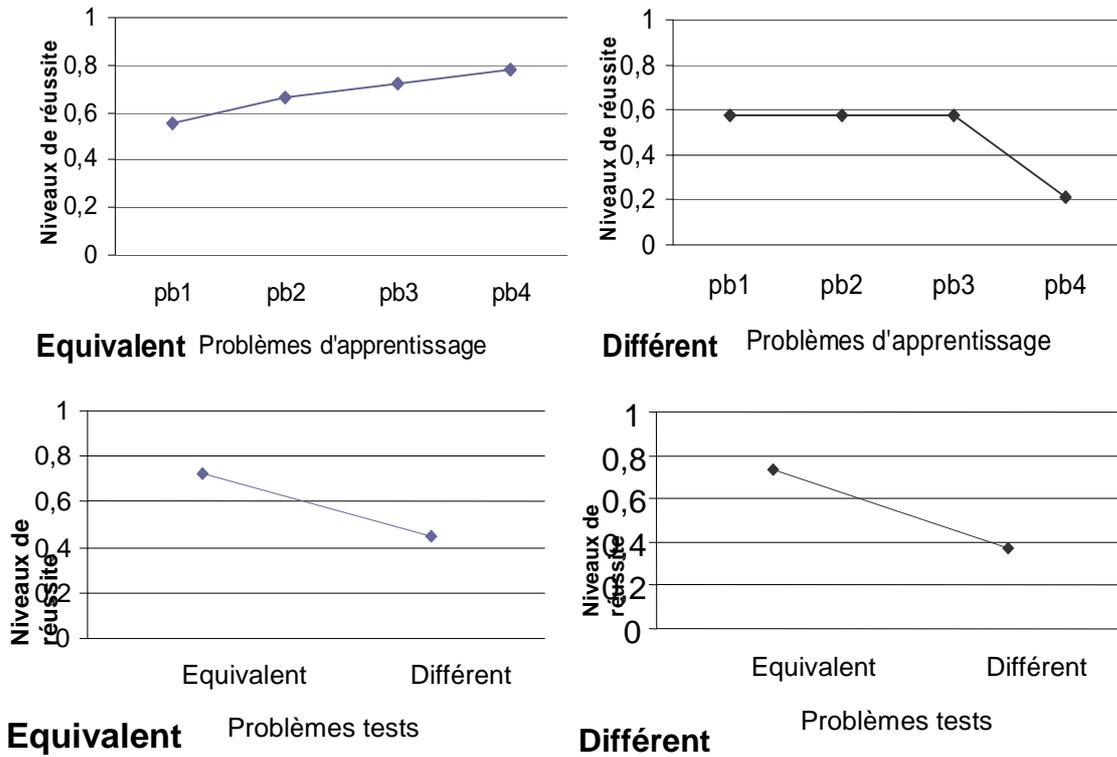


Figure 30 : Niveaux de réussite aux différents problèmes par condition et type de problèmes

Les performances des deux conditions sont similaires. Au niveau des problèmes de transfert, le problème test différent semble plus difficile à résoudre pour l'ensemble des participants et plus particulièrement pour ceux de la condition 'différent'.

5.3.2. Analyses des mouvements oculaires

Afin d'examiner l'hypothèse que nous avons formulée sur la consultation des problèmes déjà rencontrés lors de la résolution des problèmes tests, nous avons analysé les fixations oculaires des 37 participants. Nous avons étudié, d'une part, le nombre de fixations et leur durée dans la zone de problèmes qui a été créée (Figure 31); d'autre part le nombre de transitions à l'intérieur de cette zone et entre cette zone et le problème test.

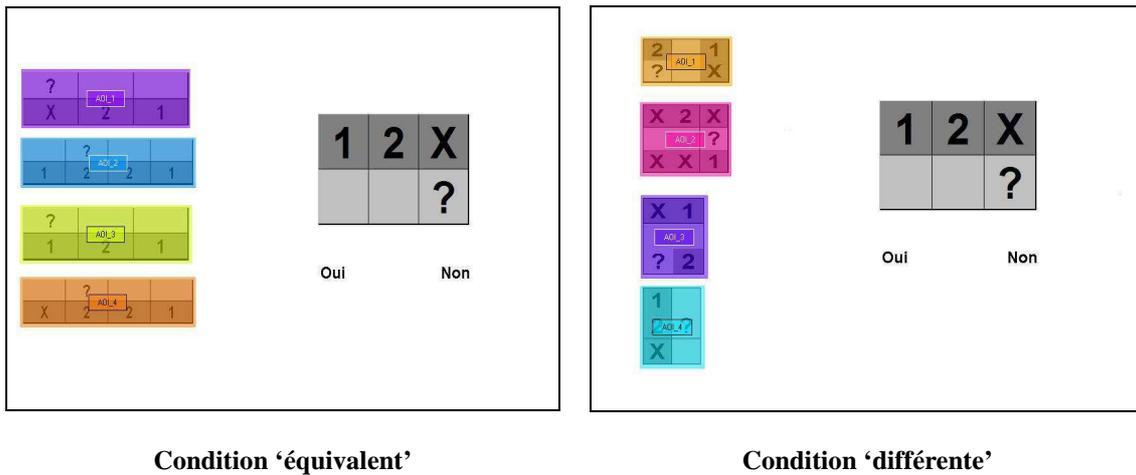


Figure 31 : Visuel de la zone de problèmes pour chaque condition. Celle-ci regroupe les quatre zones d'intérêt colorées représentant chacune un problème (condition 'équivalent' et 'différente')

Dans la Figure 31, les zones colorées correspondent aux zones d'intérêts. Celles-ci sont calquées sur les problèmes d'apprentissage. C'est l'addition des quatre zones d'intérêt qui constitue pour chaque condition la zone de problèmes.

Nombre de fixations

► Les dimensions des différentes zones d'intérêt n'étant pas égales, l'indicateur retenu n'est donc pas le nombre brut des fixations mais le rapport entre le nombre des fixations et la surface de la zone d'intérêt considérée. Il est noté 'indice de fixation'.

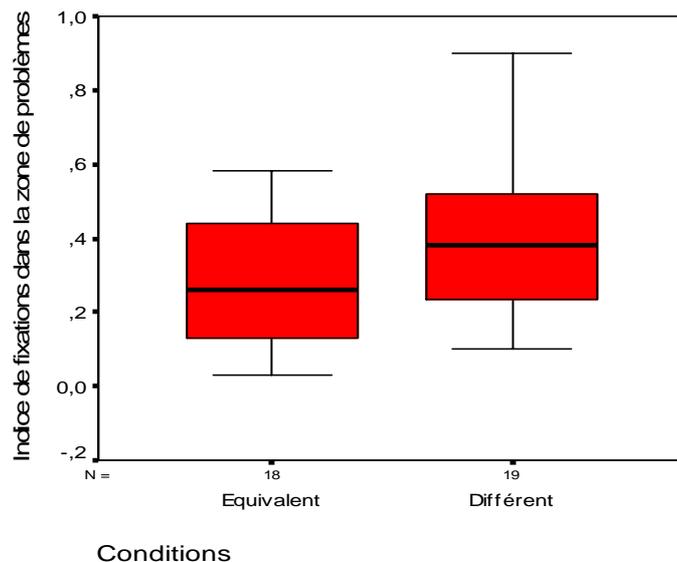


Figure 32 : Indice moyen de fixation dans la zone de problèmes par condition

Comme le montre la Figure 32, l'indice de fixation est plus élevé pour la condition 'différent (28 vs 38). Les participants de cette condition regardent significativement plus les problèmes d'apprentissage lors de la résolution des problèmes tests ($F(1, 36) = 5.098, p < .03$).

► Si nous détaillons par problème, nous observons que le facteur problème n'est pas significatif. L'indice de fixation est le même pour les deux problèmes tests ($F(1, 35) = 0.189, ns$).

Tableau VII : Indice de fixations pour la zone problème en fonction de l'apprentissage reçu et du problème test.

Conditions expérimentales	Condition 'équivalent'		Condition 'différent'	
	Problème équivalent	Problème différent	Problème équivalent	Problème différent
Indice de fixations	0.24	0.29	0.39	0.44

Les différences observées dans le Tableau VII entre les problèmes pour chaque condition ne sont pas significatives (pour la condition 'équivalent' : $t(17) = -.408, ns$; pour la condition 'différent' : $t(18) = -.254, ns$).

► Nous constatons que les fixations dans la zone de problèmes sont assez présentes. 66.5% des participants présentent au moins une fixation dans la zone de problème au cours du test. Cette fréquence (66.5%) se répartit de manière équitable entre les conditions et les problèmes (Tableau VIII).

Tableau VIII : Pourcentage de participants par condition et par problèmes présentant au moins une fixation dans la zone problème

	Condition 'équivalent'	Condition 'différent'
Problème équivalent	61 %	63 %
Problème différent	72 %	68 %

Nous observons que le nombre de participants ayant au moins une fixation dans la zone de problèmes est similaire quel que soit la condition et le problème (61% vs 72% pour la condition 'équivalent' ; 63% vs 38% dans la condition 'différent').

► Nous retrouvons cette répartition en fonction de la réussite aux problèmes tests. Quel que soit le problème et qu'il soit réussi ou non, autant de participants ont plus de trois fixations dans la zone problème (Tableau IX). Nous observons que 48% des participants

présentent plus de trois fixations dans la zone de problèmes pour le problème test équivalent lorsque celui-ci est réussi vs 60 % lorsque celui-ci est échoué et que 43% des participants présentent plus de trois fixations dans la zone de problèmes pour le problème test différent lorsque celui-ci est réussi vs 65% lorsque celui-ci est échoué.

Tableau IX : Pourcentage de participants présentant aucunes, peu ou beaucoup de fixations dans la zone de problèmes en fonction du problème et de son caractère réussi ou non. Les deux conditions sont confondues.

	Problème équivalent		Problème différent	
	Réussite	Echec	Réussite	Echec
Aucune fixation	4 %	20 %	43 %	22 %
Peu de fixations <3	8 %	20 %	14 %	13 %
Beaucoup de fixations >3	48 %	60 %	43 %	65 %

Les différences observées entre réussite et échec ne sont pas significatives ni pour le problème test équivalent ($F(1, 36) = 392$, ns) ni pour le problème test différent ($F(1, 36) = 1.761$, ns).

► Enfin, quel que soit la condition et quel que soit le problème test, davantage de participants présentent plus de trois fixations dans la zone problème pour le premier problème test qu'ils rencontrent. En moyenne, 86.5% des participants présentent plus de trois fixations dans la zone problèmes pour le premier problème vs 21.5% pour le second problème rencontré ($F(1, 33) = 84.595$, $p < .001$).

Tableau X : Pourcentage de participants ayant aucunes, peu ou beaucoup de fixations dans la zone de problèmes en fonction du groupe expérimental et du problème test rencontré.

	Condition 'équivalent'		Condition 'équivalent'		Condition 'différent'		Condition 'différent'	
	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3		Groupe 4	
	PbE	PbD	PbE	PbD	PbE	PbD	PbE	PbD
Aucunes fixations	11 %	56 %	0 %	60 %	67 %	0 %	78 %	0 %
Peu de fixations	11 %	11 %	10 %	20 %	22%	0 %	0 %	22 %
Beaucoup de fixations	78 %	33 %	90 %	20 %	11%	100 %	22 %	78 %

Note : Les groupes 1 et 2 rencontrent le problème équivalent en premier (PbE). Les groupes 3 et 4, le problème différent (PbD).

Comme nous pouvons le voir dans le Tableau X, les deux groupes rencontrant le problème test équivalent en premier ont davantage de participants présentant plus de trois fixations pour ce problème test. De manière symétrique les deux groupes rencontrant le problème test différent en premier ont davantage de participants présentant plus de trois fixations pour ce problème test.

► Si nous observons de plus près les problèmes tests. Nous pouvons isoler chaque case comme une zone d'intérêt et ainsi comptabiliser le nombre de fixations par case. Dans la Figure 33, les zones d'intérêt sont colorées.

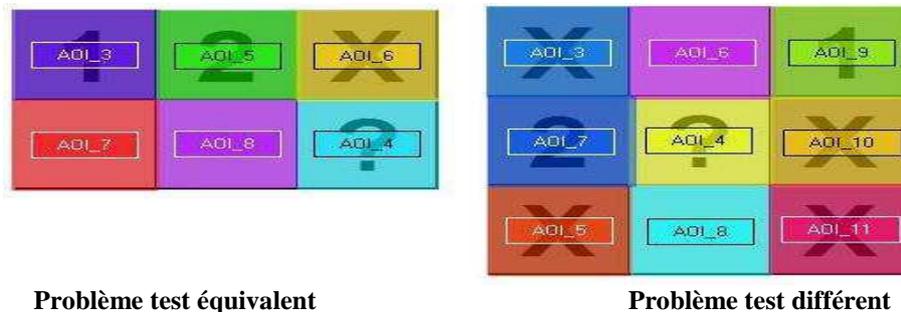


Figure 33 : Zone d'intérêt pour les deux problèmes tests. Les zones d'intérêts (colorées) correspondent aux différentes cases des problèmes.

Les participants regardent significativement²⁶ davantage la zone 5 pour le problème équivalent. Celle-ci correspond à la case contenant le chiffre 2. Celui-ci semble central dans la résolution du problème.

Pour le problème différent, c'est la zone 4 puis la zone 7 qui reçoivent significativement²⁷ le plus de fixations. La zone 4 correspond à la case contenant le point d'interrogation, la zone 7 à la case contenant le chiffre 2. Ce problème pose plus de difficulté aux participants (Figure 33)

Longueur des fixations

Afin de tester l'hypothèse que nous avons formulée sur la consultation des problèmes déjà rencontrés lors de la résolution des problèmes tests, nous relevons également la longueur des fixations dans la zone de problèmes. Les dimensions des différentes zones d'intérêt n'étant pas égales, l'indicateur retenu n'est ici pas la longueur brute des fixations mais le rapport entre cette longueur et la surface de la zone d'intérêt considérée. Il est noté 'durée de fixation'.

Comme le montre la Figure 34, la durée de fixation est plus élevée pour la condition 'différent' (0.10 vs 0.21). Les participants de cette condition regarde significativement

²⁶ Le nombre de fixations dans la zone 5 est significativement supérieur au nombre de fixations dans les autres zones ($t_{zones3-5} (36) = -6.259, p < .000$; $t_{zones4-5} (36) = -3.756, p < .001$; $t_{zones6-5} (36) = 7.629, p < .000$; $t_{zones7-5} (36) = 6.690, p < .000$; $t_{zones8-5} (36) = 2.803, p < .008$).

²⁷ Le nombre de fixations dans la zone 4 est significativement supérieur au nombre de fixations dans les autres zones ($t_{zones3-4} (36) = -5.372, p < .000$; $t_{zones5-4} (36) = 5.237, p < .000$; $t_{zones6-4} (36) = 5.587, p < .000$; $t_{zones7-4} (36) = 3.832, p < .000$; $t_{zones8-4} (36) = 5.748, p < .000$; $t_{zones9-4} (36) = 5.238, p < .000$; $t_{zones10-4} (36) = 5.107, p < .000$; $t_{zones11-4} (36) = 5.989, p < .000$).

Le nombre de fixations dans la zone 7 est supérieur au nombre de fixations dans les autres zones, à part la zone 4, ($t_{zones3-7} (36) = -4.613, p < .000$; $t_{zones5-7} (36) = -3.936, p < .000$; $t_{zones6-7} (36) = -3.457, p < .001$; $t_{zones8-7} (36) = 4.009, p < .000$; $t_{zones9-7} (36) = 2.917, p < .006$; $t_{zones10-7} (36) = 2.729, p < .010$; $t_{zones11-7} (36) = 5.311, p < .000$).

plus longtemps les problèmes d'apprentissage lors de la résolution des problèmes tests ($F(1, 36) = 6.305, p < .017$).

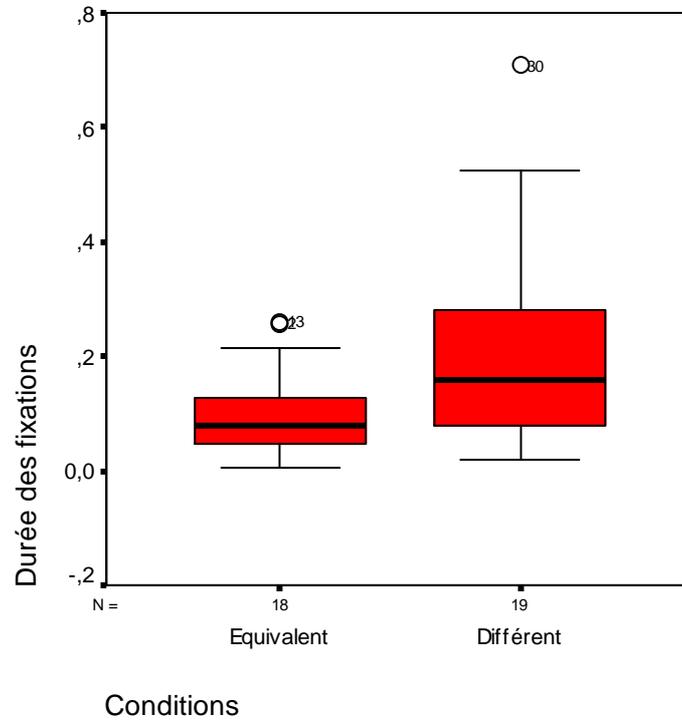


Figure 34 : Durée des fixations dans la zone de problèmes pour les deux conditions

Ces résultats appuient ceux présentés précédemment. La durée de fixation tout comme l'indice de fixation est plus importante pour la condition 'différent' c'est-à-dire pour les participants ayant eu à résoudre les problèmes d'apprentissage visuellement différents (pour la durée de fixation : 0.10 vs 0.21 ; pour l'indice de fixation : 28 vs 38)

Nombre de transitions

Le nombre de transitions correspond au nombre de mouvements oculaires à l'intérieur d'une zone donnée. La Figure 35 présente le nombre de transitions observés dans la zone problème et entre cette zone et le problème test, quel qu'il soit.

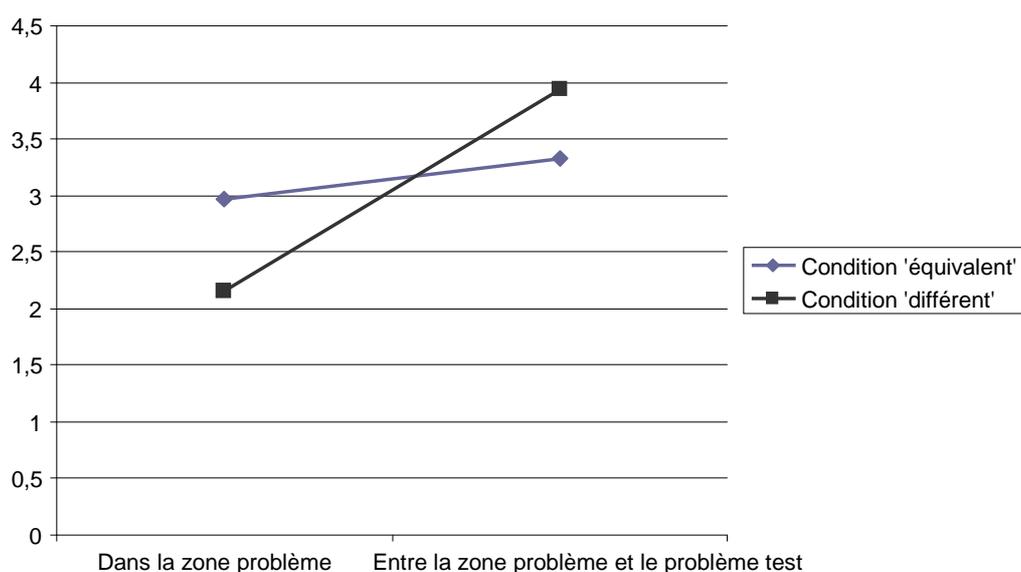


Figure 35 : Nombre de transitions dans la zone problème et entre la zone problème et le problème test par condition

L'écart constaté entre les deux conditions n'est pas significatif ($F(1, 72) = .025$, ns). Quel que soit le type d'apprentissage, les participants produisent autant de transitions. Les groupes sont donc homogènes.

Cependant, nous observons une différence significative entre le nombre de transitions dans la zone de problèmes et le nombre de transitions entre celle-ci et les problèmes tests pour la condition 'différent' ($t(37) = -3.326$, $p < .002$). Les participants de la condition 'différent' présentent davantage de transitions entre la zone de problèmes et le problème test qu'à l'intérieur de la zone de problèmes (2.16 vs 3.33).

Les participants de la condition 'différent' réalisent davantage d'allées et venues oculaires entre la zone de problèmes et le problème test, quel qu'il soit, que de balayage entre les problèmes sources de la zone problème.

Les participants de la condition 'équivalent' réalisant quant à eux 2.97 transitions à l'intérieur de la zone de problèmes et 3.3 entre celle-ci et le problème test. Cet écart est non significatif. Les participants de cette condition réalisent moins de fixations, des fixations plus courtes et également réparties entre la zone de problèmes et le problème test.

Profils de fixations

► Les participants qui réussissent les problèmes tests semblent présenter des profils d'exploration différents. Quel que soit l'apprentissage qu'ils ont reçu, ils présentent un plus faible indice de fixation (0.31 vs 0.50) et une plus faible durée de fixation (0.11 vs 0.16).

Tableau XI : Résultats moyens des participants ayant réussi les deux problèmes tests par rapport à la population totale des participants.

	Population	Participants ayant réussi les deux problèmes tests
Indice de fixation	0,50	0,31
Durée de fixation	0,16	0,11
Transitions dans zone	2,57	2,44
Transitions entre zone de problèmes et problèmes tests	3,61	2,81

Comme le montre le Tableau XII, comparés à l'ensemble des participants, les participants ayant réussi les deux problèmes tests présentent moins de fixations, plus courtes et moins de transitions mais ces différences ne sont pas significatives²⁸.

5.4. Bilan du Chapitre 5

Dans cette expérience, nous avons étudié l'impact des traits de surface de problèmes sources (visuellement équivalent ou visuellement différent) sur la réussite de deux problèmes tests (un équivalent, un différent). La présentation des problèmes tests étant accompagnée de la présentation des problèmes d'apprentissage, notre hypothèse était que les participants de la condition 'différent' auront abstrait la règle de résolution et se référeront moins aux problèmes de la première phase avant de résoudre les problèmes tests. Cette hypothèse, la variabilité favorise l'élaboration de connaissances, étant basée sur les conclusions des travaux issus du champ de l'interférence contextuelle (Shea & Morgan, 1979, notamment).

Les résultats que nous avons obtenus n'appuient pas notre hypothèse. Les participants de la condition 'différent' sont ceux qui présentent l'indice de fixation le plus élevé dans la zone de problèmes (0.42 vs 0.26). D'autre part, ils présentent une durée de fixation dans la zone de problèmes supérieure (0.22 contre 0.10) aux participants de l'autre condition. L'étude des transitions montrent que ces fixations se situent essentiellement dans un va et vient de la zone de problèmes aux problèmes tests. Enfin, le type de problèmes sources n'influence pas les performances ; quelle que soit la condition expérimentale, nous n'observons pas de différences de réussite aux problèmes tests.

Ces résultats suggèrent dans un premier temps que les différences visuelles rencontrées lors de la phase d'apprentissage n'influencent pas la réussite de nouveaux problèmes. Le transfert ne semble être ni avantaagé ni pénalisé par une similarité ou une dissimilarité visuelle. Cependant, l'analyse des mouvements oculaires montrent une différence de profil de résolution entre les deux conditions. Les participants confrontés à des

²⁸ Le faible nombre de participants ayant réussi les deux problèmes tests (11 les deux conditions confondues) peut expliquer la non significativité des résultats.

problèmes d'apprentissage visuellement différents ont davantage besoin de s'y référer pour résoudre de nouveaux problèmes que des participants confrontés à des problèmes d'apprentissage visuellement équivalents. La présentation de problèmes visuellement similaires semble inciter davantage les participants à se détacher des problèmes d'apprentissage. Ceci pourrait leur faciliter l'extraction du schéma de résolution permettant de résoudre les problèmes tests. Ces résultats vont à l'encontre des hypothèses posées par les travaux du champ de l'interférence contextuelle. Ils rejoignent les résultats des études de Holyoak et Koh (1987) et de Reed, Dempster et Ettinger (1985). Spencer et Weisberg (1986) observent que des contextes similaires peuvent favoriser l'élaboration du schéma de résolution ainsi que le transfert de celui-ci lors de la résolution d'un problème isomorphe. Leur étude n'observe pas de transfert entre les différents problèmes proposés (sources et cible) lorsque le contexte de résolution est différent. Pour eux, le transfert ne peut se faire spontanément sans aide. Mettre les participants face à des problèmes trop différents et/ou sans indication d'une similarité entre les problèmes pénalise l'élaboration d'un schéma commun de résolution. Nos résultats vont dans ce sens. Les participants soumis à des problèmes sources visuellement proches semblent davantage détachés de ceux-ci. À l'inverse, les participants confrontés aux problèmes visuellement différents semblent rester attachés aux contextes visuels des problèmes et s'y réfèrent davantage lors de la confrontation aux problèmes tests. Le nombre plus important de transitions entre la zone de problèmes et le problème test, pour cette condition, suggère que ces participants réalisent un appariement entre les problèmes sources et les problèmes cibles au lieu de chercher à extraire une règle de résolution générale à partir des problèmes sources.

Les traits de surface n'influencent pas, dans notre expérience, la réussite aux problèmes tests mais semblent favoriser lorsqu'ils sont équivalents l'élaboration d'un schéma abstrait de résolution. À l'égalité entre les deux conditions en termes de performances s'ajoute le faible niveau de réussite globale des participants ($< .60$). Celui-ci n'étant pas plus élevé pour les problèmes tests. L'apprentissage proposé ne semble pas suffisant pour favoriser la réussite des problèmes.

Chapitre 6 : mode de présentation / mode d'organisation, impact sur la réussite en résolution de problèmes

Nous avons montré dans le chapitre précédent que la similarité visuelle favoriserait l'abstraction de connaissances tout comme le suggéraient les travaux de Holyoak et Koh (1987). Cependant, cela n'influence pas la réussite des participants aux problèmes de transfert. La variabilité de visuelle des problèmes semblant induire des différences dans les performances des participants. L'introduction d'une hiérarchisation de ces problèmes en fonction de leur niveau de difficulté pourrait influencer la réussite (Gagné, 1962, 1968)

6.1. Problèmes isomorphes et mode d'organisation : introduction

D'après les travaux de Shea et Morgan (1975) et de Cheng et Mo (1993), la variabilité favorise l'élaboration de schémas de résolution. Hors, nous avons observé dans notre première expérience que la proximité visuelle semblait favoriser l'abstraction de connaissances, tout comme l'observait Holyoak et Koh (1987).

Cependant, nous n'observons pas de différences de performances en fonction de la proximité ou de la dissimilarité visuelle. Le problème test visuellement différent ayant été fortement échoué (Figure 30). Les résultats de notre expérience montraient également une différence de réussite aux problèmes d'apprentissage visuellement différents (Figure 30) alors qu'aucune différence n'était observée pour les problèmes d'apprentissage visuellement équivalents (Figure 30). La variabilité visuelle semble induire une différence de difficulté dans les problèmes.

Selon Gagné (1968) utiliser une hiérarchisation d'apprentissage favorise la réussite de problèmes complexes. Nous introduisons donc une condition hiérarchisée où nous présentons les problèmes visuellement différents selon une hiérarchie de difficulté.

Dans cette expérience, nous étudions l'impact de la variabilité des traits de surface de problèmes issus du jeu du Démineur© (visuellement équivalents ou visuellement différents) sur la réussite à des problèmes de transfert (visuellement équivalent ou visuellement différent). Nous introduisons une hiérarchisation des problèmes visuellement différents. Nous faisons l'hypothèse que cette hiérarchisation compensera la variabilité visuelle et favorisera la réussite des problèmes.

6.2. Méthode

6.2.1. Participants

75 volontaires (dont 21 garçons), étudiants à l'Université de Bourgogne, ont participé à cette deuxième expérience (âge moyen 20 ans ; écart type 9 mois). Ils sont non naïfs²⁹ et répartis aléatoirement et équitablement entre les trois conditions expérimentales.

6.2.2. Matériel

Quatorze problèmes issus du Démineur© (Figure 36) sont utilisés dans cette expérience. Six de ces problèmes sont utilisés dans la phase d'apprentissage pour la première condition, ils présentent une similitude visuelle forte avec les problèmes tests. Six autres sont utilisés dans la phase d'apprentissage pour la seconde et la troisième condition, ils ne présentent pas de similitudes visuelles avec les problèmes tests. Les deux autres

²⁹ C'est-à-dire qu'ils connaissent le jeu du Démineur© et qu'ils en maîtrisent les règles.

problèmes sont utilisés dans la seconde phase pour les trois conditions expérimentales. Ces deux problèmes sont proches visuellement entre eux et proche également des problèmes utilisés dans la première condition. Ils sont différents visuellement des problèmes utilisés dans la condition 2 et 3. Tous les problèmes utilisés dans cette expérience peuvent être résolus avec la même règle de résolution de soustraction des surfaces. Les problèmes visuellement différents sont de difficulté différente. Cette difficulté étant liée à l’habillage des problèmes.

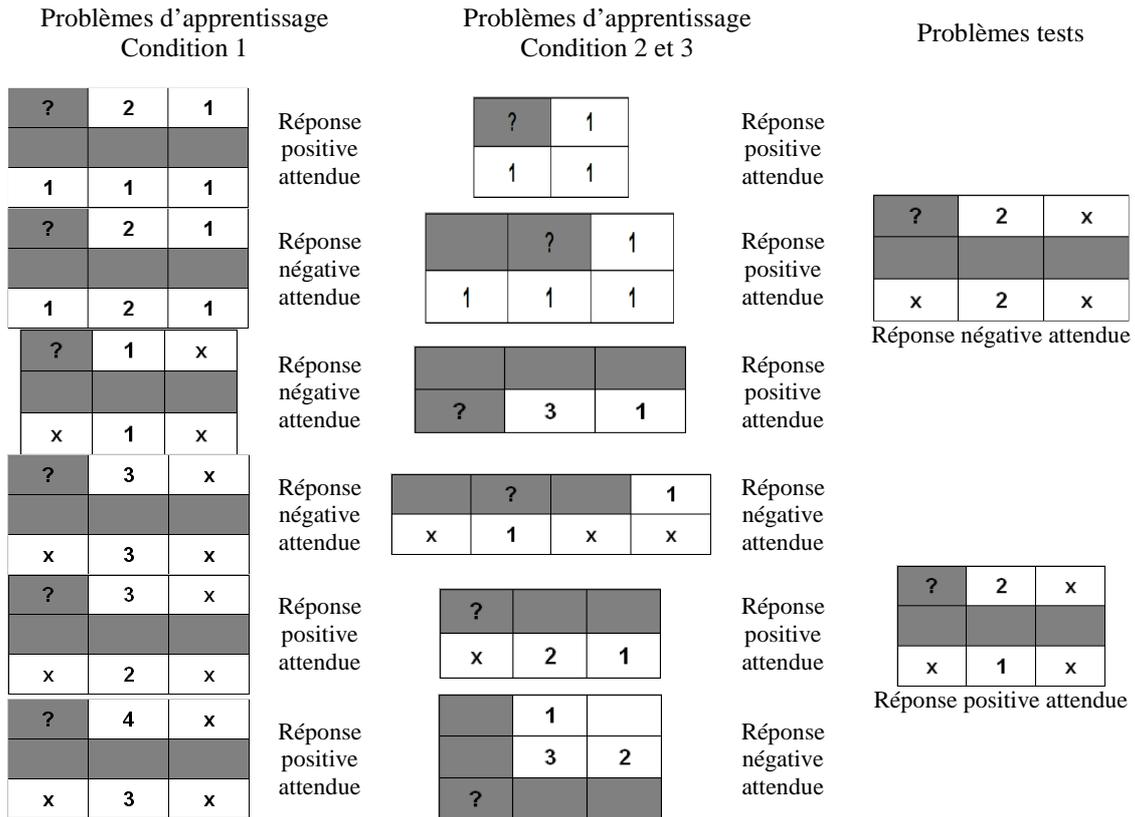


Figure 36 : Problèmes utilisés dans l'expérience n°2

Nous utilisons notre didacticiel pour présenter les problèmes aux participants. Toute l'expérience est informatisée.

6.2.3. Procédure

Phase d'apprentissage (Tableau XII) : Après explicitation de la consigne, les six premiers problèmes sont présentés un par un aux participants³⁰. Dans la première condition, les problèmes visuellement proches sont présentés aléatoirement. Dans la seconde condition, les six problèmes visuellement différents sont présentés

³⁰ Les participants ne réalisent qu'une seule condition.

aléatoirement. Dans la troisième condition, les six problèmes visuellement différents sont présentés de manière hiérarchisée, du plus facile au plus difficile.

Tableau XII : Détail de la procédure pour la phase d'apprentissage

Conditions expérimentales	Phase d'apprentissage			Phase test
	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Pour les trois conditions
Matériel utilisé	Problèmes visuellement proches	Problèmes visuellement différents	Problèmes visuellement différents	Problèmes test
Mode de présentation	Aléatoire	Aléatoire	Hiérarchisée	Aléatoire

Phase test : les deux problèmes tests sont présentés de manière contrebalancée (Tableau XII).

6.3. Résultats

La Figure 37 présente les patterns de résultats obtenus sur les problèmes tests. Pour mesurer les performances des participants nous prenons en compte leurs niveaux de réussite c'est à dire le nombre de problèmes réussis parmi les deux problèmes tests. Le niveau de réussite varie du zéro à un ('zéro' représentant l'échec aux deux problèmes tests ; 'un' la réussite aux deux problèmes tests).

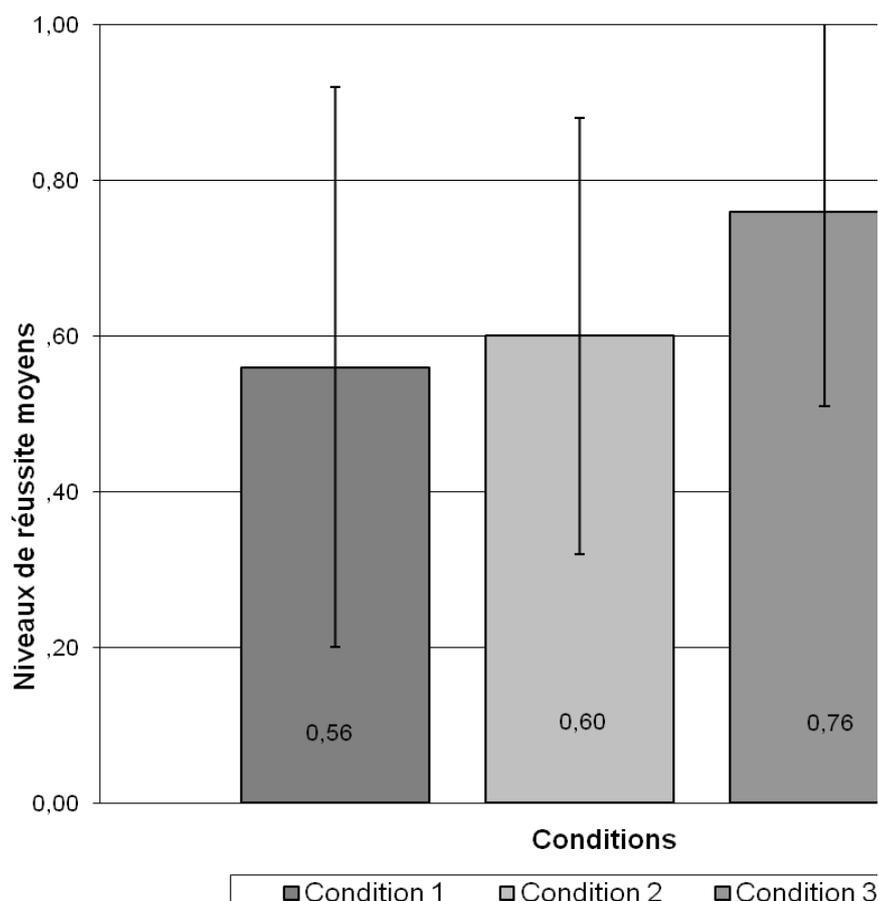


Figure 37 : Niveaux de réussite par condition

Afin d'examiner l'hypothèse de l'impact de la variabilité sur le transfert, une ANOVA a été conduite. Cette analyse indique que le niveau de réussite des participants varie significativement en fonction de la condition expérimentale ($F(2, 72) = 3.571, p < .033$). Les participants réussissent davantage les problèmes tests lorsqu'ils sont confrontés aux problèmes visuellement différents dans la première phase s'ils sont présentés de manière hiérarchisée (0.76 vs 0.60 vs 0.56).

La différence de performance entre les participants de la condition 1 et de la condition 2 est non significative ($t(48) = -.660, ns$). Les participants confrontés à des problèmes visuellement proches lors de l'apprentissage ne réussissent pas mieux les problèmes tests que les participants confrontés à des problèmes visuellement différents. La performance de la condition 3 est significativement différentes des deux autres conditions ($t(48) = -2.535, p < .015$; $t(48) = -2.077, p < .043$). Les participants confrontés aux problèmes visuellement différents de manière hiérarchisée réussissent mieux les problèmes test que les participants confrontés aux mêmes problèmes présentés de manière aléatoire. Ils réussissent également mieux que les participants confrontés à des problèmes visuellement proches lors de l'apprentissage.

Les résultats montrent l'impact positif de la hiérarchisation sur l'apprentissage. Nous n'observons pas d'effet de l'habillage des problèmes.

6.4. Discussion de l'expérience 2

Les résultats de cette expérimentation mettent en avant la prévalence de l'organisation sur le visuel des problèmes. En effet, nous n'observons pas d'effet du visuel des problèmes (pas de différences entre les conditions utilisant des problèmes visuellement équivalents et visuellement différents). Cependant, nous observons un effet de l'ordre de présentation des problèmes. Lorsque les problèmes sont présentés de manière hiérarchisée dans la phase d'apprentissage, les participants réussissent davantage les problèmes tests. L'organisation des problèmes impacte davantage la réussite que l'aspect visuel des problèmes.

Face à des problèmes présentés aléatoirement, les participants peuvent être tentés d'utiliser une stratégie de mémorisation d'exemplaire comme processus d'apprentissage qui les conduit à faire des erreurs faces aux problèmes tests. A l'inverse, avec une présentation hiérarchisée, les participants peuvent élaborer des schémas de résolution et les utiliser pour résoudre les problèmes tests. Ils obtiennent davantage de réussite aux problèmes tests. La hiérarchisation des problèmes permet de faire le lien entre les problèmes. C'est dans cette démarche que l'élaboration d'un schéma de résolution est possible (Bernardo, 1994). La proximité plus forte entre les problèmes dans ce type d'organisation favorise ce processus de résolution et donc l'élaboration de connaissances permettant de faire face aux problèmes de transfert.

Nous pouvons conclure de cette expérimentation que la réussite de nouveaux problèmes est fortement conditionnée par le mode d'organisation des problèmes dans la phase d'apprentissage, celui-ci conditionnant le processus mis en jeu lors de cette phase. Il apparaît que lorsque nous favorisons, par un mode d'organisation adapté, l'élaboration de schéma de résolution, par rapport à un processus de mémorisation d'exemplaire, nous permettons aux participants de réussir davantage de problèmes tests.

Comme nous avons pu le voir dans la première partie, si de nombreux travaux ont déjà porté sur la structuration interne des problèmes et leur lien avec les mécanismes cognitifs (e.g., Sweller et al, 2000) très peu de recherches ont porté sur les effets du mode d'organisation de plusieurs problèmes, de difficultés différents. Dans la poursuite des résultats obtenus dans l'expérience présentée précédemment, nous souhaitons confirmer l'hypothèse de l'effet positif d'un mode d'organisation particulier - un mode d'organisation hiérarchisé - sur la réussite de problèmes complexes.

La théorie de la charge cognitive (Sweller, 1988) rend compte des phénomènes de surcoûts cognitifs qui vont gêner la réussite. En situation de résolution de problèmes, la mémoire de travail ayant une capacité limitée, les apprenants doivent partager leurs ressources cognitives entre le problème à résoudre et l'extraction de règles de résolution. Sweller et Levine (1982) propose, dans cette hypothèse, de travailler à réduire le besoin de ressources pour la résolution afin de laisser davantage de ressources disponibles pour l'apprentissage.

Dans le même esprit, de Croock, van Merriënboer et Pass (1998) étudient l'impact du contexte de la tâche sur la résolution de problèmes. Les problèmes (problèmes de diagnostiques des erreurs d'un système de distillerie d'alcool) sont soit présentés de manière aléatoire (forte interférence contextuelle) soit par blocs en fonction de leur

structure (faible interférence contextuelle). Dans cette étude, les présentations comparées sont : une présentation aléatoire des problèmes et une présentation par bloc (en fonction de leurs structures) des mêmes problèmes c'est à dire ABCBCA *vs* AAABBCCC. Ils observent que face à une présentation aléatoire des problèmes (interférence importante) les participants ont besoin de plus de temps et font plus d'erreurs qu'en situation de faible interférence (présentation des problèmes de même structure par blocs). Ils répliquent ces résultats en 2007 (de Croock & van Merriënboer, 2007) en montrant notamment que les participants en situation d'inférence importante réussissent moins bien que les participants en situation de faible inférence (*cf.* 3.1.2.). Ceux-ci ont besoin de plus de temps pour compléter les cas pratiques et font plus de mauvais diagnostics. D'autre part, ils rapportent une plus forte charge cognitive (mesurée à l'aide d'une échelle d'évaluation). Les auteurs expliquent ces résultats par le fait qu'en situation de faible inférence, la présentation par bloc allège la charge cognitive. Les participants réussissent mieux les problèmes et ont davantage l'opportunité d'extraire des règles de résolution.

Dans notre recherche, nous testons l'impact positif d'un mode d'organisation hiérarchisée en fonction de la difficulté de plusieurs problèmes sur leurs réussites. Nous avons comparé un mode d'organisation en aléatoire d'une trentaine de problèmes et un mode d'organisation ordonné de ces mêmes problèmes (BCA *vs* ABC). Le mode ordonné proposant les problèmes suivant un ordre croissant de difficultés. Il nous apparaît, en accord avec la théorie de la charge cognitive et des études présentées ci-dessus, qu'une présentation en aléatoire devrait demander aux participants de grandes ressources cognitives pour intégrer les différences de structures en règle de résolution générale. A l'inverse, une présentation hiérarchisée devrait permettre une mobilisation des ressources cognitives dans l'élaboration progressive de règles de résolution complexes. Puisque les ressources cognitives à mobiliser pour la réussite des premiers problèmes ne sont pas très importantes (problèmes faciles d'application de la règle) dans la condition hiérarchisée, les participants auront la possibilité d'élaborer des schémas généraux de résolution. Par contre, en condition aléatoire, la demande de ressources cognitives affectées à la résolution étant aléatoire (problèmes de difficultés variables) et celle nécessaire pour comparer les problèmes et élaborer des règles de résolution étant plus importante qu'en condition hiérarchisée, les participants de cette condition devraient moins bien réussir les problèmes.

Nous faisons l'hypothèse que la proximité structurelle des problèmes et la stabilité visuelle (les différences visuelles n'ayant pas d'impact sur la réussite ; *cf.* expérience 1 & 2) doivent inciter les participants à utiliser un processus de comparaison des problèmes favorisant l'extraction de connaissances générales, en condition hiérarchisée.

Nous avons montré dans l'expérience présentée précédemment qu'un mode d'organisation hiérarchisé peut favoriser la réussite de problèmes de transfert. L'expérience que nous réalisons souhaite confirmer ces résultats en utilisant un plus grand nombre de problèmes. Notre hypothèse est qu'un mode d'organisation hiérarchisée facilitera la résolution des problèmes, tandis qu'une présentation aléatoire pénalisera le niveau de réussite des participants. Les meilleures performances (nombre de problèmes réussis et temps de réponse) devraient être obtenues par les participants de la condition hiérarchisée.

6.5. Méthode

6.5.1. Participants

46 étudiants (dont 5 garçons ; âge moyen 20 ans ; écart type 6 mois) en deuxième année de Licence de psychologie à l'Université de Franche-Comté ont participé, volontairement, à l'expérience. Ils étaient non naïfs puisqu'ils connaissaient et pratiquaient le jeu du Démineur©. Ils ont été répartis aléatoirement dans les deux conditions expérimentales

6.5.2. Matériel

Le matériel de cette expérience était constitué de trente problèmes issus du jeu Windows du Démineur© (cf. A.1). La moitié des problèmes est positive (il y a bien une mine sous le point d'interrogation) l'autre moitié est négative (il n'y a pas de mine sous le point d'interrogation). Nous utilisons notre didacticiel Delphi pour la passation (Figure 17). Toute l'expérience est informatisée.

6.5.3. Procédure

30 problèmes sont utilisés dans cette expérience. Dans une première condition, les problèmes sont présentés aux participants de manière complètement aléatoire. Dans une seconde condition, les problèmes sont présentés aux participants de manière hiérarchisée. Cette hiérarchie est basée sur le niveau de difficulté des problèmes présentés de manière croissante (du plus facile au plus difficile).

Cette expérience s'est déroulée dans une salle informatique du département de psychologie de l'Université de Franche-Comté. La passation était individuelle. Elle durait une dizaine de minutes. Les problèmes étaient présentés informatiquement, un par un, selon la condition expérimentale, aléatoirement ou de manière hiérarchisée. Les participants devaient pour chaque problème déterminer si une mine était cachée sous la case indiquée par le point d'interrogation. Le problème suivant est présenté immédiatement après la validation de la réponse par le participant. Il n'y a pas de phase d'entraînement. Dans chaque condition, la qualité de la réponse (réussite ou échec) et le temps de réponse étaient pris en compte.

6.6. Résultats

6.6.1. Niveaux de réussite

Pour mesurer la performance des participants, nous nous sommes intéressés, dans un premier temps, à la qualité des réponses : réussite ou échec aux problèmes. Nous avons noté le niveau de réussite des participants c'est à dire le nombre de problèmes réussis divisé par le nombre de problèmes présentés. Ce résultat variait pour chaque participant entre zéro et un ('zéro' représentant l'échec aux trente problèmes ; 'un' la réussite aux trente problèmes).

La Figure 38 présente le niveau de réussite moyen pour chaque condition.

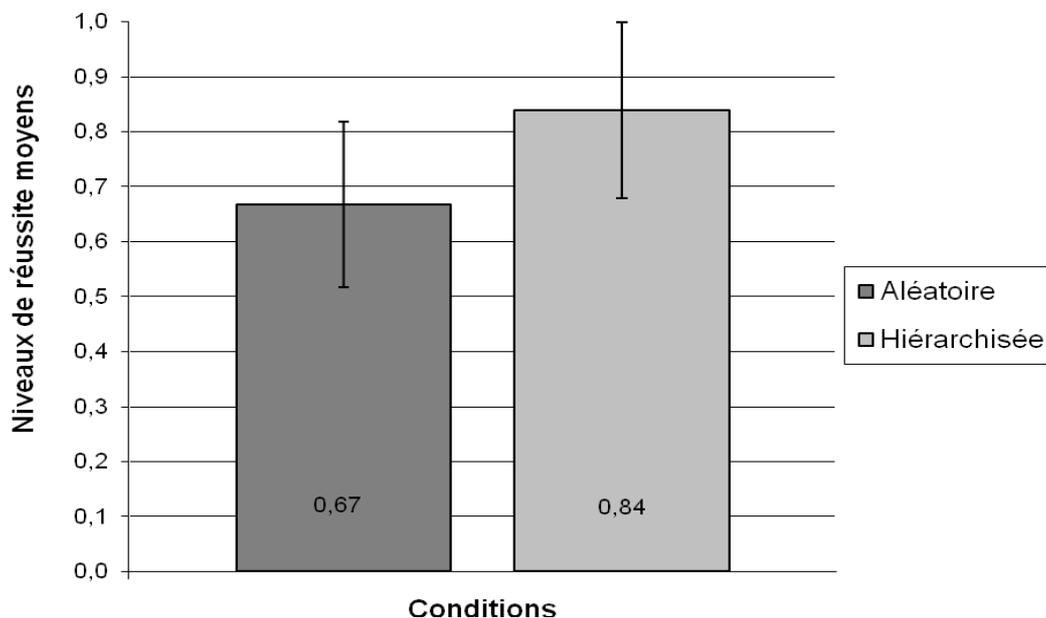


Figure 38 : Niveaux de réussite moyen pour la condition hiérarchisée et aléatoire.

Les résultats montrent comme attendu un meilleur niveau de réussite pour la condition hiérarchisée (0.84 dans la condition hiérarchisée vs 0.67 dans la condition aléatoire) et cette différence est significative ($F(1,44) = 14.315, p < 0.001$). Les participants réussissent davantage de problèmes en condition hiérarchisée qu'en condition aléatoire.

Les participants qui sont confrontés aux problèmes de manière hiérarchisée obtiennent de meilleurs résultats (plus de réussite) face aux problèmes que les participants qui sont confrontés aléatoirement aux mêmes problèmes.

La Figure 39 présente le niveau de réussite moyen des participants des deux groupes en fonction de six groupes de problèmes³¹.

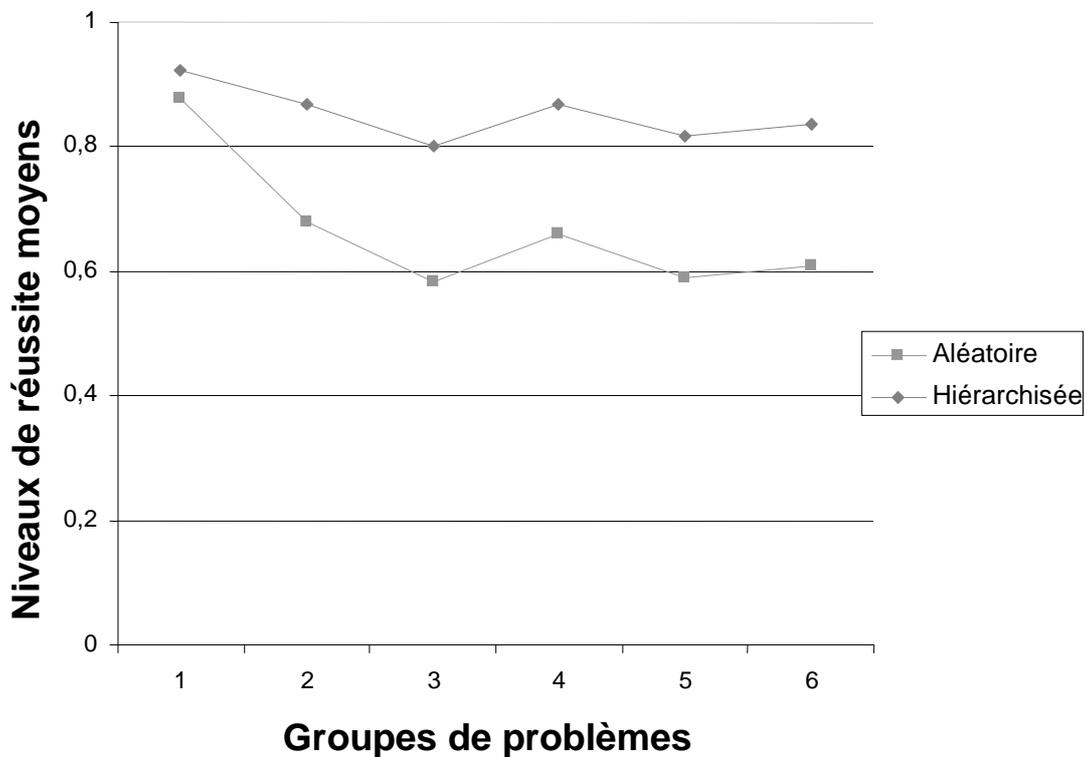


Figure 39 : Niveaux de réussite moyens par groupe de problèmes pour la condition hiérarchisée et aléatoire

Nous avons réalisés une analyse de variance pour chaque groupe de problèmes. Cette analyse a mis en évidence un effet du mode d'organisation des problèmes dès le troisième groupe de problèmes ($F(1,8) = 3.737$, ns pour le premier groupe ; $F(1,8) = 3.185$, ns pour le second groupe ; $F(1,8) = 18.647$, $p < 0.003$ pour le troisième groupe ; $F(1,8) = 18.238$, $p < 0.003$ pour le quatrième groupe ; $F(1,8) = 5.407$, $p < 0.049$ pour le cinquième groupe et $F(1,8) = 25.065$, $p < 0.001$ pour le dernier groupe). Les participants confrontés à un mode d'organisation hiérarchisée réussissent davantage les problèmes que les participants confrontés aux problèmes de manière aléatoire. Ils réussissent davantage de problèmes complexes.

³¹ Les problèmes sont groupés par cinq en fonction de leur niveau de difficulté (les cinq premiers, puis les cinq suivants, etc....).

6.6.2. Temps de réponse

Nous observons que les temps de réponse augmentent proportionnellement à la difficulté des problèmes et ce quel que soit la condition expérimentale (Figure 40) de manière significative ($F(1, 8) = 11.596, p < 0.009$).

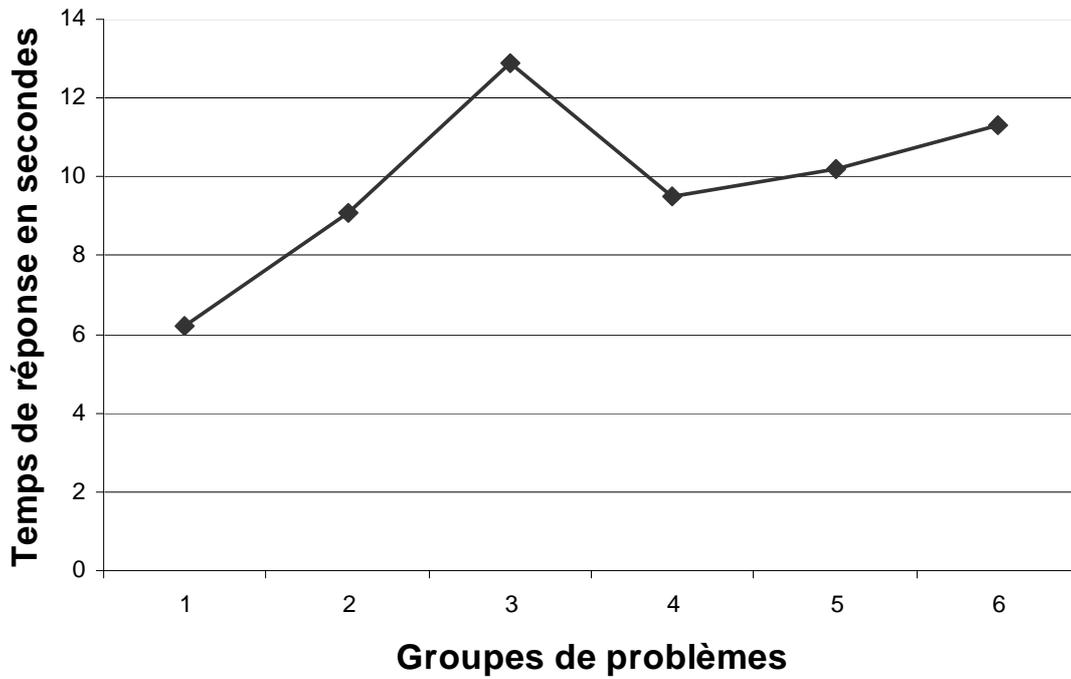


Figure 40 : Temps de réponse moyen par groupes de problèmes - les deux conditions sont confondues

La Figure 41 présente les temps de réponses moyen obtenus pour chaque condition tout type de réponse confondue (réussite et échec).

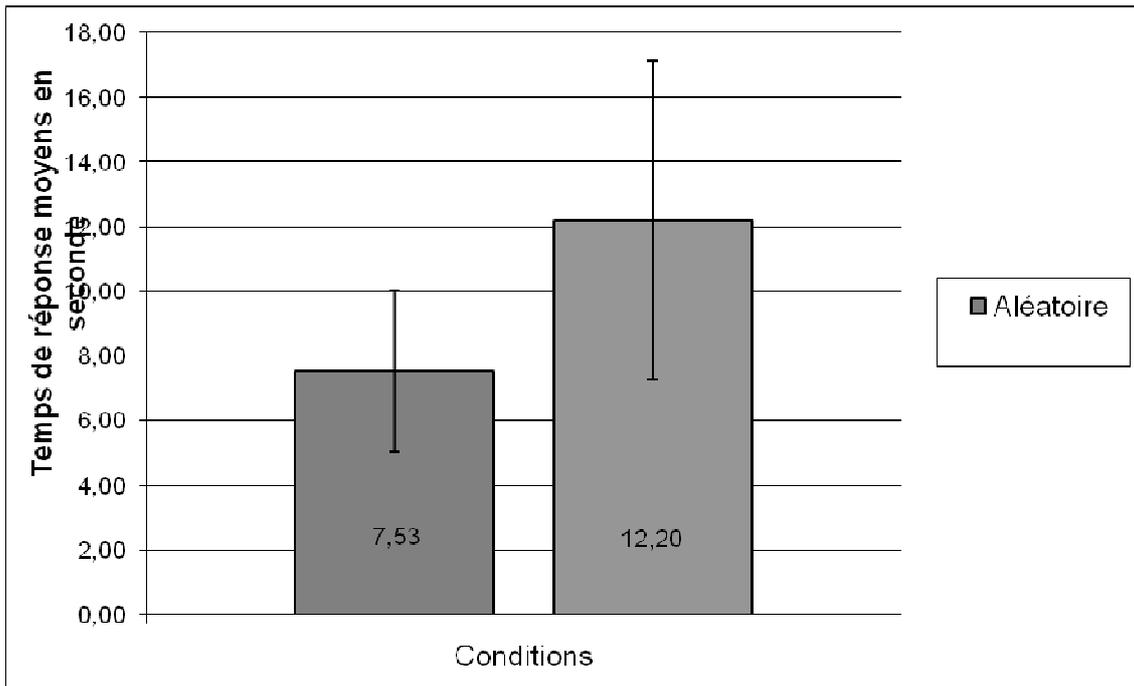


Figure 41 : Temps de réponse moyen pour la condition hiérarchisée et aléatoire (en sec.)

Contrairement à nos attentes, les participants de la condition hiérarchisée prennent plus de temps pour répondre que les participants de la condition aléatoire (12.20 secondes en moyenne pour les participants de la condition hiérarchisée vs 7.53 secondes en moyenne pour les participants de la condition aléatoire) et cette différence entre les deux conditions est significative ($F(1,44)=11.935, p < 0.001$). Ce résultat est répliqué quelque soit le groupe de problèmes (Figure 42).

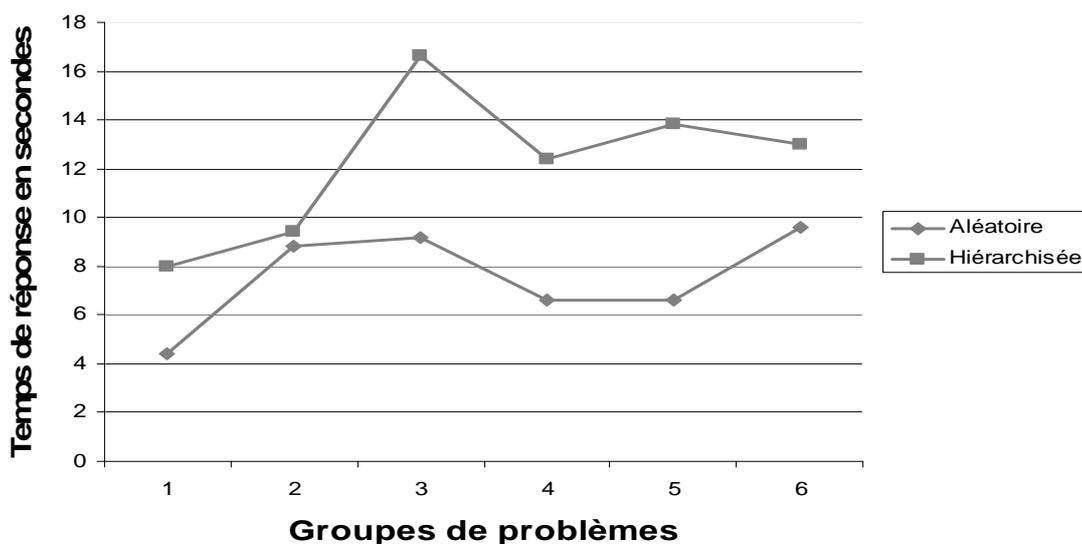


Figure 42 : Temps de réponse moyens par groupes de problèmes en fonction des deux conditions

Face à une présentation hiérarchisée des problèmes, les participants ont la possibilité d'élaborer puis d'enrichir au fur et à mesure des schémas de résolution. Les participants soumis à une présentation aléatoire des mêmes problèmes, moins favorisés, analyseraient chaque problème l'un après l'autre pour le résoudre. La résolution des problèmes complétés par l'élaboration de règles de résolution (favorisée par une présentation hiérarchisée des problèmes) exigerait davantage de temps que la résolution des problèmes seule. Les participants de la condition aléatoire inhiberaient l'élaboration des schémas puisqu'elle n'est pas facilitée par la présentation anarchique des problèmes. En situation d'organisation aléatoire, les participants doivent reconstruire une procédure de résolution appropriée face à chaque nouveau problème. Face à cette présentation anarchique, nous pouvons également évoquer une moins grande motivation des participants à rechercher la solution des problèmes. Ceci pourrait expliciter le temps de réponse moyen plus faible pour le groupe aléatoire que pour le groupe hiérarchisé (réponses au hasard).

6.7. Discussion de l'expérience 3

Selon nos hypothèses, présenter les problèmes de manière hiérarchisée devait produire de meilleures performances chez les participants. Nous nous attendions donc à ce que les participants confrontés à cette condition réussissent davantage de problèmes avec des temps de réponse plus courts. Les résultats obtenus ne valident que partiellement nos hypothèses. Nous observons une différence significative des niveaux de réussites et des temps de réponse des participants entre les deux conditions. Bien que les participants de la condition hiérarchisée réussissent davantage de problèmes, ils prennent globalement plus de temps pour répondre.

Cette étude réplique les résultats obtenus dans les recherches menées précédemment. Ainsi, comme le montre l'étude de Croock & van Merriënboer (2007), un mode d'organisation aléatoire pénalise la réussite dans une tâche de résolution de problèmes. Face à un mode d'organisation hiérarchisée, les participants sont libres d'élaborer des règles de résolution au fur et à mesure de la présentation. Ils peuvent ensuite utiliser ces règles pour résoudre les problèmes plus complexes. A l'inverse, les participants du groupe aléatoire sont gênés par cette présentation anarchique et ont donc plus de difficultés à extraire des règles de résolution pour faire face aux problèmes complexes. Comme l'avancé Sweller (1988), la recherche de solution entre en concurrence avec l'élaboration des règles. Les processus sont en compétition et cette compétition peut gêner la réussite lorsque le mode d'organisation des problèmes n'est pas favorable. En situation hiérarchisée, les participants peuvent aisément partager leurs ressources cognitives face aux premiers problèmes puisque ce sont des problèmes faciles. Ils peuvent à la fois chercher, trouver la solution d'un côté et élaborer, restructurer des règles de résolutions d'un autre côté. Ils peuvent ensuite réutiliser ces règles pour résoudre les problèmes plus complexes tout en les restructurant au fur et à mesure de la passation. En situation aléatoire, les participants peuvent plus difficilement à la fois élaborer ou restructurer leurs règles de résolution et rechercher la solution. D'autre part, ils ne disposent pas forcément de la bonne règle en mémoire (à l'inverse des

participants du groupe ordonné qui ont pu la construire au fur et à mesure de la passation, de manière appropriée). Enfin, commencer la tâche par un problème complexe produit une demande de ressources cognitives élevée avec un effet négatif sur la réussite et l'élaboration de connaissances (van Merriënboer, Kirschner & Kester, 2003). Les règles déjà élaborées lors de la résolution des premiers problèmes en situation hiérarchisée aident à résoudre les problèmes suivants. La recherche de solution demande alors moins de ressources cognitives - il n'y a pas surcharge - et le participant peut donc consacrer le reste de ses ressources à la restructuration des règles dont il dispose à la lumière des nouveaux problèmes (et ainsi de suite, au cours de la passation).

Une présentation aléatoire des problèmes est une situation de forte interactivité qui pèse sur la réussite des participants. Alors que face à une présentation hiérarchisée des problèmes, l'augmentation de la difficulté est globalement compensée par la hiérarchisation des problèmes. Guider les participants grâce à une présentation hiérarchisée semble favoriser la performance (Kirschner, Sweller & Clark, 2006).

Hiérarchiser le problème induit une proximité structurelle des problèmes. Celle-ci semble favoriser un processus de résolution de comparaison des problèmes et donc une élaboration de connaissances générales sur les problèmes structurées en schémas de résolution permettant de résoudre les problèmes complexes.

Bien qu'elle appuie notre hypothèse de prévalence d'un mode d'organisation hiérarchisée, cette expérimentation soulève d'autres questions : les participants ont-ils réellement élaboré des règles de résolution ? Peuvent-ils les expliciter ? Quelles sont leurs caractéristiques ? Permettent-elles une meilleure réussite face à de nouveaux problèmes ?

De Croock et al. (1998) montrent que la difficulté constatée des participants en situation d'interférence importante (présentation aléatoire des problèmes) s'accompagne d'une meilleure réussite à des tests de transferts (nouveaux problèmes présentés deux semaines après la première tâche). D'autre part, les participants qui sont confrontés à une présentation aléatoire des problèmes rapportent un plus fort effort mental (sur une échelle de mesure subjective) que les participants qui se sont vus présenter les mêmes problèmes mais de manière groupée. Les temps de réponse plus importants observés dans la condition hiérarchisée peuvent être mis en corrélation avec un fort effort mental. La résolution de problème et l'élaboration de schéma de résolution exigeant davantage de temps et de ressources cognitives. Cependant, d'après la théorie de la charge cognitive (Sweller & al., 1998 ; de Croock & van Merriënboer, 2007), la variabilité exige davantage de ressources cognitives qu'une présentation organisée. Dans cette hypothèse, la condition aléatoire demande davantage de ressources cognitives aux participants et donc les pénalise dans leur recherche de la solution, ce qui les conduit à une réponse rapide au hasard. Nous menons plusieurs expériences dans le but de tester cette hypothèse.

Chapitre 7 : impact de l'organisation : mesure de la charge cognitive et phase de transfert

Nous avons observé dans le chapitre précédent qu'organiser les problèmes du plus facile au plus difficile favorise la réussite des problèmes complexes. La hiérarchisation des problèmes compense l'augmentation de la difficulté. Ces résultats nous conduisent à l'hypothèse que ce mode d'instruction est moins coûteux en termes de ressources cognitives et qu'il favorise l'élaboration de connaissances abstraites.

Nous présentons dans ce chapitre trois expériences testant cette hypothèse. La première mesure la charge cognitive liée au mode d'instruction ainsi que l'élaboration de connaissances par la confrontation aux problèmes de transfert. La seconde mesure également la charge cognitive liée aux conditions expérimentales. Elle mesure d'autre part le niveau d'élaboration des connaissances par la notation des verbalisations des participants. La troisième teste le niveau de généralisation des connaissances par la confrontation à des problèmes hors contexte.

7.1. Introduction

Nous avons observé dans le chapitre précédent que le mode d'organisation utilisé lors d'une tâche de résolution de problèmes influence la réussite des participants. Une hypothèse avancée pour comprendre cette influence est celle de la charge cognitive. Un mode d'organisation aléatoire exige davantage de ressources qu'un mode d'organisation hiérarchisé ce qui pénalise la réussite des participants. Dans l'étude de de Croock et van Merriënboer (2007), les participants confrontés à une présentation aléatoire (situation de forte interférence) rapportent, à l'aide d'une échelle subjective, un effort mental plus important que les participants confrontés aux mêmes problèmes groupés (situation de faible interférence).

Les auteurs relèvent, également, que lors d'un second test, réalisé deux semaines après la première tâche, les participants de la condition aléatoire ont besoin de plus de temps pour réaliser le test que les participants de la condition groupée et que de plus, ils résolvent moins de problèmes. La présentation aléatoire des problèmes dans la première phase pénalise la réussite dans la seconde phase.

Au regard de cette étude et afin de mieux cerner l'impact d'un mode d'organisation hiérarchisé, nous menons une seconde expérience. Celle-ci a été menée afin de :

1) Évaluer la charge cognitive liée à chaque mode d'organisation à l'aide d'une double tâche. Le protocole de la double tâche est basé sur l'hypothèse de la capacité limitée de la mémoire de travail, les ressources pouvant être attribuées de manière flexible (Baddeley, 1986). Si deux tâches sont proposées en simultanée, les performances pour la tâche secondaire dépendent des ressources requises pour la réalisation de la première tâche. Plus la tâche principale est exigeante en ressources, moins il reste de ressources pour la seconde tâche, et plus, les performances seront moindres (*cf.* Brünken, Steinbacher, Plass & Leutner, 2002, pour exemple). De nombreuses études suggèrent que la performance à une seconde tâche peut être utilisée comme un bon indicateur de la charge cognitive liée à une tâche principale (Chandler & Sweller, 1996 ; Kalyuga & al., 2001 ; Pass & al., 2003, notamment). Notre hypothèse est que les participants confrontés à une présentation hiérarchisée des problèmes sont soumis à une plus faible demande de ressources cognitives. Ils obtiendront des temps de réaction, pour la seconde tâche (détection d'une lettre), plus courts que les participants qui se sont vus présenter les mêmes problèmes de manière aléatoire.

2) Évaluer le transfert des connaissances acquises lors de la résolution de problèmes (première phase) liée à chaque mode de présentation. Notre hypothèse est que les participants de la condition aléatoire réussiront moins de problèmes de transfert que les participants de l'autre condition.

Pour cette seconde expérience, nous utilisons un protocole proche de celui utilisé dans la première expérience. Nous ajoutons une seconde tâche ainsi qu'une seconde phase comprenant plusieurs problèmes tests.

7.2. Méthode

7.2.1. Participants

60 étudiants en psychologie (dont 15 garçons ; âge moyen 19 ans et 6 mois ; écart type 8 mois) de l'Université de Bourgogne ont participé volontairement à cette seconde expérience. Un point d'expérience leur était accordé (soit 0.25 pts sur leur moyenne de TD). Ils sont non naïfs puisqu'ils connaissent et pratiquent tous le jeu du Démineur©.

Les participants sont répartis équitablement entre les deux conditions expérimentales. Dans la première, ils sont confrontés aux problèmes présentés de manière aléatoire; dans la seconde, ils sont confrontés aux mêmes problèmes, présentés de manière hiérarchisée (suivant l'ordre de difficulté).

7.2.2. Matériel

Les problèmes utilisés sont les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience précédente. Nous utilisons notre didacticiel pour présenter les problèmes l'un après l'autre. Nous ajoutons à la tâche de résolution de problèmes une seconde tâche afin de mesurer la charge mentale liée à la résolution de problèmes. Cette seconde tâche consiste à appuyer, le plus vite possible, sur la touche 'échap' du clavier quand au cours de la tâche un 'A' apparaît au centre de l'écran (Figure 43). La lettre 'A' apparaît de manière aléatoire (temps entre chaque apparition variable), en superposition de l'écran de présentation des problèmes.

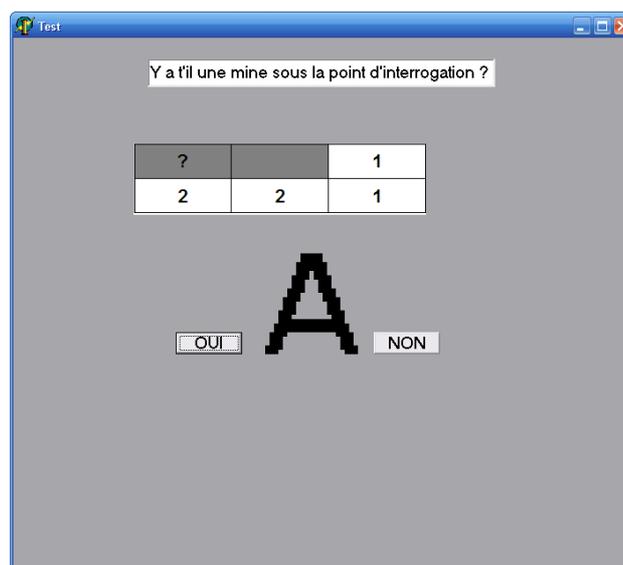


Figure 43 : Capture d'écran passation double tâche : Lorsque la lettre 'A' apparaît, le participant doit appuyer sur la touche 'échap' du clavier. La lettre disparaît.

La phase de transfert se compose de quatre nouveaux problèmes, issus du jeu du Démineur©, de difficulté équivalente (Figure 44).

?	3	x		
x	3	x		Réponse négative attendue
?	4	x		
x	3	x		Réponse positive attendue
	1			
x	4			Réponse positive attendue
?				
			?	
2	3	3	2	x

Figure 44 : Les quatre nouveaux problèmes utilisés dans la phase de transfert.

7.2.3. Procédure

Les passations se sont déroulées dans une salle expérimentale du laboratoire de psychologie cognitive de l'Université de Bourgogne (LEAD). Elles sont individuelles et informatisées. Elles durent quinze minutes. En plus de la tâche de résolution de problème, la seconde tâche est imposée aux participants. En fin de passation, après une brève pause, les participants se voient confrontés aux quatre nouveaux problèmes l'un après l'autre (à l'aide de notre didacticiel), de manière contrebalancée.

Dans chaque condition, la qualité de la réponse (réussite ou échec) pour tous les problèmes (apprentissage et transfert) et le temps de réponse pour la seconde tâche (entre l'apparition de la lettre et l'appui sur la touche 'échap') sont pris en compte.

7.3. Résultats

Nous prenons en compte le niveau de réussite global (nombre de problèmes résolus dans la première phase divisé par le nombre de problèmes présentés), le temps de réaction en millisecondes pour la seconde tâche, ainsi que le niveau de réussite pour les problèmes de transfert (nombre de problèmes résolus divisés par le nombre de problèmes présentés).

7.3.1. Performances aux problèmes du Démineur©

Les résultats de la Figure 45 nous montrent le niveau de réussite moyen des participants pour la première phase.

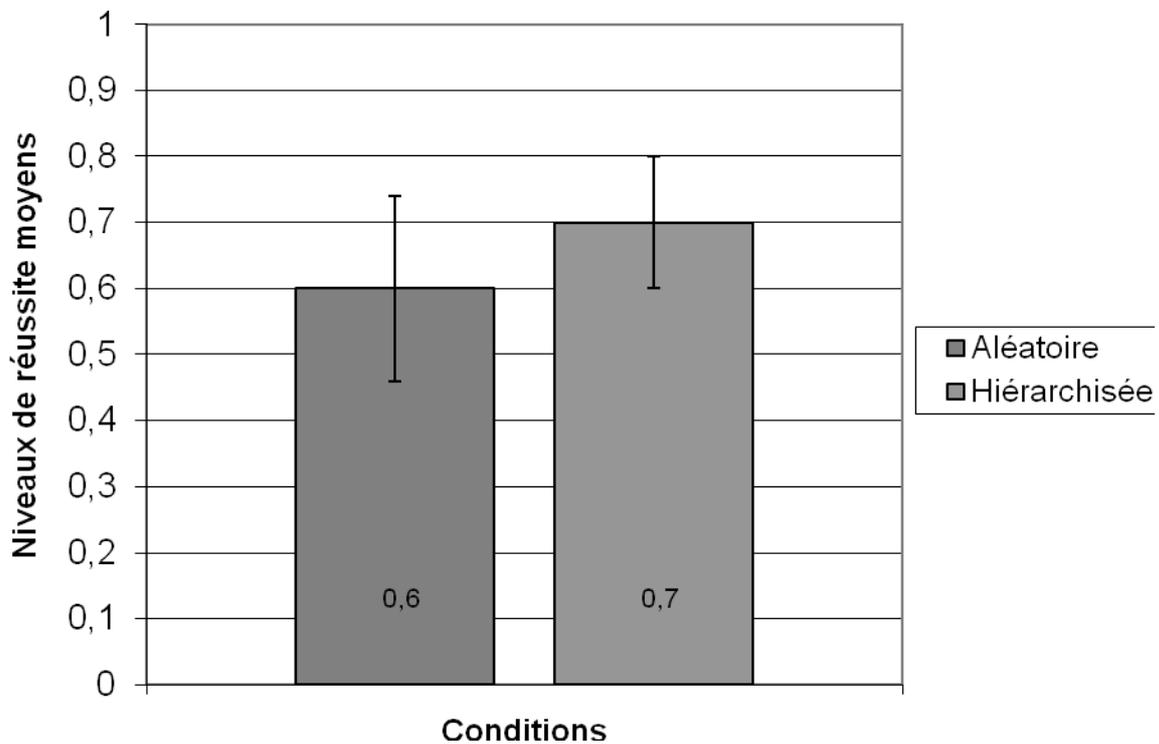


Figure 45 : Niveaux de réussite moyens dans la première phase pour chaque condition (aléatoire et hiérarchisée)

Les participants qui se sont vus présenter les problèmes suivant un mode hiérarchisé réussissent significativement davantage de problèmes que les participants qui se sont vus présenter les mêmes problèmes de manière aléatoire (0.7 vs 0.6 ; $F(1,58) = 10.248, p < .002$). Ces résultats répliquent ceux de l'expérience n°3.

7.3.2. Performances à la double tâche

La Figure 46 présente les temps de réponse à la seconde tâche (temps en millisecondes entre l'apparition de la lettre et l'appui de la touche 'échap').

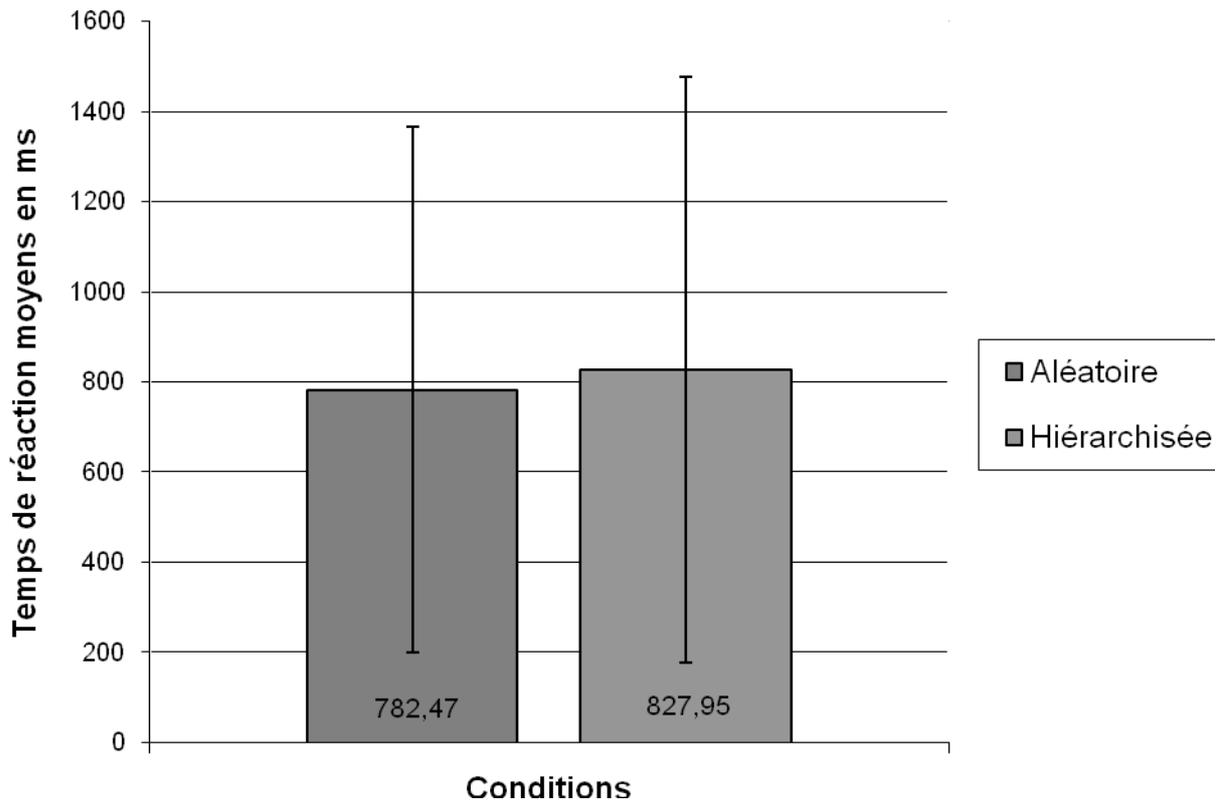


Figure 46 : Temps de réaction moyens en millisecondes pour la seconde tâche en fonction des deux conditions (aléatoire et hiérarchisée)

Contrairement à notre hypothèse, nous n’observons pas de différences significatives des temps de réaction dans la seconde tâche entre les deux conditions expérimentales ($F(1,269) = .367$, ns.). La demande de ressources cognitives associée à chaque mode d’organisation ne semble pas jouer un rôle dans les différences de réussite des deux groupes de participants.

7.3.3. Performances aux problèmes de transfert

La Figure 47 présente les performances des sujets aux problèmes de transfert.

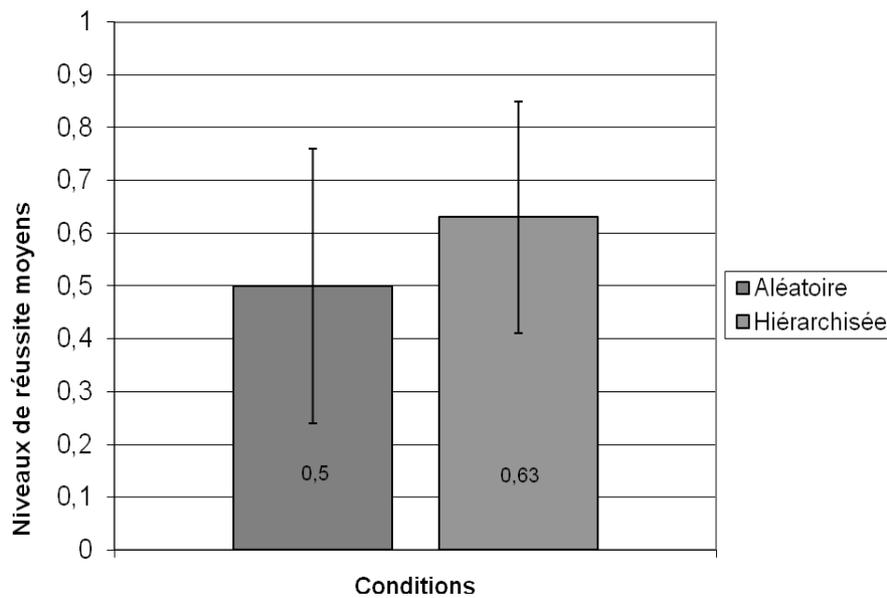


Figure 47 : Niveaux de réussite moyens aux nouveaux problèmes pour la condition aléatoire et hiérarchisée

Les participants qui se sont vus présenter les problèmes suivant un mode hiérarchisé réussissent significativement davantage de problèmes de transfert que les participants qui se sont vus présenter les mêmes problèmes de manière aléatoire (0.63 vs 0.5 ; $F(1,58) = 4.065$, $p < .048$). Ces résultats appuient notre hypothèse. Ils suggèrent que face à une présentation hiérarchisée des problèmes les participants acquièrent davantage de connaissances transférables que face à une présentation aléatoire.

7.4. Discussion de l'expérience 4

Cette expérience avait deux objectifs : 1) évaluer la charge cognitive liée aux deux modes d'organisation ; 2) tester la réussite des participants face à de nouveaux problèmes en fonction du mode d'organisation rencontré dans la première phase. Les résultats confirment l'effet positif du mode d'organisation ordonné sur la résolution de problèmes. Les participants résolvent davantage de problèmes en condition hiérarchisée. Bien que la différence de performance entre les deux conditions ne soit pas corrélée avec une différence de charge cognitive, elle s'accompagne de davantage de réussite aux problèmes de transfert pour les participants de la condition hiérarchisée.

Cette étude réplique donc les résultats obtenus dans l'expérience n°3. Organiser les problèmes du plus facile au plus difficile favorise la résolution de davantage de problèmes comparé à une présentation aléatoire des mêmes problèmes. Cependant, la charge cognitive liée à chaque mode d'organisation ne diffère pas significativement. Ceci suggère que ce n'est pas la charge cognitive induite par le mode d'organisation qui influence la réussite mais que l'utilisation d'un mode d'organisation hiérarchisée semble compenser l'augmentation de difficulté.

Ce mode d’instruction favorise l’élaboration de connaissances. La proximité des problèmes incitent les participants à les comparer et donc à extraire des règles de résolution générales leur permettant de résoudre les nouveaux problèmes et d’optimiser leur traitement.

La procédure utilisée peut être remise en cause. L’utilisation d’une seconde tâche pour mesurer la charge cognitive d’une tâche principale est basée sur l’hypothèse de ressources cognitives limitées liée à une mémoire de travail limitée (Logie & al, 1989). La tâche principale mobiliserait une large partie des ressources tandis que le reste serait alloué à la seconde tâche. Cette hypothèse peut s’illustrer par la Figure 48. Si la tâche principale exige beaucoup de ressources cognitives, peu de ressources peuvent être allouées pour une seconde tâche d’où une moins bonne performance à la seconde tâche.

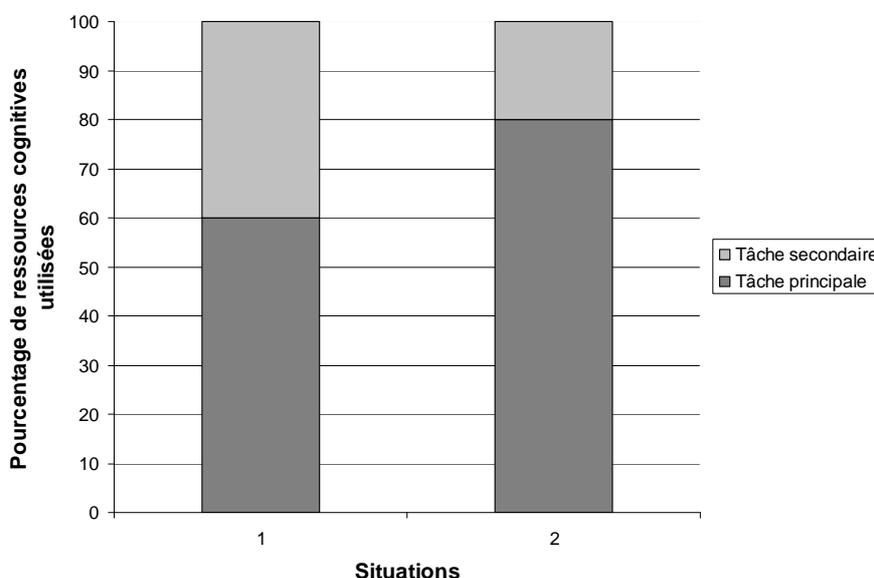


Figure 48 : Répartition possible des ressources cognitives utilisées en fonction de deux tâches et deux situations

Nous avons testé deux modes d’organisation en faisant l’hypothèse que le mode d’organisation hiérarchisée conduirait à la situation 1 et le mode aléatoire à la situation 2. Peu de ressources restant disponible pour la seconde tâche avec un mode d’organisation aléatoire. Cependant, les résultats qui sont observés n’appuient pas cette hypothèse. Ils indiquent plutôt une répartition des ressources comme proposée par la Figure 49. Cette figure représente l’hypothèse selon laquelle la tâche principale est trop peu coûteuse en termes de ressources cognitives pour observer une différence de performances à la seconde tâche.

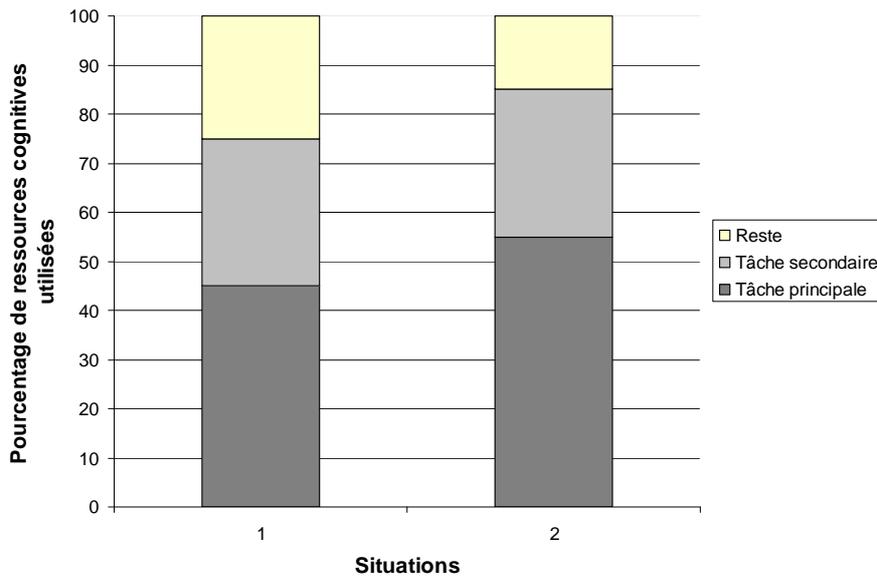


Figure 49 : Répartition possible des ressources cognitives utilisées en fonction de deux tâches et deux situations

Les résultats indiquent que la tâche principale ne mobilise pas assez de ressources pour pénaliser la performance dans la seconde tâche. La charge cognitive liée au mode d'organisation peut tout de même être différente.

La Figure 50 présente les niveaux de réussite globaux, les deux conditions confondues, pour l'expérience 3 et 4.

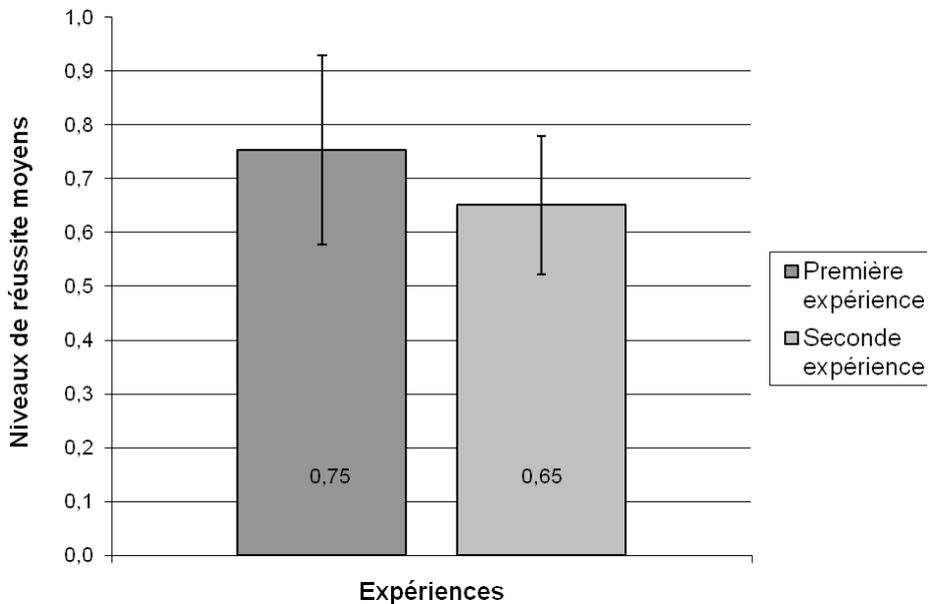


Figure 50 : Niveaux de réussite globaux pour chaque étude

Notons que le niveau de réussite global des participants de cette expérience est plus faible, quel que soit la condition, que celui observé dans la première étude (0.75 vs 0.65) et que cette différence est significative ($F(1,104) = 11.696, p < .001$).

La seconde tâche contaminerait la tâche principale (Chanquoy & al., 2007). Les participants mobiliseraient les ressources nécessaires à la réalisation de la seconde tâche quitte à disposer de moins de ressources pour la résolution des problèmes de la tâche principale (Figure 51).

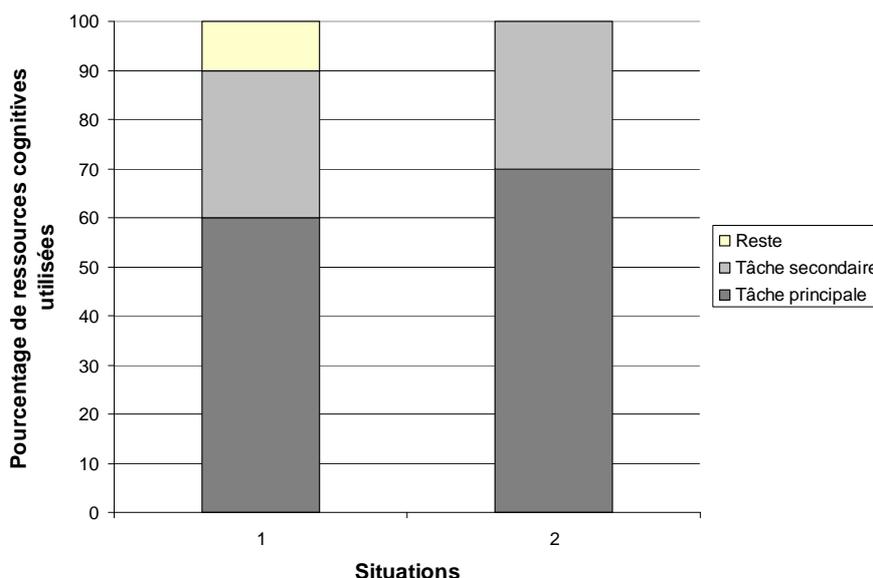


Figure 51 : Répartition possible des ressources cognitives utilisées en fonction de deux tâches et deux situations

La mesure de la charge cognitive des deux modes d'organisation de la tâche à l'aide d'un protocole de double tâche ne permet pas d'observer de résultats. Notre hypothèse explicative est la suivante : la seconde tâche a contaminé la tâche principale. Cette hypothèse est appuyée par le faible taux de réussite dans cette expérience que dans l'expérience n°3.

Afin de tester cette hypothèse, nous menons une cinquième expérience utilisant, comme mesure de la charge cognitive, une échelle de mesure subjective de l'effort mental engagé dans la résolution des problèmes.

Avant d'aborder la section suivante, rappelons que notre quatrième expérience a également appuyé notre hypothèse se rapportant au transfert des connaissances acquises lors de la résolution des problèmes favorisé par une présentation hiérarchisée. En effet, les résultats montrent que les participants qui se sont vus présenter les problèmes de manière hiérarchisée dans la première phase résolvent davantage de problèmes dans la deuxième phase. La présentation hiérarchisée permettrait davantage l'élaboration de connaissances transférables que la présentation aléatoire. Ces résultats vont dans le sens de ceux de Croock et van Merriënboer (2007). Le transfert mobilise les connaissances acquises précédemment pour la résolution des nouveaux problèmes. Les connaissances élaborées lors de la première phase de

résolution de problème favoriseraient davantage la résolution des nouveaux problèmes dans le cas d'une présentation hiérarchisée. Ces connaissances regrouperaient des règles de résolution élaborées lors de la confrontation aux problèmes d'apprentissage (première phase). Ces règles seraient donc adaptées aux problèmes et permettraient ainsi la résolution des nouveaux problèmes. Elles seraient structurées sous forme de schémas de résolution et élaborées lors de la passation au cours du processus de résolution. L'expérience suivante permettra de tester cette hypothèse.

7.5. Mesure subjective de la charge cognitive et du niveau d'élaboration des connaissances

Afin de mieux évaluer l'impact du mode d'organisation sur la réussite et sur les connaissances élaborées lors de la résolution de problèmes, nous avons réalisé une troisième expérience davantage qualitative.

Paas (1992), testant l'effet de la présentation de problèmes de statistiques (conventionnelle, problèmes à compléter ou exemples) sur les performances, demande à ses participants de reporter sur une échelle de neuf échelons leur niveau d'effort mental. Les résultats montrent que l'effort mental est plus élevé, lors des problèmes tests dans la condition 'problèmes conventionnels' que dans les deux autres conditions. L'échelle de mesure de la charge cognitive que nous allons utiliser est une traduction de celle présentée par Paas (1992). Comme cela a été fait dans de nombreuses études (Paas & van Merriënboer, 1993 ; Kalyuga, 2006 et Um, Song & Plass, 2007 ; notamment) nous utilisons une échelle à neuf échelons ponctuée de trois expressions verbales.

Paas (1992) attribuait la réussite des participants aux problèmes de transfert au fait qu'un apprentissage à partir d'exemple à travailler, ou à compléter, permettait une meilleure acquisition de connaissances transférables. Et cela même si l'effort mental évalué durant la phase d'apprentissage ne diffère pas suivant les conditions. Il suggère d'utiliser les verbalisations des participants afin de mieux cerner la nature des connaissances élaborées durant la phase d'apprentissage et utilisées dans la phase test. Nous utilisons cette approche dans cette expérience.

Cette nouvelle expérience a été menée afin d'évaluer l'implication de la charge cognitive dans la différence de réussite des deux groupes expérimentaux à l'aide d'une échelle subjective. Nous faisons l'hypothèse que les participants confrontés à une présentation aléatoire des problèmes devraient évaluer l'effort mental nécessaire à la réalisation de la tâche à un niveau plus élevé que les participants confrontés aux mêmes problèmes présentés de manière hiérarchisée. Cette expérience nous permettra également d'étudier les connaissances élaborées lors de la passation. Nous faisons l'hypothèse que, face à une présentation hiérarchisée des problèmes, les participants élaboreront des connaissances plus élaborées que face à une présentation aléatoire des mêmes problèmes.

Pour cette cinquième expérience, nous utilisons un protocole proche de celui utilisé dans les précédentes expériences complété par une évaluation subjective de l'effort mental et une cotation des verbalisations des participants.

7.6. Méthode

7.6.1. Participants

66 étudiants de l'Université de Franche-Comté (dont 24 garçons ; âge moyen 22 ans et 3 mois ; écart type 19 mois) ont participé volontairement à cette expérience. Ils sont non naïfs puisqu'ils connaissent et pratiquent tous le jeu du Démineur©.

7.6.2. Matériel

Les problèmes utilisés sont les mêmes que ceux utilisés dans la troisième expérience. Nous ajoutons à la tâche de résolution de problèmes, en fin de passation, deux questionnaires (cf. annexe n°3). Ils sont papier-crayon. Le premier se compose d'une échelle en neuf points, sur laquelle nous demandons aux participants d'évaluer le niveau d'effort mental qu'ils ont dû investir dans la tâche. Le second demande aux participants d'explicitier les règles qu'ils ont utilisées lors de la résolution des problèmes. Celui-ci a pour objectif de relever les verbalisations des participants concernant les connaissances, et plus particulièrement les règles de résolution, qu'ils ont élaborées lors de la passation.

7.6.3. Procédure

Les passations se sont déroulées dans une salle informatique de l'Université de Franche-Comté. Elles sont individuelles et informatisées pour la phase de résolution de problèmes.

Les participants sont, dans une première phase, répartis équitablement entre les deux conditions expérimentales. Comme précédemment, dans la première, ils sont confrontés aux problèmes présentés de manière aléatoire ; dans la seconde, ils sont confrontés aux mêmes problèmes, présentés de manière hiérarchisée (suivant l'ordre de difficulté). Les problèmes leur sont présentés l'un après l'autre (soit en aléatoire soit du plus facile au plus difficile) à l'aide de notre didacticiel. Leurs réponses sont enregistrées. Cette phase se termine lorsque les participants ont eu à résoudre les trente problèmes.

La deuxième phase suit immédiatement la première. Nous présentons à tous les participants les deux questionnaires, d'abord l'échelle de mesure subjective de l'effort mental investi dans la tâche, puis la demande de verbalisation. Les participants ne sont pas contraints par le temps pour cette seconde partie comme pour la résolution des problèmes.

7.7. Résultats

7.7.1. Performances aux problèmes du Démineur©

Pour cette expérience, nous prenons en compte le niveau de réussite global (nombre de problèmes résolus divisés par le nombre de problèmes présentés). Cet indicateur varie de zéro à un ('zéro' lorsque le participant a échoué à résoudre tous les problèmes et 'un' lorsqu'il les a tous résolus). La Figure 52 présente le pattern des résultats obtenus.

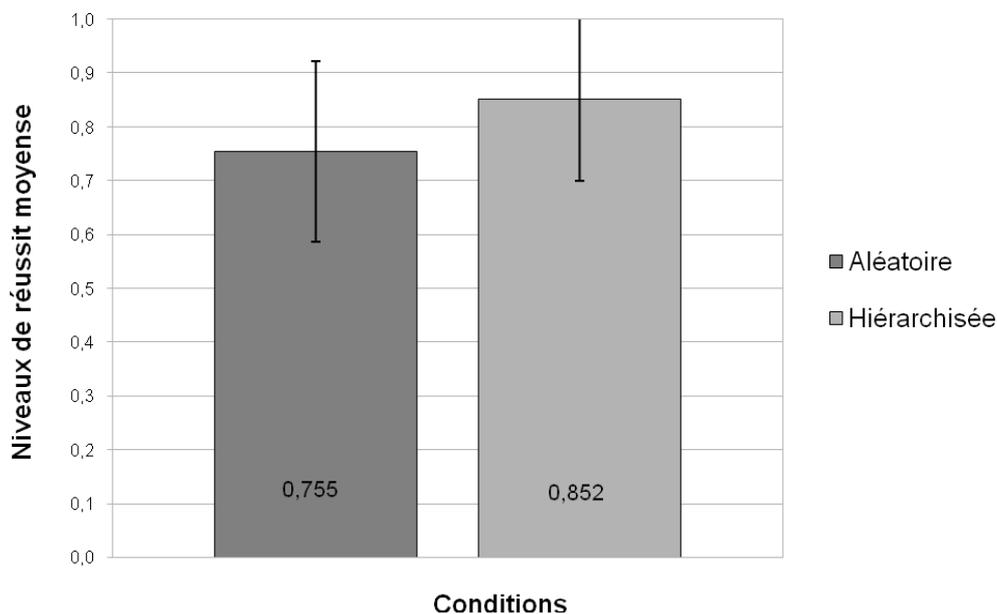


Figure 52 : Niveaux de réussite moyens aux problèmes issus du Démineur pour chaque condition (aléatoire et hiérarchisée).

Les résultats confirment ceux obtenus dans les deux expériences précédentes, les participants confrontés à une présentation hiérarchisée des problèmes réussissent davantage de problèmes que les participants confrontés aux mêmes problèmes présentés de manière aléatoire (0.76 pour le groupe aléatoire vs 0.85 pour le groupe ordonné) et cette différence est significative ($F(1,64) = 6.034, p < .017$).

7.7.2. Niveaux d'effort mental perçus

La Figure 53 présente le niveau d'effort mental perçu par les participants pour chaque condition.

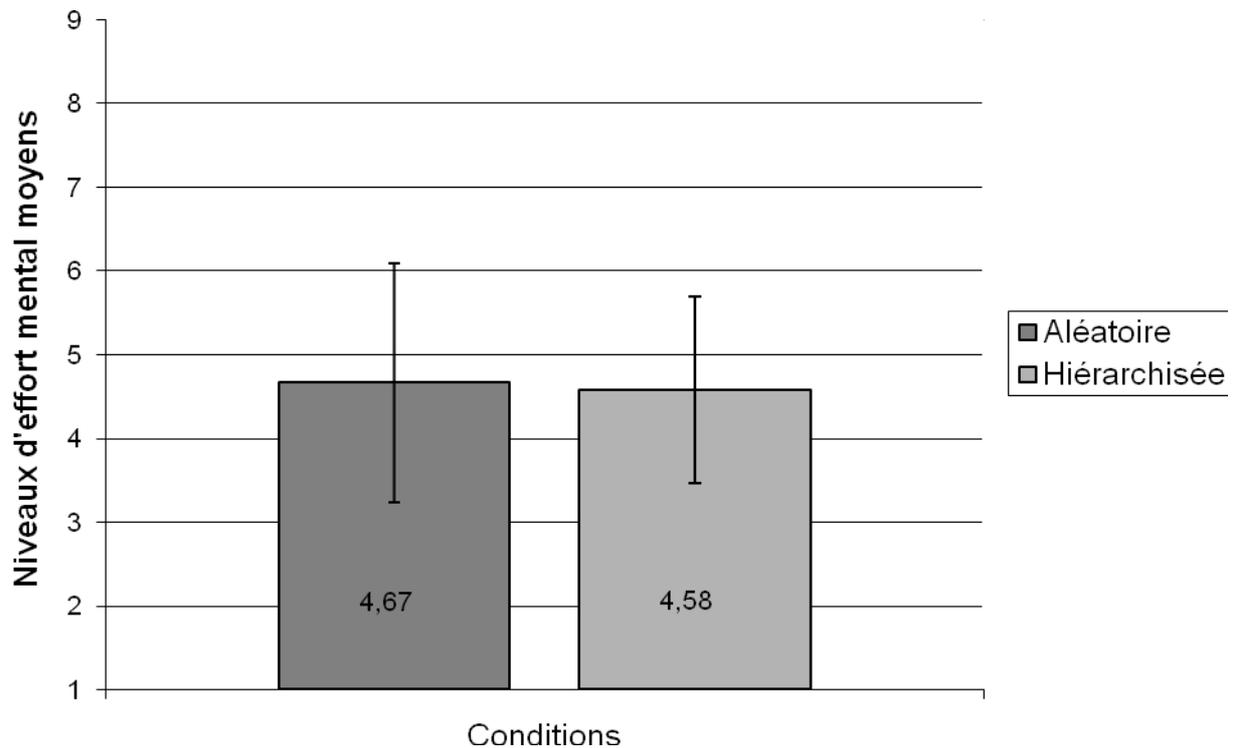


Figure 53 : Niveaux d'effort mental moyens perçus pour les deux conditions (l'échelle proposée comportant neuf échelons).

Les participants des deux groupes expriment qu'ils engagent le même niveau d'effort mental dans la tâche (4.67 vs 4.58 ; $F(1,64) = .083$, ns.). Ce résultat va dans le même sens que celui observé dans l'expérience précédente. Il confirme que ce n'est pas la charge mentale liée au mode d'organisation qui influence les résultats et qui permet d'explicitement les différences de réussite entre les deux conditions expérimentales.

7.7.3 Notations

► En nous basant sur l'hypothèse selon laquelle la notation utilisée par les participants pour expliciter les règles de résolution qu'ils ont utilisées pour résoudre les problèmes est en relation avec leur représentation interne des règles de résolution des problèmes, nous pouvons présenter une vue de cette relation à partir des notations relatives. Tout comme Cheng et Mo (2004, expérience 2), nous élaborons une classification des réponses rédigées par les participants. Celle-ci permet une cotation en quatre niveaux du niveau d'élaboration des connaissances verbalisées par les participants. Cette quantification est présentée dans la Figure 54.

0	Règles fausses (par exemple ‘ <i>il y a trois 1 côte à côte, il y a donc trois mines une pour chaque chiffre</i> ’)
1	Description de la règle du jeu (par exemple ‘ <i>autour du chiffre 2, il doit y avoir deux mines</i> ’)
2	Heuristiques ³² (par exemple ‘ <i>plus les chiffres sont importants, plus il y a de chances pour qu’il y ait une mine sous le ?</i> ’)
3	Explication de l’implication réciproque ³³ (par exemple ‘ <i>un nombre indique qu’il y a deux bombes autour de cette case. On cherche ensuite les positions possibles, en tenant compte des autres indications, c’est à dire, s’il y a d’autres nombres qui peuvent nous aider à trouver les bombes</i> ’)
4	Explication des règles de résolution ³⁴ (par exemple ‘ <i>s’il y a trois ‘1’ à coté et qu’il ne peut y avoir qu’une mine, elle est forcément au centre</i> ’)

Figure 54 : Grille de notation des verbalisations³⁵

Nous observons tout d’abord que peu de participants de la condition aléatoire élabore des règles de résolution (3 vs 7) et qu’aucun de la condition hiérarchisée ne note une règle fausse (0 vs 4). Le tableau XIII présente le détail du nombre de participants pour chaque notation.

Tableau XIII : Nombre de participants pour chaque notation par condition

Notations		Condition hiérarchisée	Condition aléatoire
0	} Représentation erronée, incomplète ou floue des problèmes	0	4
1		3	1
2		12	17
3	} Bonne représentation des problèmes	11	8
4		7	3

Plus de la moitié des participants de la condition hiérarchisée (18 vs 15) présente une bonne représentation des problèmes (notation 3 et 4). Ils notent soit une règle de résolution soit une implication réciproque. Alors que la plupart des participants de la condition aléatoire (22 vs 11), ont une représentation erronée, incomplète ou floue des problèmes (notation 0, 1 et 2). Ils notent soit une règle fausse, soit un heuristique, soit ils réécrivent la règle du jeu.

³² Une heuristique est une règle qu’on a intérêt à utiliser en général, parce qu’on sait qu’elle conduit souvent à la solution, bien qu’on n’ait aucune certitude sur sa validité dans tous les cas (Richard, 1998).

³³ Lorsqu’il y a prise en compte que les chiffres impliquent certaines informations et que ces informations sont complémentaires, nous parlons d’implication réciproque.

³⁴ Une règle de résolution correspond à une règle permettant de résoudre une situation précise. Chaque problème peut être résolu en utilisant l’une de ces règles.

³⁵ En italique, des extraits des protocoles des participants.

► D'autre part, comme le montre la Figure 55, les participants qui se sont vus présenter les problèmes de manière hiérarchisée présentent des niveaux d'élaboration des connaissances significativement plus élaborés que les participants qui se sont vus présenter les problèmes de manière aléatoire (2.15 vs 2.67 ; $F(1,64) = 4.408, p < .04$).

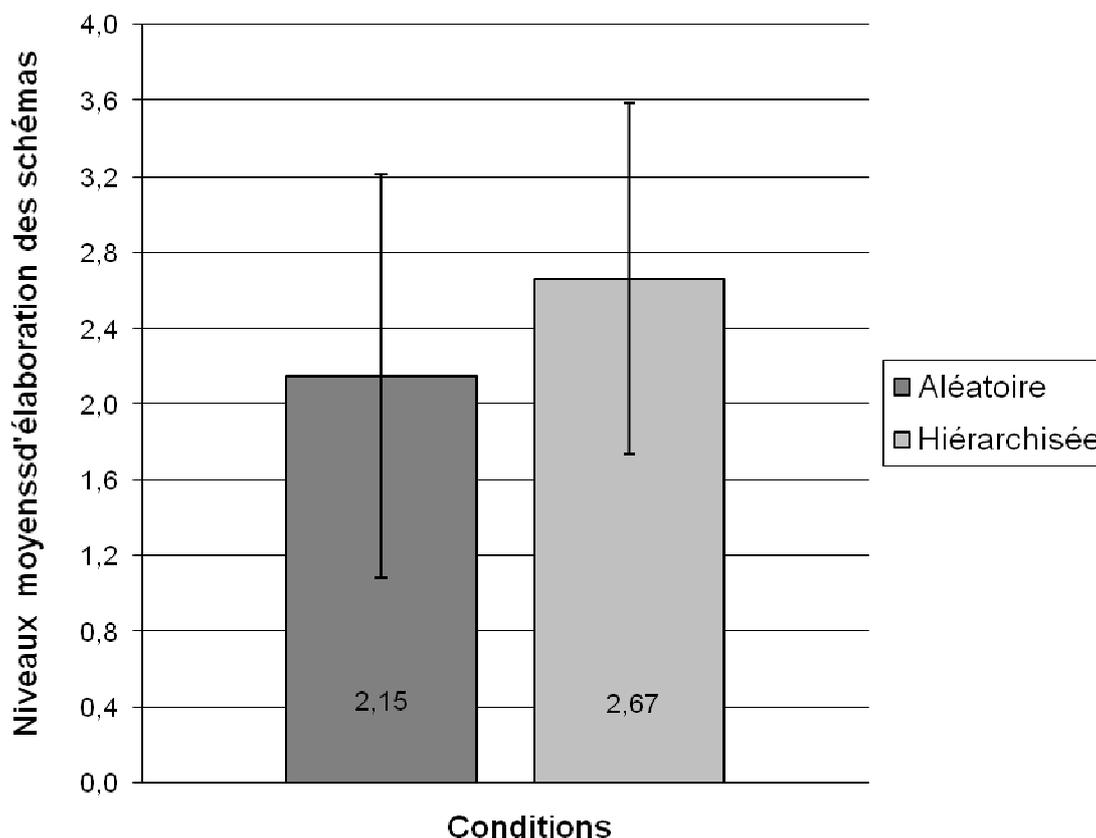


Figure 55 : Niveaux moyens d'élaboration des schémas pour les deux conditions (sur 4)

Ces résultats confirment notre hypothèse et suggèrent que face à une présentation hiérarchisée, les participants élaborent davantage de connaissances que face à une présentation aléatoire. Ces connaissances sont généralisées en règles de résolution (niveau 4) lorsque le mode d'organisation le favorise (présentation hiérarchisée).

7.7.4. Relation entre réussite et verbalisations

La mise en relation du niveau de réussite des participants en lien avec leur niveau d'élaboration est présenté Figure 56.

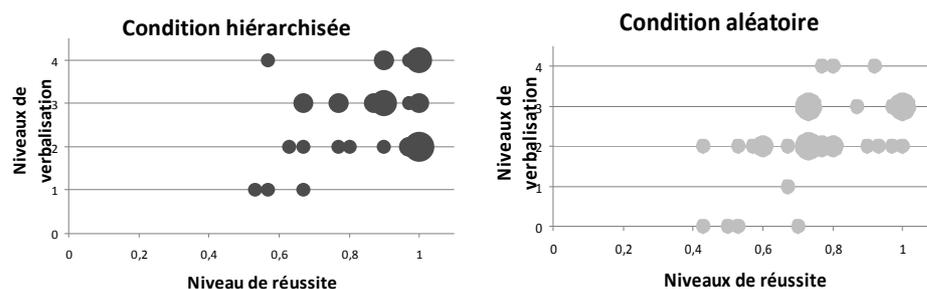


Figure 56 : Niveaux de réussite et niveaux d'élaboration des participants pour les deux conditions

Dans la Figure 55, les bulles représentent le nombre de participants couplant chaque valeur du niveau de réussite (de zéro à un) et chaque valeur de verbalisation (de zéro à quatre). Dans la condition hiérarchisée, les participants ayant réussi un grand nombre de problèmes (au moins 70%) présentent un niveau de verbalisation assez élevé (2, 3 ou 4). Aucun de ces participants ne présente une règle fautive ou un énoncé de la règle. Dans la condition aléatoire, nous pouvons observer qu'aucun participant ne présente un niveau de réussite élevé (100% de problèmes résolus) et une notation maximum (4). Les participants de la condition hiérarchisée semblent présenter une meilleure réussite corrélée à une meilleure représentation des problèmes.

7.8. Discussion de l'expérience 5

Selon nos hypothèses, présenter des problèmes de manière hiérarchisée, c'est à dire en suivant leur niveau de difficulté, favorise la résolution, exige moins de ressources cognitives et favorise l'élaboration de connaissances. Les résultats obtenus dans cette étude n'appuient que partiellement nos hypothèses. Le mode d'organisation hiérarchisée favorise la résolution des problèmes – les participants de ce groupe résolvent davantage de problèmes – et l'élaboration de connaissances – les participants de ce groupe verbalisent des règles de résolution plus élaborées. Cependant, l'effort mental perçu est le même pour les deux conditions. Celui-ci est globalement faible (4.625 en moyenne sur une échelle en neuf points). La tâche semble peu coûteuse en ressources cognitives.

Contrairement à ce que suggéraient Pass et van Merriënboer (1994), la différence de charge cognitive ne semble pas être l'hypothèse expliquant les différences observées dans la résolution de problèmes suivant deux modes d'organisation différents. Pour Pass et van Merriënboer (1994), performance rime avec faible effort mental. Aider les participants à réussir s'accompagne de diminuer la charge cognitive liée à la tâche. Nos résultats ne montrent pas de différences au niveau de l'effort perçu lors de la réalisation de la tâche

Pass et van Merriënboer (2003) propose une approche combinant la performance et l'effort mental afin d'estimer la relative efficacité d'un type d'instruction. Utilisant les résultats de Pass (1992), ils proposent d'utiliser le niveau mental perçu ainsi que la performance des participants (pourcentage de bonnes réponses) pour calculer l'efficacité des trois modes

d'instruction proposés. En se référant à leur approche, nous pouvons calculer l'efficacité des modes d'organisation ordonné et aléatoire à partir des niveaux de réussite des participants et des niveaux d'effort mental perçu lors de la réalisation de la tâche de résolution de problèmes³⁶. Comme le montre la Figure 57, la présentation hiérarchisée des problèmes présente une plus haute efficacité que la présentation aléatoire des mêmes problèmes. Dans cette figure, l'indice d'efficacité est noté par la lettre 'E'. Il est de 0.23 pour la condition hiérarchisée vs de -0.23 pour la condition aléatoire.

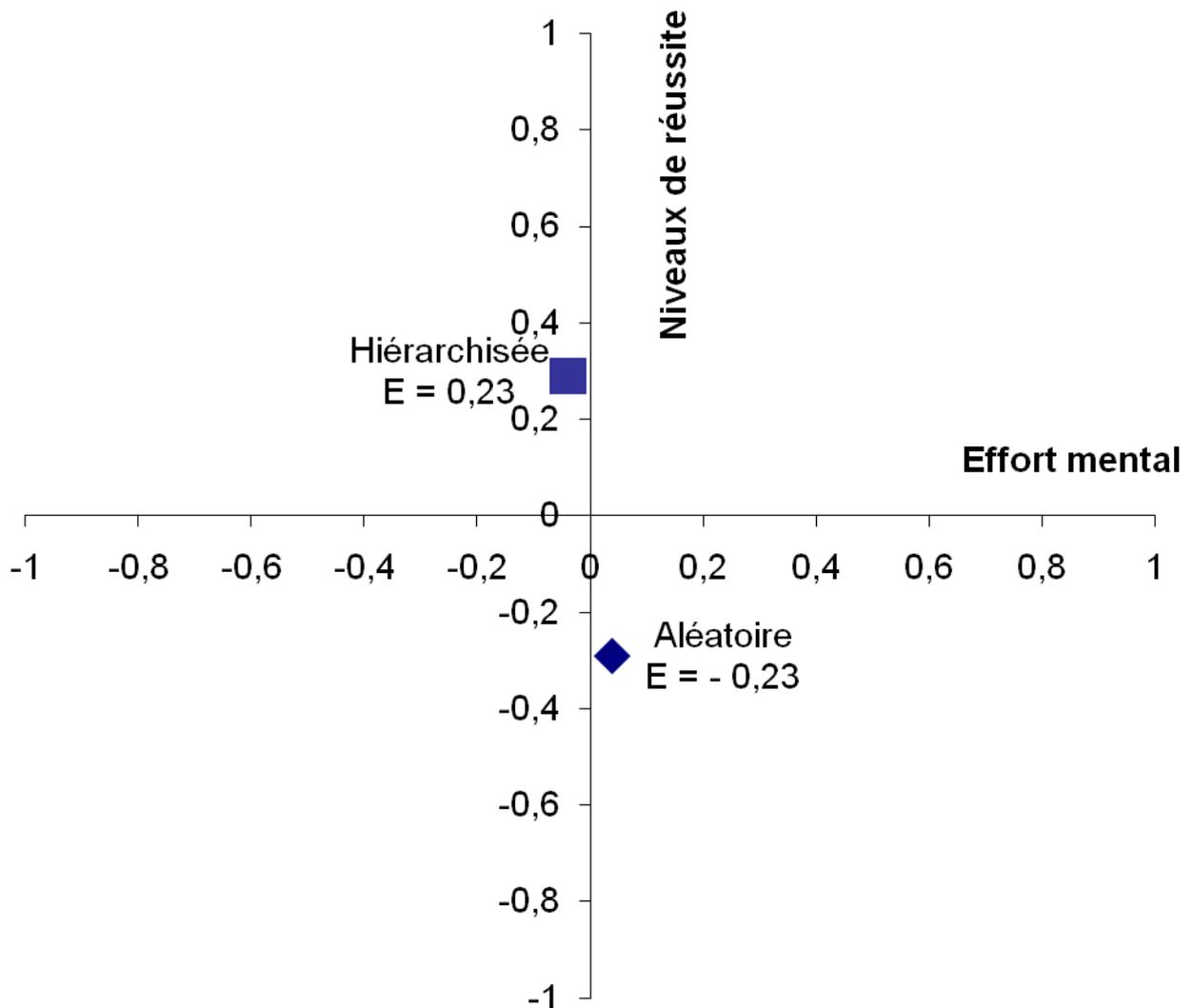


Figure 57 : Représentation de l'efficacité deux modes de présentation. L'indice d'efficacité 'E' est placé sur le graphique pour chaque condition (aléatoire et hiérarchisée).

³⁶ A partir des données brutes (niveaux de réussite et niveaux d'effort mental perçu), des z scores sont calculés par la formule suivante : $z = (\text{niveau} - \text{moyenne des niveaux toutes conditions confondues}) / \text{écart-type toutes conditions confondues}$. Les z scores permettent de placer les indices d'efficacité noté 'E' par rapport aux axes du graphique.

Selon nos résultats, présenter les problèmes suivant une hiérarchie de difficulté présente une plus grande efficacité (0.23 vs -0.23). Ceci peut être mis en lien avec les conclusions de Pass (1992). Selon lui, les meilleures performances aux problèmes tests des groupes 'exemple à étudier' et 'exemple à compléter' peuvent être attribuées à l'acquisition de schémas supérieurs, ceux-ci étant le résultat d'un apprentissage lors de la phase d'entraînement. Face à une présentation hiérarchisée, les participants élaboreraient des règles de résolutions au fur et à mesure de la tâche. Celles-ci seraient regroupées en schémas permettant la reconnaissance puis la résolution des autres problèmes. Cette hypothèse permet d'unifier les résultats de la deuxième expérience et de celle-ci. Les schémas élaborés dans la condition hiérarchisée seraient plus riches (meilleures verbalisations) et faciliteraient la résolution de nouveaux problèmes (meilleures réussites aux problèmes de transfert). Ces résultats vont à l'encontre des travaux sur l'interférence contextuelle. Selon Lee et Magill (1983) et van Merriënboer et al (2006), c'est la variabilité qui favorise la richesse des schémas élaborés.

Ces règles de résolution, élaborées lors de la confrontation aux problèmes, semblent suffisamment détachées de l'aspect visuel des problèmes pour permettre la résolution de nouveaux problèmes. Cependant, pouvons-nous parler de décontextualisation ? Ces règles de résolution sont-elles suffisamment abstraites pour influencer la réussite de problème présentant un tout autre habillage ? L'expérience suivante est menée afin de tester cette hypothèse.

7.9. Transfert face à de nouveaux problèmes

Par cette nouvelle expérimentation, nous souhaitons évaluer si l'impact du mode d'organisation sur l'apprentissage peut se répercuter sur la réussite de nouveaux problèmes présentant un autre habillage, c'est à dire issus d'un autre jeu. Nous avons montré qu'un mode d'organisation hiérarchisé permet aux participants d'élaborer des connaissances que nous posons comme des règles de résolution. Ces connaissances peuvent être transférées afin de réussir à résoudre des nouveaux problèmes de Démineur©. Cependant, ces connaissances sont-elles suffisamment décontextualisée et donc généralisées pour favoriser la réussite de nouveaux problèmes issus d'un autre contexte mais partageant le même espace de problème ?

Bassok et Holyoak (1989) ont réalisé trois expériences visant à examiner le transfert entre deux domaines isomorphiques de l'algèbre et de la physique : la progression arithmétique et l'accélération constante. Dans la première étude, ils soumettent les participants à un pré-test, à une leçon avec des problèmes à résoudre qui sont corrigés, puis à un post test (le lendemain). Le pré-test et la leçon porte soit sur l'algèbre soit sur la physique. Le post-test porte sur l'autre domaine. Les résultats montrent un taux élevé de transfert (72%) lorsque que la phase d'apprentissage porte sur l'algèbre et que la phase de transfert est constitué de problèmes de physique ; et un taux faible (10%) lorsque le protocole est inverse (apprentissage : physique et transfert : algèbre). Le transfert semble ne pas être symétrique. Les auteurs observent un bon transfert lorsque les participants ont travaillé sur des problèmes d'algèbre. Ils attribuent cette différence à la diversité des problèmes d'algèbre. La deuxième expérience teste cette hypothèse. Ils utilisent, dans la phase d'apprentissage soit des problèmes d'algèbre similaires soit des problèmes d'algèbre différents. Les résultats ne présentent pas de différences de

transfert. Les auteurs posent alors l'hypothèse que c'est le contexte de la tâche qui influence le transfert. Ils la testent dans une troisième expérience. Ils font varier le contexte du transfert : une condition contrôle identique au protocole (pré-test, leçon avec problèmes à résoudre, post-test) des expériences précédentes (« *heading condition* ») ; une condition pour laquelle sont introduites cinq pages d'introduction à la physique en générale (« *physics condition* ») ; et une condition pour laquelle est introduite une page de présentation de la notion d'accélération en physique (« *motion condition* »). Les participants ne sont soumis qu'à une condition. C'est la dernière condition qui rapporte le moins de transfert (35% vs 59% pour les deux autres conditions). Ces résultats vont dans le sens de la dernière hypothèse. Le contexte influence le transfert. Lorsque celui-ci est spécifique alors le transfert de connaissances venant d'un autre domaine est restreint. La généralité des connaissances semble être un facteur important de la réussite du transfert.

La présentation hiérarchisée des problèmes du Démineur© favorisant l'élaboration de connaissances générales, nous faisons l'hypothèse que ces connaissances pourront être transférées à d'autres problèmes présentant un espace de problèmes similaire.

Le jeu utilisé ici pour construire les nouveaux problèmes est le jeu du Sudoku©³⁷ (Figure 58). Il présente un visuel différent du jeu du Démineur©. Cependant, il est régit par la même règle de soustraction des espaces que le jeu du Démineur©.

5	3			7				
6			1	9	5			
	9	8					6	
8				6				3
4			8		3			1
7				2				6
	6					2	8	
			4	1	9			5
				8			7	9

Figure 58 : Jeu du Sudoku©

Nous faisons l'hypothèse que les participants soumis aux problèmes du Démineur© avec un mode d'organisation hiérarchisé dans une première phase réussiront davantage de problèmes de Sudoku© présentés dans une deuxième phase que les participants soumis aux problèmes issus du Démineur© présentés de manière aléatoire.

³⁷ Ce jeu, défini en 1979 par Garns, est inspiré du Carré latin. Il se compose d'une grille de neuf carrés comportant chacun neuf cases. Le but du jeu est de remplir toutes les cases avec un chiffre de 1 à 9. Le même chiffre ne pouvant se trouver sur la même ligne, la même colonne ou à l'intérieur d'un même carré. Quelques chiffres sont déjà disposés dans la grille. Leur nombre et leur emplacement conditionnent la difficulté de la grille.

7.10. Méthode

7.10.1. Participants

73 volontaires (31 étudiants de l'Université de Franche-Comté et 42 étudiants de l'Université de Bourgogne) ont participé volontairement à cette expérience (23 garçons ; âge moyen 20 ans et 1 mois ; écart type 12 mois). Ils sont non naïfs puisqu'ils connaissent les jeux du Démineur© et du Sudoku©.

7.10.2. Matériel

Nous utilisons les trente problèmes issus du jeu du Démineur©, déjà utilisés dans les expériences précédentes, ainsi que dix problèmes issus du jeu du Sudoku© (cf. annexe n°1). Ces dix problèmes sont composés d'une partie de la grille de Sudoku©. Ils comportent trois carrés de neuf cases et quatre chiffres par carré. Ils sont de difficulté égale. La question, symbolisée par un point d'interrogation, n'est posée que sur une case, comme pour les problèmes issus du jeu du Démineur©. La moitié des problèmes peut être résolue (la réponse est un chiffre entre un et neuf) ; ce sont les problèmes résolubles. L'autre moitié est composé de distracteurs pour lesquels la réponse est 'NSP' c'est à dire 'je ne sais pas' ; ce sont les problèmes non résolubles. La Figure 59 montre deux problèmes utilisés dans cette expérience.

		3	4		1
1		?		9	
5		9			6
7					
	4				
2		1			

La réponse est '4'

		?	2		8
1		5			4
	7	9	3		
8		4			
	1				
		7			

La réponse est 'NSP'

Figure 59 : Exemples de problèmes issus du jeu du Sudoku© (problèmes 1 et 9)

Pour chaque problème, la tâche du participant est de décider quel chiffre se cache sous le point d'interrogation (de '1' à '9'). Pour la moitié des problèmes, les indices ne permettent pas de décider. Dans ce cas, le participant doit cliquer sur la case 'NSP' (ne sait pas).

Nous utilisons notre didacticiel pour présenter les différents problèmes aux participants. La Figure 60 présente une situation de passation. La consigne est indiquée en haut. Elle rappelle la tâche aux participants pour chaque problème. Le problème issu du jeu du Sudoku© est

présenté au milieu. Les dix boutons réponse (chiffre de '1' à '9' + bouton 'NSP') sont présentés en-dessous du problème.

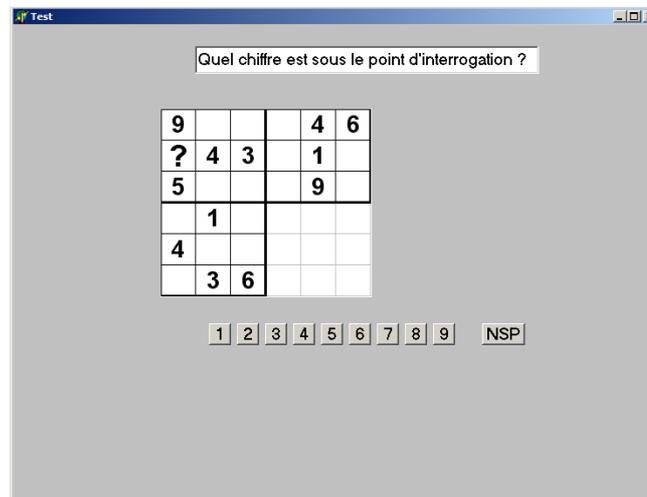


Figure 60 : Situation de passation (problème 6)

7.10.3. Procédure

Les participants sont répartis aléatoirement et équitablement entre les deux conditions expérimentales. Dans une première phase, ils sont confrontés aux problèmes issus du jeu du Démineur©, présentés, l'un après l'autre, aléatoirement ou de manière hiérarchisée (du plus facile au plus difficile). Dans une seconde phase, les participants sont confrontés aux problèmes issus du Sudoku©. Ces problèmes sont présentés un par un et de manière aléatoire. La seconde phase débute après une courte pause (matérialisée par un écran indiquant « quand vous êtes prêts cliquez sur 'ok' »). Le participant décide du temps qu'il consacre à la pause.

7.11. Résultats

7.11.1. Performances aux problèmes du Démineur©

La Figure 61 présente les niveaux de réussite moyens obtenus par les participants des deux conditions. La condition hiérarchisée présente un niveau de réussite plus élevé que la condition aléatoire (0.97 vs 0.93) et cette différence est significative ($F(1, 71) = 8,141, p < .006$).

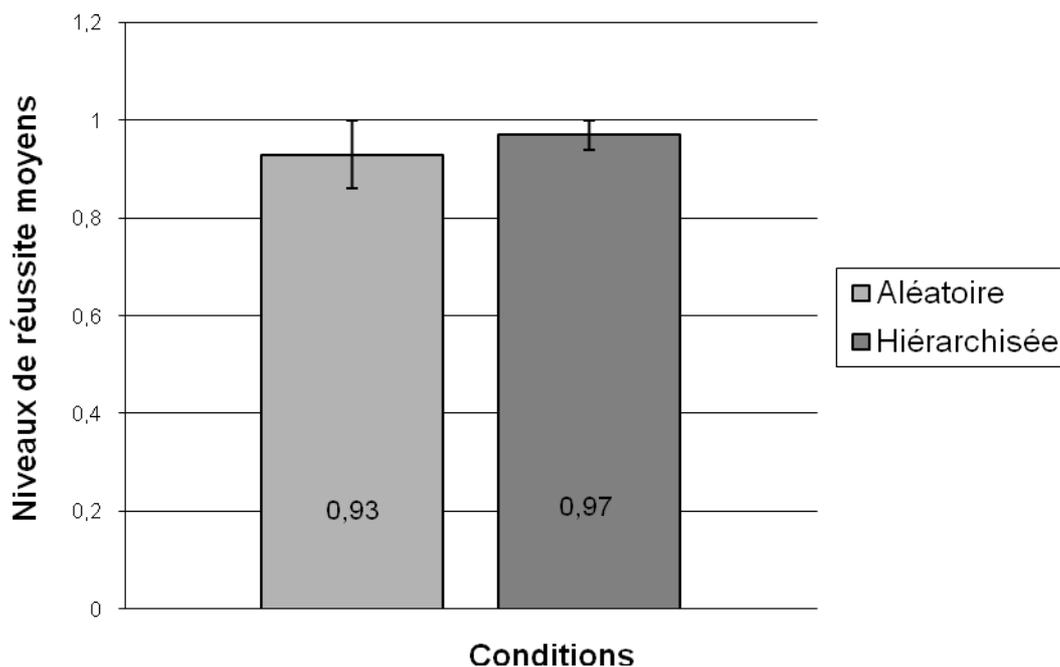


Figure 61 : Niveaux de réussite moyens aux problèmes issus du jeu du Démineur© pour les deux conditions (aléatoire et hiérarchisée).

Comme lors des expériences précédentes, les participants confrontés aux problèmes de manière hiérarchisée réussissent davantage de problèmes que les participants confrontés aux mêmes problèmes présentés de manière aléatoire).

7.11.2. Performances aux problèmes du Sudoku©

Nous nous intéressons aux niveaux de réussite moyens aux problèmes de Sudoku© en fonction du mode d'organisation des problèmes de Démineur© (Figure 62). C'est à dire au nombre de problèmes de Sudoku© réussis divisé par le nombre de problèmes rencontrés (dix) en fonction de la condition expérimentale. Le niveau de réussite varie donc de zéro à un.

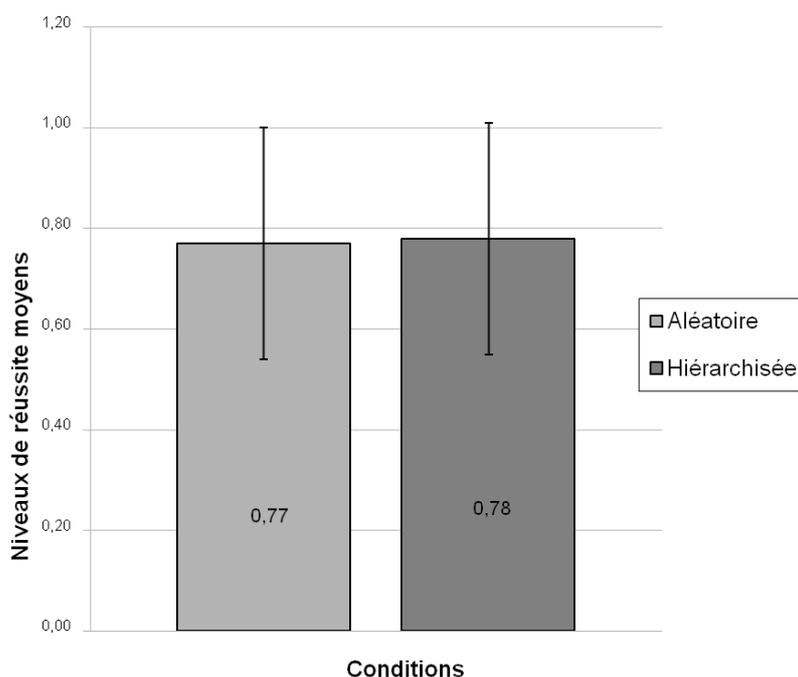


Figure 62 : Niveaux de réussite moyens aux problèmes de Sudoku© en fonction du mode d'organisation des problèmes de Démineur©

La différence de performance entre les deux groupes expérimentaux n'est pas significative ($F(1, 71) = .013$, ns). Qu'ils aient été face aux problèmes issus du Démineur© de manière hiérarchisée ou aléatoire, cela n'influence pas le niveau de réussite des participants aux problèmes de Sudoku© (0.77 vs 0.78). Et cela que les problèmes soient résolubles ou non. Les participants de la condition aléatoire réussissent 82% des problèmes issus du jeu du Sudoku© lorsqu'ils sont résolubles et 73% lorsqu'ils ne le sont pas. Les participants de la condition hiérarchisée réussissent 80% des problèmes résolubles et 76% des problèmes non résolubles. Ces différences montrées par le Tableau XIV ne sont pas significatives : il n'y a pas d'effet simple du type de problèmes ($F(1,71) = 2.511$, ns), ni d'effet secondaire par condition ($t(35) = 1.498$, ns pour la condition aléatoire ; $t(36) = 738$, ns pour la condition hiérarchisée)

Tableau XIV : Niveaux de réussite moyens aux problèmes de Sudoku© (résolubles ou non) en fonction de la condition expérimentale (hiérarchisée ou aléatoire). Les écarts-types sont entre parenthèses.

Aléatoire		Hiérarchisée	
Problèmes résolubles	Problèmes non résolubles	Problèmes résolubles	Problèmes non résolubles
0,82 (0,21)	0,73 (0,35)	0,80 (0,21)	0,76 (0,35)

D'autre part, nous n'observons pas de différences significatives au niveau des temps de réponse ($F(1, 71) = .042$, ns). Les participants du groupe aléatoire mettent en moyenne 9.25 secondes à résoudre un problème de Sudoku© vs 9.40 secondes pour les participants du groupe ordonné.

7.12. Discussion de l'expérience 6

Contrairement à nos hypothèses, les participants confrontés aux problèmes du Démineur© de manière hiérarchisée ne réussissent pas mieux les problèmes de Sudoku©. Les connaissances qu'ils ont pu acquérir lors de la résolution des problèmes de Démineur© ne semblent pas les aider à résoudre les problèmes de Sudoku©. Les connaissances acquises semblent rester trop spécifiques pour permettre leur utilisation face aux problèmes issus du Sudoku©. Le contexte d'apprentissage semble jouer un rôle d'ancrage fort des connaissances élaborées. Les traits de surface capturent les connaissances élaborées (selon Simon et Hayes, 1976, la représentation interne du problème est fortement dépendante de l'énoncé du problème). Elles ne sont alors pas transférables à des problèmes ayant des traits de surface différents (Sudoku©).

Ces résultats vont dans le sens des conclusions de Hayes et Simon (1977). Dans leurs recherches, ils utilisent des problèmes dérivés de celui de la tour d'Hanoï. Ce sont des problèmes de déplacement et des problèmes de changement. Bien qu'ils disposent du même espace de problèmes, il faut plus de temps aux participants pour résoudre les problèmes de changement que pour résoudre les problèmes de mouvement. Ils ont plus de mal à transférer les règles apprises lors de la résolution du problème de la Tour d'Hanoï (problème de mouvement) face à des problèmes de changement même s'ils présentent la même structure. Pour comprendre ces résultats, ils avancent l'hypothèse suivante : même si la structure est identique pour les deux catégories de problèmes, elle diffère sémantiquement et c'est cela qui affecte la résolution. Après deux séries d'expériences utilisant des problèmes dérivés des travaux de Hayes et Simon (1977), Kotovsky et Fallside (1989) concluent que c'est la qualité de la représentation du problème qui détermine le transfert. Ils appuient ainsi l'hypothèse émise par Hayes et Simon. Celle-ci est également appuyée par les travaux de Wason (1968) sur le problème des quatre cartes. Pour résoudre ce problème logique, les participants doivent déterminer la ou lesquelles des quatre cartes présentées devant eux, ils doivent retourner pour vérifier la règle énoncée. Lorsque celle-ci est du type : il y a un chiffre pair au recto des cartes marquées d'une voyelle, la plupart des participants échouent. A l'inverse, lorsque la règle est du type : pour boire de l'alcool, il faut être majeur, la plupart des participants résolvent les problèmes. Ainsi, les problèmes présentant une sémantique concrète sont mieux réussis que les problèmes abstraits alors qu'ils présentent le même espace de problèmes. Ici encore, la représentation qui est faite du problème semble entrer en jeu. En allant plus loin, Spencer et Weisberg (1986) manipulent le contexte de la mise en situation de problèmes. Ils utilisent les mêmes problèmes que ceux utilisés par Gick et Holyoak (1983) présentés en laboratoire et dans une classe traditionnelle. Leurs résultats mettent en avant que les différences de contexte annulent les transferts spontanés. Les auteurs posent l'hypothèse que le contexte serait encoder avec le schéma de résolution et permettrait de le retrouver. Sans instructions et sans indices contextuels, les participants seraient dans l'incapacité de retrouver le schéma de résolution adapté.

Dans notre expérience, les problèmes issus du jeu du Sudoku© semblent trop éloignés, au niveau de leur contexte visuel, pour que le transfert de connaissances à partir des problèmes issus du jeu du Démineur© soit possible. Nous pouvons également faire l'hypothèse que les problèmes issus du jeu du Sudoku© étaient trop simples pour qu'un effet de transfert soit visible (les participants réussissent les problèmes à 77.5%, les deux conditions confondues).

7.13. Bilan du chapitre 7

Les résultats de l'expérience n°4, présentée dans ce chapitre, n'appuient pas l'hypothèse selon laquelle une charge cognitive trop importante pénalise la réussite des participants lorsque les problèmes sont présentés de manière aléatoire. Cependant, ils permettent de valoriser le mode d'organisation hiérarchisé puisque celui-ci favorise davantage la réussite des participants face à de nouveaux problèmes. Ce mode d'instruction hiérarchisé favoriserait l'élaboration de schémas de résolution qui seraient utilisés pour résoudre les nouveaux problèmes.

L'expérience n°5 a permis de vérifier ces hypothèses. Par une mesure subjective de l'effort mental perçu, elle écarte l'hypothèse de l'implication de la charge cognitive, appuyant ainsi les résultats observés dans l'expérience n°4. Les participants soumis à un mode d'organisation hiérarchisé verbalisent des schémas de résolution plus élaborés. Ceci supporte l'hypothèse que ce mode d'instruction conduit davantage à l'élaboration de schémas de résolution.

L'expérience n°6 apporte des résultats quant aux niveaux de décontextualisation de ces schémas. Bien qu'ils permettent aux participants du mode d'organisation hiérarchisé de réussir davantage de nouveaux problèmes, ils ne permettent pas de modifier le niveau de réussite des participants face à des problèmes issus d'un autre contexte de jeu.

Pour conclure ce chapitre, nous pouvons appuyer notre hypothèse selon laquelle un mode d'instruction adapté permet de favoriser l'apprentissage et la réussite. La proximité structurelle des problèmes en mode hiérarchisé incitent les participants à élaborer des règles de résolution globales. Celles-ci seraient élaborées et enrichies tout au long de la passation. Elles favoriseraient la réussite face à de nouveaux problèmes si ceux-ci appartiennent au même contexte de jeu.

L'importance du contexte visuel dans la mobilisation des schémas est également présentée. Le contexte visuel des problèmes a un impact fort sur la mobilisation des schémas de résolution élaborés. En effet, cette mobilisation n'est possible que face à des problèmes de même contexte de jeu.

La prévalence du mode d'instruction hiérarchisé sur un mode d'instruction aléatoire est renforcée par les expériences présentées dans ce chapitre. L'indice d'efficacité l'appuie également.

Chapitre 8 : Conclusions

Nous avons présenté plusieurs expériences menées afin de tester trois hypothèses opérationnelles. La première mettait en avant l'influence du mode d'instruction sur le processus de résolution privilégié par les participants. Elle s'appuyait sur les travaux issus du champ de l'interférence contextuelle pour poser qu'un mode d'instruction intégrant de la variabilité conduit l'apprenant à s'investir davantage dans l'élaboration de connaissances générales. La première expérience répond en partie à cette hypothèse.

Les résultats montrent, contrairement à notre hypothèse, que la variété visuelle favorise l'attachement aux problèmes d'apprentissage et non l'élaboration d'une connaissance synthétique. Les transitions observées nous incitent à penser que les participants ressentent le besoin de se référer aux problèmes d'apprentissage car ils n'ont pas élaboré de schémas de connaissances générales leur permettant de faire face aux nouveaux problèmes. Ces résultats nous conduisent à penser que les traits des surfaces impactent le processus de résolution. Ils montrent qu'une similarité visuelle incite les participants à élaborer une connaissance abstraite des problèmes puisque les participants de cette condition éprouvent moins le besoin de se référer aux problèmes d'apprentissage lors de la résolution des problèmes tests que les participants de l'autre condition. Les résultats ne montrent pas d'effet du type de problèmes d'apprentissage sur la réussite des problèmes tests. Une analyse problème par problème révèle que ceux utilisés dans l'expérience ne présentent pas le même niveau de difficulté pour les participants lorsqu'ils sont visuellement différents. Afin de compenser ce facteur, nous faisons l'hypothèse qu'une présentation hiérarchisée des problèmes en fonction de leur difficulté favorisera la réussite aux problèmes tests.

Les résultats de la seconde expérience appuient cette hypothèse. Ils montrent un effet de l'ordre des problèmes mais pas d'effet de la variabilité visuelle. Le mode d'instruction basé sur une hiérarchisation des problèmes en fonction de leur difficulté favorise significativement la réussite des participants aux problèmes de transfert comparée aux conditions utilisant une variabilité organisationnelle, que les problèmes soient proches visuellement ou non.

Ces résultats nous conduisent à notre seconde hypothèse opérationnelle selon laquelle proposer une hiérarchie des problèmes basée sur leur niveau de difficulté favorise la résolution de problèmes et l'élaboration de schémas de résolution. Les résultats de l'expérience n°3 appuient cette hypothèse. Utilisant trente problèmes, elle valide l'impact positif d'un mode d'organisation hiérarchisé sur la résolution de problèmes même complexes. Les participants confrontés aux problèmes de manière aléatoire échouent à résoudre les problèmes. Tout comme observée précédemment la variabilité ne favorise pas la réussite des participants. Au contraire, nous observons que les participants confrontés au mode d'apprentissage hiérarchisé résolvent davantage de problèmes tests que l'autre groupe. De plus, ils rapportent une plus grande élaboration des règles de résolution dans l'expérience n°5. Hiérarchisée l'organisation d'une tâche en fonction de la difficulté des problèmes favorisent la résolution de problèmes même complexes ainsi que l'élaboration de connaissances abstraites identifiées en tant que schémas de résolution. La proximité visuelle et structurelle des problèmes dans un mode d'instruction hiérarchisée incite le participant à comparer les problèmes qu'ils rencontrent au fur et à mesure de la passation. Cette comparaison permettant d'élaborer des schémas de résolution du type : *lorsqu'il y a un '2' et un '1' côte à côte, il y a forcément une mine sous la case non adjacente au '1'*. Ces schémas soutiennent la résolution

des problèmes complexes de la tâche ainsi que des nouveaux problèmes de la phase tests (expérience n°4). Ces schémas sont verbalisés dans l'expérience n°5. Cependant, ces schémas de résolution restent fortement attachés au contexte des problèmes (le jeu du Démineur©). Les résultats de l'expérience n°6 montrent bien que l'acquisition de ces schémas lors de la phase d'apprentissage ne suffit pas à améliorer les performances des participants face à des problèmes issus d'un contexte différent (le jeu du Sudoku©).

Les expériences n°4 et 5 apportent d'autres résultats. Notre troisième hypothèse se basait sur les travaux liés à la théorie de la charge cognitive, présentée par Sweller (1988). Nous faisons l'hypothèse qu'un mode d'organisation favorise l'apprentissage et la réussite lorsque la charge cognitive n'est pas trop importante. Cette hypothèse pouvait venir étayer les conclusions des trois premières expériences, selon lesquelles le mode d'instruction hiérarchisé en fonction de la difficulté des problèmes favorise la réussite face à de nouveaux problèmes. Les résultats de l'expérience n°4 n'appuient pas la théorie de la charge cognitive comme hypothèse explicative des résultats observés. En effet, aucune différence n'est observée entre les deux conditions à la seconde tâche. Ce protocole de mesure ne semble pas permettre une mesure de la charge cognitive liée à la tâche de résolution de problème. D'après les résultats, la double tâche semble contaminée la tâche principale de résolution.

L'expérience n°5 utilise une échelle subjective afin de mesurer la charge cognitive liée aux modes de présentation utilisés (aléatoire ou hiérarchisé). Et les résultats observés excluent définitivement l'hypothèse explicative de la charge cognitive. Il n'y a pas d'effet du mode d'instruction sur le niveau d'effort mental relevé. Celui-ci est plutôt faible. La tâche de résolution ne semble pas mobiliser beaucoup de ressources cognitives chez les participants, quel que soit le mode d'instruction. Notre troisième hypothèse opérationnelle n'est pas appuyée par nos expériences. La charge cognitive liée au mode d'instruction n'est pas une hypothèse explicative des résultats observés. Aucune différence de charge cognitive n'est observée entre les deux modes d'instruction testés quel que soit la méthode de mesure utilisée.

En conclusion, ce travail a permis d'établir plusieurs résultats. Le premier est bien sûr la prévalence du mode d'instruction hiérarchisé sur la variabilité. Le second est que cette observation n'est pas liée à la charge cognitive du mode d'instruction. Et le dernier point que nous pouvons mentionner est que ce mode d'instruction offre un niveau d'étayage suffisant à la résolution de problèmes complexes ou nouveaux ainsi qu'à l'élaboration de connaissances abstraites et structurées. Celles-ci restent cependant attachées au contexte des problèmes.

L'hypothèse générale de ce travail de recherche était de définir quel mode d'instruction favorise la comparaison des problèmes et par là même l'élaboration de connaissances générales. Il semble apparaître de nos résultats qu'un mode d'instruction hiérarchisé remplit cette condition.

Les travaux présentés dans ce travail répondent à trois principaux domaines de recherche. Ils viennent tout d'abord à l'encontre des conclusions amenées par le champ de l'interférence contextuelle. En effet, contrairement à ce qui est avancé, la prévalence de la variabilité n'est pas confirmée par nos résultats. Pass et van Merriënboër (1994) soulignait déjà les limites de ce champ expérimental. Ce modèle a conduit à privilégier une instruction composée avec une

forte variabilité interne. Cependant, les travaux issus de la théorie de la charge cognitive condamnaient cette préconisation. Selon eux, la variabilité produit une forte interactivité qui surcharge la mémoire de travail de l'apprenant, rendant impossible la résolution et/ou l'extraction de connaissances. Les résultats de nos travaux ne permettent cependant pas de maintenir cette hypothèse. En effet, aucune preuve n'est apportée confirmant l'implication de la charge cognitive du mode d'instruction dans les performances observées. Les résultats observés sont davantage en accord avec le modèle de la hiérarchie d'apprentissage présentée par Gagné (1962, 1968). Nous observons dans ce travail une prévalence nette d'un mode d'instruction utilisant une hiérarchisation des problèmes en fonction de leur niveau de difficulté. Cette démonstration expérimentale est une confirmation de l'à priori subjectif ressentis par les professionnels de la formation.

De nombreuses recherches ont été menées afin d'appliquer des principes cognitifs au monde de l'enseignement. Le type d'instruction semblant influencer de manière forte l'apprentissage, les pédagogues s'emparent des modèles d'« *Instructional design* » (Dessus, 2006). Parallèlement, nous avons pu voir que réussir une tâche n'est pas forcément un gage d'apprentissage. Nous avons également observé que le mode de présentation et d'organisation de la tâche est à prendre en compte. Dans la poursuite des recherches présentées dans la première partie, nous nous sommes interrogés sur l'influence du mode de présentation et d'organisation des problèmes sur leurs réussites et sur l'apprentissage. L'intérêt de cette recherche est réellement pratique, liée au contexte de l'enseignement et de la formation. Même si des réserves sont posées par Paas et van Merriënboer (1994), il nous semble envisageable que les situations d'expérimentation en laboratoire puissent être appliquées dans le contexte scolaire. Pour nous, et à la suite de Sweller et Chandler (1991), l'intérêt d'une recherche est à mesurer par ses applications concrètes. C'est donc dans une volonté de cohésion avec le monde de la pédagogie et de l'enseignement que nous avons mené cette recherche. Nous souhaitons apporter des éléments quant à la préparation de séquences d'apprentissage. Nos préconisations sont donc d'établir des séquences d'apprentissage en respectant une certaine proximité visuelle et structurelle des problèmes afin que cette proximité incite l'apprenant à extraire une structure de résolution commune des problèmes rencontrés dans la séquence.

Bibliographie

- Adamatzky A. (1997). How cellular automaton plays Minesweeper. *Applied mathematics and computation*, 85, 127-137.
- Adams J.A. (1990). The Changing face of motor learning. *Human Movement science*, 9, 209-220.
- Ahn, W., Brewer, W., & Mooney, R. (1992). Schema acquisition from a single example. *Journal of experimental psychology: learning, memory and cognition*, 18(2), 391-412.
- Baddeley, A.D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 8, pp. 47-89). New York: Academic Press.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1994). *Developments in the concept of working memory*. *Neuropsychology*, 8(4), 485-493.
- Barrouillet, P. (1996). Ressources, capacités cognitives et mémoire de travail : postulats, métaphores et modèles. *Psychologie française*, 41(4), 319-338.
- Bartlett, F. (1932). *Remembering*. Oxford : Macmillan.
- Bassok, M., & Holyoak, K. (1989). Interdomain transfer between isomorphic topics in algebra and physics. *Journal of experimental psychology : learning, memory and cognition*, 15(1), 153-166.
- Battig, W. (1972). Intratask interference as a source of facilitation in transfer and retention. In R. Thompson, & J. Voss (Eds.), *Topics in learning and performance* (pp. 131-159). New-York : Academic Press.
- Bernardo, A. (1994). Problem-specific information and the development of problem-type schemata. *Journal of experimental psychology : learning, memory and cognition*, 20(2), 379-395.
- Borg, G. (1978). Subjective aspects of physical and mental load. *Ergonomics*, 21(3), 215-220.
- Borg, G., Bratfish O., & Dornic S. (1971). On the problems of perceived difficulty. *Scandinavian journal of psychology*, 12(4), 249-260.
- Boucheix, J-M., & Lowe, R. (2009). An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations. *Learning and instruction*, 1-13.
- Brady, F. (1998). A theoretical and empirical review of the contextual interference effect and the learning of motor skills. *Quest*, 50, 266-293.
- Brien R., & Lagana S. (1979). L'utilisation des diagrammes logiques dans la construction des hiérarchies d'apprentissage. *Revue des sciences de l'éducation*, 5(1), 71-85.
- Bruce, D., & Bahrack, H. P. (1992) Perceptions of past research. *American Psychologist*, 47(2), 319-328.

- Brünken, R., Steinbacher, S., Plass, J., & Leutner, D. (2002). Assessment of cognitive load in multimedia learning using dual-task methodology. *Experimental psychology*, 49(2), 109-119.
- Camp, G., Pass, F., Rikers, R., & Van Merriënboer, J. (2001). Dynamic problem selection in air traffic control training: a comparison between performance, mental effort and mental efficiency. *Computer in Human Behaviour*, 17, 575-595.
- Carlson, R., & Yaure, R.G. (1990). Practice schedules and use of component skills in problem solving. *Journal of experimental psychology: Learning, memory and cognition*, 16(3), 484-496.
- Cauzinille-Marmèche, E., & Didierjean, A. (1999). Raisonement par analogie et généralisation des connaissances. In G. Netchine-Grynberg (Ed.), *Développement et fonctionnement cognitif : vers une intégration* (pp. 125-152). Paris : PUF.
- Cepeda, N., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J., & Rohrer, D. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks: a review and quantitative synthesis. *Psychological bulletin*, 132(3), 354-380.
- Champagnol, R. (1974). Aperçu sur la pédagogie de l'apprentissage par résolution de problèmes. *Revue française de pédagogie*, 28(1), 21-27.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the format of instruction. *Cognition and instruction*, 8(4), 293-332.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied psychology*, 10, 157-170.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). La charge cognitive théorie et applications. Paris : Armand Colin.
- Chase, W.G., & Simon, H.A. (1973). Perception in chess. *Cognitive psychology*, 4, 55-81.
- Chen Z. & Mo L. (2004). Schema induction in problem solving : a multidimensional analysis. *Journal of experimental psychology : learning, memory and cognition*, 30(3), 583-600.
- Cheng, P., & Holyoak, K. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive psychology*, 17, 391-416.
- Cheng, P. W., Holyoak, K., Nisbett R., & Olivier, L.M. (1986). Pragmatic versus syntactic approaches to training deductive reasoning. *Cognitive psychology*, 18, 293-328.
- Chi, M., Feltovich, P., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive psychology*, 5, 121-152.
- Clément, E. (2009). *La résolution de problème*. Paris : Armand Colin.
- Clément, E. (2006). Approche de la flexibilité cognitive dans la problématique de la résolution de problème. *L'année psychologique*, 106, 415-434.
- Colle, H., & Reid G. (1998). *Context effects in Subjective Mental Workload Ratings*. *Human factors*, 40(4), 591-600.
- Cooper, G., & Sweller J. (1987). Effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of educational psychology*, 79(4), 347-362.

- Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2001). Learning by imagining. *Journal of Experimental Psychology : Applied*, 7, 68-82.
- Cummins, D. (1992) Role of analogical reasoning in the induction of problem categories. *Journal of experimental psychology: learning, memory and cognition*, 18(5), 1103-1124.
- De Croock, M. & van Merriënboer, J. (2007). Paradoxical effects of information presentation formats and contextual interference on transfer of a complex cognitive skill. *Computer in human behaviour*, 23, 1740-1761.
- De Croock, M. & van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). High versus low contextual interference in simulation-based training of troubleshooting skills: effects on transfer performance and invested mental effort. *Computer in human behaviour*, 14(2), 249-267.
- Dessus, P. (2006). Quelles idées sur l'enseignement nous révèlent les modèles d'Instructional Design ? *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 28(1), 137-157.
- Didierjean, A. (2001). Apprendre à partir d'exemples : abstraction de règles et/ou mémoire d'exemplaire. *L'année psychologique*, 101, 325-348.
- Didierjean, A. (2003). Is case-based reasoning a source of knowledge generalisation? *European journal of cognitive psychology*, 15(3), 435-453.
- Didierjean, A., & Cauzinille-Marmèche, E. (1998). Reasoning by analogy: Is it schema-mediated or case-based. *European journal of cognitive psychology*, 13(3), 385-398.
- Duncker, K. (1945). On problem-solving. *Psychological Monographs*, 58(5).
- Estay, J-M. (1982). *Heuristiques d'analyse topologique appliquées au jeu de scrabble*. Thèse de Doctorat en psychologie non publiée. Université de Rennes, Rennes, France.
- Frederiksen, J., & White, B. (1989). An approach to training based upon principled task decomposition. *Acta psychological*, 71, 89-146.
- Gagné, R. (1962). The acquisition of Knowledge. *Psychological review*, 69(4), 355-365.
- Gagné, R. (1968). Learning hierarchies. *Educational Psychologist*, 6, 1-9.
- Gentner, D. (1983). Structure mapping : A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gick, M., & Holyoak, K. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive psychology*, 15, 1-38.
- Gick, M., & Holyoak, K. (1987). The cognitive basis of knowledge transfer. In S. Cormier, & J. Hagman (Eds.), *Transfer of learning: Contemporary research and applications* (pp. 9-46). Orlando, FL: Academic Press.
- Gick, M., & Paterson, K. (1992). Do contrasting Examples facilitate schema acquisition and analogical transfer ? *Canadian Journal Psychology*, 46(3), 539-550.
- Gick, M., & Holyoak, K. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive psychology*, 12, 306-355.

- Gineste, M. (1997). *Analogie et cognition*. Paris : Puf.
- Gobet, F., & Simon, H. (1996). Recall of random and distorted chess positions: Implication for the theory of expertise. *Memory & cognition*, 24(4), 493-503.
- Green, R. (1989). Spacing effects in memory : evidence for a two-process account. *Journal of experimental psychology : learning, memory and cognition*, 15(3), 371-377.
- Greeno, J. G. (1978). A study of problem solving. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology* (Vol. 1). Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hasler, B., Kersten, B., & Sweller, J. (2007). Learner control, cognitive load and instructional animation. *Applied cognitive psychology*, 21, 713-729.
- Griggs, R. A., & Cox, J. R. (1982). The elusive thematic-materials effect in wason's selection task. *British Journal of Psychology*, 73, 407-420.
- Hayes, J., & Simon, H. (1977). Psychological differences among problem isomorphs. In N. Castellan, D. Pisoni, & G. Potts (Eds), *Cognitive theory*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Herbert, D., & Burt, J. (2001). Memory awareness and schematization: learning in the university context. *Applied cognitive psychology*, 15, 617-637.
- Holyoak, K.J. (2005). Analogy. In K. Holyoak, & R. Morrison (Eds.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (pp.117-142). Cambridge : Cambridge University. Press.
- Holyoak, K., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition*, 15(4), 332-340.
- Houdé, O. (1999). Executive performance / competence and inhibition in cognitive development. *Developmental Science*, 2, 273-275.
- Inhelder, B., & Cellérier, G. (1992). *Le cheminement des découvertes de l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.
- Jelsma, O., & Pieters, J. (1989). Practice schedule and cognitive style interaction in learning a maze task. *Applied cognitive psychology*, 3, 73-83.
- Jelsma, O., & Bijlstra, J. (1990). PROCESS : Program for research on operator control in an experimental simulated setting. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 20, 1221-1228.
- Johnson-Laird, P., Legrenzi, P., & Legrenzi, M. (1972). Reasoning and a sense of reality. *British Journal of Psychology*, 63(3), 395-400.
- Kalyuga, S. (2006). Assessment of learners' organised knowledge structures in adaptive learning environments. *Applied cognitive psychology*, 20, 333-342.
- Kalyuga, S., & Sweller, J. (2004). Measuring knowledge to optimize cognitive load factors during instruction. *Journal of educational psychology*, 96(3), 558-568.

- Kalyuga, S. & Sweller, J. (2005). Rapid dynamic assessment of expertise to improve the efficiency of adaptative E-learning. *ETR&D*, 53(3), 83-93.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational psychologist*, 38(1), 23-31.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied mathematics and computation*, 13, 351-371.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (2000). Incorporating learner experience into the design of multimedia instruction. *Journal of educational psychology*, 92(1), 126-136.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovien, J. & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of educational psychology*, 93(3), 579-588.
- Keetche, K., Schmidt, R., Lee, T., & Young, D. (2005). Especial skills: their emergence with massive amounts of practice. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 31(5), 970-978.
- Kirschner P., Sweller, J., & Clark, R. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational psychologist*, 41(2), 75-86.
- Kirsh, D., & Maglio, P. (1994). On distinguishing epistemic from pragmatic action. *Cognitive science*, 18, 513-549.
- Kotovsky, K., & Simon, H. (1990). What makes some problems really hard: explorations in the problem space difficulty? *Cognitive psychology*, 22, 143-183.
- Kotovsky, K., Hayes, J., & Simon, H.A. (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive psychology*, 17, 248-294.
- Kotovsky, K., & Fallside, D. (1989). Representation and transfer in problem solving. In D. Klahr, & K. Kotovsky (Eds), *Complex information processing*. Hillsdale, NJ: Erlbaum associates.
- Kurtz, K. & Loewenstein, J. (2007). Converging on a new role for analogy in problem solving and retrieval : when two problems are better then one. *Memory & Cognition*, 35(2), 334-341.
- Leahy, W., & Sweller, J. (2004). Cognitive Load and the imagination effect. *Applied cognitive psychology*, 18, 857-875.
- Leahy, W., & Sweller, J. (2005). Interaction among the imagination, expertise reversal, and element interactivity effects. *Journal of experimental psychology*, 11(4), 266-276.
- Leahy, W & Sweller, J. (2008). The imagination effect increases with an increased intrinsic cognitive load. *Applied cognitive psychology*, 22, 273-383.
- Lee, T. & Magill, R. (1983). The locus of contextual interference in motor-skill acquisition. *Journal of experimental psychology: learning, memory and cognition*, 9(4), 730-746.
- Lee, T., Wulf, G., & Schmidt, R. (1992). Contextual interference in motor learning: dissociated effects due to the nature of task variations. *The quarterly journal of experimental psychology*, 44A (4), 627-644.

- Leplat, J. (2002) *Psychologie de la formation. Jalons et perspectives. Choix de textes (1955-2002)*. Toulouse: Octares.
- Logie, R., Baddeley, A., Mané, A., Donchin, E. & Sheptak, R. (1989). Working memory in the acquisition of complex cognitive skills. *Acta psychologica*, 71, 53-87.
- Luximon, A., & Goonetilleke, R. (2001). Simplified subjective workload assessment technique. *Ergonomics*, 44(3), 229-243.
- Magill, R., & Hall, K. (1990). A review of the contextual interference effect in motor skill acquisition. *Human movement science*, 9, 241-289.
- Mané, A., & Donchin, E. (1989). The space fortress game. *Acta psychologica*, 71, 17-22.
- Marcus, N., Cooper, M. & Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of psychology*, 88, 49-63.
- Mayer, R., & Moreno, R. (1998). A split attention effect in Multimedia learning : evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of educational psychology*, 90(2), 312-320.
- Mayer, R. (2009). Unique contribution of eye-tracking research to the study of learning with graphics. *Learning and instruction*, 1-5.
- Megalakaki, O., & Tijus, C. (2005). Exploration et planification dans le domaine des anneaux chinois : la découverte des règles à partir des propriétés. *L'année psychologique*, 105, 625-647.
- Newell, A., & Simon, H. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Nogry, S., & Didierjean, A. (2006). Apprendre à partir d'exemples : interactions entre présentation du matériel, activités des apprenants et processus cognitifs. *L'année psychologie*, 106, 105-128.
- Novelli, B., & Rivière, M. (2003). *Le jeu du démineur*. Paris : Tangente.
- O'Donnell, R., & Eggemeier, T. (1986). Workload assessment methodology. In K. Boff (Eds), *Handbook of perception and human performance*, 42(1), 42-49.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (1993). The efficiency of instructional conditions. *Human factors*, 35(4), 737-743.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills : a cognitive-load approach. *Journal of educational psychology*, 86, 122-133.
- Paas, F., Tuovinen, J., van Merriënboer J., & Darabi, A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance. *ETR&D*, 53(3), 25-34.
- Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H., & van Gerven, P. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational psychologist*, 38(1), 63-71.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: a cognitive-load approach. *Journal of educational psychology*, 84(4), 429-434.

- Paas, F., & Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load theory and instructional design: recent developments. *Educational psychologist*, 38(1) 1-4.
- Pellegrino, J. (1972). Effects of intralist response formal similarity upon paired-associate transfer and retroactive inhibition. *Journal of experimental psychology*, 92(1), 134-142.
- Pellegrino, J., Chudowsky, N., & Glaser, R. (2001). *Knowing what students know: the science and design of educational assessment*. Washington: National academic press.
- Perruchet, P. (1987). Pourquoi apprend-on mieux quand les répétitions sont espacées ? Une évaluation des réponses contemporaines. *L'année psychologique*, 87(2), 253-272.
- Pierce, A., Duncan, M., Gholson, B., Ray, G., & Kamhi, A. (1993). Cognitive load, schema acquisition, and procedural adaptation in nonisomorphic analogical transfer. *Journal of Educational Psychology*, 85(1), 66-74.
- Piolat, A., Roussey, J-Y., Olive, T., & Farioli, F. (1996). Charge mentale et mobilisation des processus rédactionnels : examen de la procédure de Kellogg. *Psychologie française*, 41(4), 339-354.
- Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and instruction*, 12, 61-86.
- Reder, L. (1987). Strategy selection in question answering. *Cognitive psychology*, 19, 90-138.
- Reed, S. (1989). Constraints on the abstraction of solutions. *Journal of educational psychology*, 81(4), 532-540.
- Reed, K., Dempster, A., & Ettinger, M. (1985). Usefulness of analogous solutions for solving algebra word problems. *Journal of experimental psychology: Learning, Memory and cognition*, 11(1), 106-125.
- Reed, S., Ernst, G., & Banerjee, R. (1974). The role of analogy in transfer between similar problem states. *Cognitive psychology*, 6, 436-450.
- Reeves, L. & Weisberg, R. (1994). The role of content and abstract information in analogical transfer. *Psychological bulletin*, 115, 381-400.
- Reigeluth, C., & Stein, F. (1983). The elaboration theory of instruction. In C. Reigeluth (Ed.), *Instructional Design Theories and Models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.
- Reitman W. R. (1964). Heuristic decision procedures, open constraints, and the structure of ill-defined problems. In M. Shelly, & G. Bryan (Eds.), *Human judgments and optimality* (pp. 282-315). New York: John Wiley.
- Reissleind, J, Atkinson, R., Seeling P., & Reisslein, M. (2006). Encountering the expertise reversal effect with a computer-based environment on electrical circuit analysis. *Learning and instruction*, 16, 92-103.
- Richard, J-F. (1990). *Les activités mentales*. Paris : Armand Colin.
- Richard, J-F. (1998). *Les activités mentales – comprendre, raisonner, trouver des solutions – 3ème édition*. Paris : Armand colin.

- Richland, L., Finley J., & Bjork, R. (2004). *Differentiating the contextual interference effect from the spacing effect*. In K. Forbus, D. Gentner, & T. Regier (Eds.), *Proceedings of the Twenty-Sixth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p. 1624). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Ross, B. (1984). Reminding and their effects in learning a cognitive skill. *Cognitive psychology*, *16*, 371-416.
- Ross, B. (1987). This is like that: the use of earlier problems and the separation of similarity effects. *Journal of experimental psychology: Learning, memory and cognition*, *13*(4), 629-639.
- Roughead, W., & Scandura, J. (1968). "What is learned" in mathematical discovery. *Journal of experimental psychology*, *59*(4), 283-289.
- Rumelhart, D., & Norman, D. (1981). Analogical processes in learning. In J. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition*, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Salden, R., Paas, F., & van Merriënboer, J. (2006). A comparison of approach to learning task selection in the training of complex cognitive skills. *Computer in human behaviour*, *22*, 321-333.
- Schmidt, R. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological review*, *82*(4), 225-260.
- Schmidt, R., & Bjork R. (1992). New conceptualizations of practice : Common principles in three paradigms suggest new concepts for training. *Psychological science*, *3*, 207-217.
- Shea, C., & Zimmy S. (1983). Context effects in memory and learning movement information. In R. Magill (Ed.), *Memory and Control of Action* (pp. 345-366), Amsterdam: North-Holland.
- Shea, C., & Morgan, R. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention and transfer of a motor skill. *Journal of experimental psychology*,
- Shea, C., Kohl, R., & Indermill, C. (1989). Contextual interference: contributions of practice. *Acta psychological*, *73*(2), 145-157.
- Siegler, R. (1988). Strategy choice procedures and the development of multiplication skill. *Journal of Experimental Psychology : General*, *117*(3), 258-275.
- Simon, H.A., & Hayes, J.R. (1976). The understanding process: Problem isomorphs. *Cognitive Psychology*, *8*, 165-190.
- Spencer, R., & Weisberg, R. (1986). Context-dependent effects on analogical transfer. *Memory and cognition*, *14*(5), 442-449.
- Spering, M., Gegenfurtner, K., & Kerzel, D. (2006). Distractor interference during smooth pursuit eye movements. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, *32*(5), 1136-1154.
- Strahm, M., & Baccino, T. (2006). L'impact des schémas non analogiques conceptuels dans la compréhension de textes expositifs : stratégies visuelles selon l'expertise. *Psychologie française*, *51*, 25-40.

- Stull, A., & Mayer, R. (2007). Learning by doing versus learning by viewing. *Journal of educational psychology*, 99(4), 808-820.
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load during problem solving: effects on learning. *Cognitive science*, 12, 257-285.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 43, pp. 215-266), San Diego: Academic Press.
- Sweller, J. (2004). Instructional design consequence of an analogy between evolution by natural selection and human cognitive architecture. *Instructional science*, 32, 9-31.
- Sweller, J. (2006). Discussion of emerging topics in cognitive load research. *Applied cognitive psychology*, 20, 353-357.
- Sweller, J., & Chandler, P. (1991). Evidence for cognitive load theory. *Cognition and instruction*, 8(4), 351-362.
- Sweller, J., & Cooper, G. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2, 59-89.
- Sweller, J., & Cooper, G. A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2(1), 59-89.
- Sweller, J., & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of experimental psychology: Learning, memory, and cognition*, 8(5), 463-474.
- Sweller, J., van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, 10(3), 251-296.
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of experimental psychology*, 119(2), 176-192.
- Tabbers, H., Martens, R., & van Merriënboer, J. (2000). *Multimedia instructions and cognitive load theory: split attention and modality effects*. Paper presented at the AECT 2000, Long beach, California, USA.
- Tai, R., Loehr, J., & Brigham, F. (2006). An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments. *International journal of research & method in education*, 26(2), 185-208.
- Tardif, J. (1999). *Le transfert des apprentissages*. Montréal : Logiques.
- Thorndike, E. (1898). Animal intelligence : An experimental study of the associative processes in animals. *Psychological review Monograph Supplement*, 2(4), 1-8.
- Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue des sciences de l'éducation*, 3(1), 37-64.
- Tricot, A., & Chanquoy, L. (1996). La charge mentale, "vertu dormitive" ou concept opérationnel ? *Psychologie française*, 41(4), 313-318.

- Tuovinen, J., & Sweller, J. (1999). A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. *Journal of educational psychology*, 91(2), 334-341.
- Um, E., Song, H., & Plass, J. (2007). The effect of positive emotions on multimedia learning. In C. Montgomerie, & J. Seale (Eds.), *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2007* (pp. 4176-4185). Chesapeake, VA: AACE.
- Van Gerven, P., Paas, F., van Merriënboer, J., & Schmidt, H. (2006). Modality and variability as factor in training the elderly. *Applied cognitive psychology*, 20, 311-320.
- Van Gog, T., Ericson, K., Rikers, R., & Paas, F. (2005). Instructional design for advanced learners : establishing connections between the theoretical frameworks of cognitive load and deliberate practice. *ETR&D*, 53(3), 73-81.
- Van Merriënboer, J. (1997). *Training complex cognitive skills*. Englewood Cliffs, N.J.
- Van Merriënboer, J., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning recent developments and future directions. *Educational psychology review*, 17(2), 147-177.
- Van Merriënboer, J., Kester, L., & Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks. *Applied cognitive psychology*, 20, 343-352.
- Van Merriënboer, J., Kirschner, P., & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner' mind: Instructional design for complex learning. *Educational psychologist*, 38(1), 5-13.
- Van Merriënboer, J., Jelsma, O., & Pass, F. (1992). Training for reflective expertise: A four-component instructional design model for complex cognitive skills. *Educational technology research development*, 40, 23-43.
- Van Rossum, J. (1990). Schmidt's schema theory: the empirical base of the variability of practice hypothesis. *Human Movement Science*, 9, 387-435.
- Ward, M., & Sweller, J. (1990). Structuring effective worked examples. *Cognition and instruction*, 7(1), 1-39.
- Wason, P. (1968). Reasoning about a rule. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 273-281.
- Wason, P., & Green, D. (1984). Reasoning and mental representation. *Quarterly Journal of Experimental psychology*, 36, 597-610.
- Wason, P., & Shapiro, D. (1971). Natural and contrived experience in a reasoning problem. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 23, 63-71.
- Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviourist views it. *Psychological Review*, 20, 158-177.
- Weil-Barais A. (1993) *L'homme cognitif*. Paris : PUF.
- Wulf, G., & Schmidt, R. (1997). Variability of practice and implicate motor learning. *Journal of experimental psychology: Learning, Memory and Cognition*, 23(4), 987-1006.

Yeung, A., Jin, P., & Sweller, J. (1997). Cognitive Load and learner expertise. *Contemporary educational psychology*, 23, 1-21.

Zygmunt, P., & Zheng, L. (2005). Solving combinatorial problems: the 15-puzzle. *Memory & Cognition*, 33(6), 1069-1084.

Table des Figures

Figure 1 : Labyrinthe présenté aux participants (p. 465)	7
Figure 2 : Deuxième labyrinthe présenté aux participants (expérience 5, p. 472).....	7
Figure 3 : Espace problème du problème des Anneaux Chinois, emprunté à Megalakaki et Tijus (2005, p. 631). Les ronds représentent la présence d'un pion. Les croix représentent l'absence d'un pion.	10
Figure 4 : Espace de problème du problème des Missionnaires et des Cannibales emprunté à Costermans (2000, p. 101).	11
Figure 5 : Le problème des neufs points et sa solution (Maier, 1930)	14
Figure 6 : Espace de problème de la Tour d'Hanoï.....	15
Figure 7 : Problème des 4 cartes (Wason, 1968).....	17
Figure 8 : Problèmes des quatre enveloppes (Johnson-Laird & al, 1972)	18
Figure 9 : Le problème de la forteresse, le problème de la tumeur et le schéma de convergence (d'après Gick & Holyoack, 1983, traduction empruntée à Gineste, 1997).....	27
Figure 10 : Représentation du schéma de convergence (Gick & Holyoak, 1983).....	28
Figure 11 : Graphique représentant l'indice d'efficacité (Paas & van Merriënboer, 1994)	40
Figure 12: Exemple de l'effet de l'attention partagée (Sweller & al, 1998).....	45
Figure 13 : Exemple de modes de présentation (Salden & al, 2006).....	53
Figure 14 : Image d'une partie du jeu du Démineur© initialisée	64
Figure 15 : Image d'une partie du jeu du Démineur© après un clic droit sur une case vide	65
Figure 16 : Image d'une partie du jeu du Démineur© réussie.....	65
Figure 17 : Situation de passation (problème n° 3).....	66
Figure 18 : Situation d'implication	67
Figure 19 : Problème simple d'application de la règle du jeu.....	68
Figure 20 : Problème avec situation d'implication	68
Figure 21 : Problème d'implication réciproque	68
Figure 22 : Schémas de résolution des problèmes utilisés.....	71
Figure 23 : Problèmes visuellement équivalents.....	76
Figure 24 : Problèmes visuellement différents.....	76
Figure 25 : Problèmes tests (équivalent - différent).....	76
Figure 26 : Exemple de la présentation d'un problème source (problème n°1 - condition 'équivalent')	78
Figure 27 : Exemple d'un protocole de fixation pour un problème d'apprentissage. Les points représentent les fixations oculaires. Les chiffres la durée de la fixation en millisecondes. Les traits de couleurs correspondent aux transitions oculaires.	78
Figure 28 : Exemple de protocole individuel pour un problème test. Les points représentent les fixations oculaires. Les chiffres la durée de la fixation en millisecondes. Les traits de couleurs correspondent aux transitions oculaires.....	79
Figure 29 : Niveaux de réussite aux problèmes d'apprentissage et aux problèmes tests en fonction de l'apprentissage reçu.	80
Figure 30 : Niveaux de réussite aux différents problèmes par condition et type de problèmes	81

Figure 31 : Visuel de la zone de problèmes pour chaque condition. Celle-ci regroupe les quatre zones d'intérêt colorées représentant chacune un problème (condition 'équivalent' et 'différent')	82
Figure 32 : Indice moyen de fixation dans la zone de problèmes par condition.....	82
Figure 33 : Zone d'intérêt pour les deux problèmes tests. Les zones d'intérêts (colorées) correspondent aux différentes cases des problèmes.	85
Figure 34 : Durée des fixations dans la zone de problèmes pour les deux conditions....	86
Figure 35 : Nombre de transitions dans la zone problème et entre la zone problème et le problème test par condition	87
Figure 36 : Problèmes utilisés dans l'expérience n°2	92
Figure 37 : Niveaux de réussite par conditions	94
Figure 38 : Niveaux de réussite moyen pour la condition hiérarchisée et aléatoire.....	98
Figure 39 : Niveaux de réussite moyens par groupe de problèmes pour la condition hiérarchisée et aléatoire	99
Figure 40 : Temps de réponse moyen par groupes de problèmes - les deux conditions sont confondues	100
Figure 41 : Temps de réponse moyen pour la condition hiérarchisée et aléatoire (en sec.)	101
Figure 42 : Temps de réponse moyens par groupes de problèmes en fonction des deux conditions	101
Figure 43 : Capture d'écran passation double tâche : Lorsque la lettre 'A' apparaît, le participant doit appuyer sur la touche 'échap' du clavier. La lettre disparaît.....	106
Figure 44 : Les quatre nouveaux problèmes utilisés dans la phase de transfert.....	107
Figure 45 : Niveaux de réussite moyens dans la première phase pour chaque condition (aléatoire et hiérarchisée)	108
Figure 46 : Temps de réaction moyens en millisecondes pour la seconde tâche en fonction des deux conditions (aléatoire et hiérarchisée).....	109
Figure 47 : Niveaux de réussite moyens aux nouveaux problèmes pour la condition aléatoire et hiérarchisée.....	110
Figure 48 : Répartition possible des ressources cognitives utilisées en fonction de deux tâches et deux situations.....	111
Figure 49 : Répartition possible des ressources cognitives utilisées en fonction de deux tâches et deux situations.....	112
Figure 50 : Niveaux de réussite globaux pour chaque étude.....	112
Figure 51 : Répartition possible des ressources cognitives utilisées en fonction de deux tâches et deux situations.....	113
Figure 52 : Niveaux de réussite moyens aux problèmes issus du Démineur pour chaque condition (aléatoire et hiérarchisée).	116
Figure 53 : Niveaux d'effort mental moyen perçu pour les deux conditions (l'échelle proposée comportant neuf échelons).	117
Figure 54 : Grille de notation des verbalisations.....	118
Figure 55 : Niveaux d'élaboration pour les deux conditions (sur 4)	119
Figure 56 : Niveaux de réussite et niveaux d'élaboration des participants pour les deux conditions	120
Figure 57 : Représentation de l'efficacité deux modes de présentation. L'indice d'efficacité 'E' est placé sur le graphique pour chaque condition (aléatoire et hiérarchisée).	121
Figure 58 : Jeu du Sudoku©.....	123
Figure 59 : Exemples de problèmes issus du jeu du Sudoku© (problèmes 1 et 9).....	124
Figure 60 : Situation de passation (problème 6)	125

Figure 61 : Niveaux de réussite moyens aux problèmes issus du jeu du Démineur© pour les deux conditions (aléatoire et hiérarchisée).....	126
Figure 62 : Niveaux de réussite aux problèmes de Sudoku© en fonction du mode d'organisation des problèmes de Démineur©	127

Table des Tableaux

Tableau I : Proportion de participants produisant la solution de convergence (Holyoak & Koh, 1987, expérience 1)	29
Tableau II : Proportion de participants produisant la solution de convergence (Holyoak & Koh, 1987, expérience 2)	29
Tableau III : Temps de reconnaissance des phrases cibles en fonction de la présence d'amorce et d'aide, en secondes (Bernardo, 1994, p.384).....	30
Tableau IV : Proportion de solution convergente pour les trois expériences en fonction des conditions expérimentales (Kurtz & Loewenstein, 2007, p. 336).....	33
Tableau V : Description de la procédure expérimentale	77
Tableau VI : Pourcentage de participants ayant réussi les problèmes tests par condition et en fonction du problème.	79
Tableau VII : Indice de fixations pour la zone problème en fonction de l'apprentissage reçu et du problème test.	83
Tableau VIII : Pourcentage de participants par condition et par problèmes présentant au moins une fixation dans la zone problème.....	83
Tableau IX : Pourcentage de participants présentant aucunes, peu ou beaucoup de fixations dans la zone de problèmes en fonction du problème et de son caractère réussi ou non. Les deux conditions sont confondues.	84
Tableau X : Pourcentage de participants ayant aucunes, peu ou beaucoup de fixations dans la zone de problèmes en fonction du groupe expérimental et du problème test rencontré.	84
Tableau XI : Résultats moyens des participants ayant réussi les deux problèmes tests par rapport à la population totale des participants.....	88
Tableau XII : Détail de la procédure pour la phase d'apprentissage.....	93
Tableau XIII : Nombre de participants pour chaque notation par condition.....	118
Tableau XIV : Niveaux de réussite moyens aux problèmes de Sudoku© (résolvables ou non) en fonction de la condition expérimentale (hiérarchisée ou aléatoire). Les écarts-types sont entre parenthèses.	127

Annexes

Annexe n°1 : Les problèmes issus du jeu du Démineur© et ceux issus du jeu du Sudoku©.

Annexe n°2 : Exemple d'un code de programmation (expérience 6, condition aléatoire)

Annexe n°3 : Matériel expérimental de l'expérience 5

Annexe n°1 : Les problèmes issus du jeu du Démineur© et du jeu du Sudoku©

Problèmes issus du jeu du Démineur© :

?	1
1	1

Réponse positive attendue

?		1
2	2	1

Réponse négative attendue

	?	1
1	1	1

Réponse positive attendue

	?	1
2	2	1

Réponse positive attendue

?	2	1	1
1	2		1
	1	1	1

Réponse positive attendue

Problèmes 1 à 5

?		1
1	1	1

Réponse négative attendue

		?
2	2	1

Réponse négative attendue

?	1	1
1		1

Réponse négative attendue

	?		1
1	2	1	1

Réponse négative attendue

			?
2	3	2	1

Réponse négative attendue

Problèmes 6 à 10

?	3	x
x	2	x

Réponse positive attendue

?		
1	2	1

Réponse positive attendue

?		1
	2	1
1	1	

Réponse négative attendue

?	3	1

Réponse positive attendue

	?		
1	2	2	1

Réponse positive attendue

Problèmes 11 à 15

		?
1	1	1

Réponse négative attendue

	?	
1	2	1

Réponse négative attendue

?	2	x
x	2	x

Réponse négative attendue

		?
1	1	x

Réponse négative attendue

	?		1
x	1	x	x

Réponse négative attendue

Problèmes 16 à 20

?			
x	2	1	1

Réponse positive attendue

?		
x	2	1

Réponse positive attendue

?			
1	2	1	1

Réponse positive attendue

	?			1
x	2	x	1	x

Réponse positive attendue

?	2	x
x	1	x

Réponse positive attendue

Problèmes 21 à 25

	1	
	3	2
?		

Réponse négative attendue

?	1	x
x	1	x

Réponse négative attendue

2		?		1
2		3	1	1

Réponse négative attendue

			?
1	2	2	1

Réponse négative attendue

			?		x
x	3	2	x	1	x

Réponse négative attendue

Problèmes 26 à 30

Problèmes issus du jeu du Sudoku© :

		3	4		1
1		?		9	
5		9			6
7					
	4				
2		1			

Réponse attendue : 4

?	4		7	2	
3					5
	8	6	4		
9					
	5				
1		4			

Réponse attendue : 5

6	?		5	8	
	2				3
4		7	1		
8	3				
	9				
		2			

Réponse attendue : 6

4	5	9			
			2		4
7	?			3	6
9	8				
	1	2			

Réponse attendue : 2

1		9		2	
	5		1		4
7		?			6
	1	2			
9		6			

Réponse attendue : NSP

9				4	6
?	4	3		1	
5				9	
	1				
4					
	3	6			

Réponse attendue : NSP

	1	3	4		
	2			5	8
?	5				9
4		2			
3		1			

Réponse attendue : NSP

6			9		
	?	5		8	
	1	2	5	7	
		1			
	9				
2	4				

Réponse attendue : NSP

		?	2		8
1		5			4
	7	9	3		
8		4			
	1				
		7			

Réponse attendue : NSP

	1	?		9	
	5	9	3	4	
4				8	
	6				
1		2			
8					

Réponse attendue : 8

Annexe n°2 : Exemple d'un code de programmation (expérience 6, condition aléatoire)

```

unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants,
Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, ExtCtrls, StdCtrls;

type
  TTest = class(TForm)
    Commencer: TButton;
    Consigne: TMemo;
    Rappel: TEdit;
    Images: TImage;
    OUI: TButton;
    NON: TButton;
    resultats: TMemo;
    pseudo: TEdit;
    lafin: TMemo;
    enregistrer: TButton;
    Continuer: TButton;
    Consigne2: TMemo;
    Rappel2: TEdit;
    valeur: TCheckBox;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    Button5: TButton;
    Button6: TButton;
    Button7: TButton;
    Button8: TButton;
    Button9: TButton;
    valeur1: TCheckBox;
    valeur2: TCheckBox;
    valeur4: TCheckBox;
    valeur5: TCheckBox;
    NSP: TButton;
    valeur8: TCheckBox;
    valeurNSP: TCheckBox;
    procedure CommencerClick(Sender:
TObject);
    procedure OUIClick(Sender: TObject);
    procedure NONClick(Sender: TObject);
    procedure pseudoClick(Sender: TObject);
    procedure enregistrerClick(Sender:
TObject);
    procedure ContinuerClick(Sender:
TObject);
    procedure Button1Click(Sender:
TObject);
    procedure Button2Click(Sender:
TObject);
    procedure Button3Click(Sender:
TObject);
    procedure Button4Click(Sender:
TObject);
    procedure Button5Click(Sender:
TObject);
    procedure Button6Click(Sender:
TObject);
    procedure Button7Click(Sender:
TObject);
    procedure Button8Click(Sender:
TObject);
    procedure Button9Click(Sender:
TObject);
    procedure NSPClick(Sender: TObject);
  private
    { Déclarations privées }
  public
    { Déclarations publiques }
  end;
  var
    Test: TTest;
    Images:array[0..30]of TBitmap;
    tires: array[0..30]of boolean;
    tires2: array[0..10]of boolean;
    fin, debut, temps : TDateTime;
    reponse: boolean;
    A,B, point: integer;
    temp, sujet : string;

  implementation

  {$R *.dfm}

  procedure presentation;
  var
    AppPath:string;
  begin
    AppPath :=
ExtractFilePath(Application.ExeName);
    Images[A] := Test.Images.Picture.Bitmap;
    Case A of
      0 : Images[0].LoadFromFile(AppPath +
'\deb1.bmp');
      1 : Images[1].LoadFromFile(AppPath +
'\deb2.bmp');
      2 : Images[2].LoadFromFile(AppPath +
'\deb3.bmp');
      3 : Images[3].LoadFromFile(AppPath +
'\deb4.bmp');
      4 : Images[4].LoadFromFile(AppPath +
'\deb5.bmp');
      5 : Images[5].LoadFromFile(AppPath +
'\int1.bmp');
      6 : Images[6].LoadFromFile(AppPath +
'\int2.bmp');
      7 : Images[7].LoadFromFile(AppPath +
'\exp5.bmp');
      8 : Images[8].LoadFromFile(AppPath +
'\int4.bmp');
      9 : Images[9].LoadFromFile(AppPath +
'\int5.bmp');

```

```

    10 : Images[10].LoadFromFile(AppPath +
'\exp1.bmp');
    11 : Images[11].LoadFromFile(AppPath +
'\exp2.bmp');
    12 : Images[12].LoadFromFile(AppPath +
'\exp3.bmp');
    13 : Images[13].LoadFromFile(AppPath +
'\exp4.bmp');
    14 : Images[14].LoadFromFile(AppPath +
'\int3.bmp');
    15 : Images[15].LoadFromFile(AppPath +
'\deb6.bmp');
    16 : Images[16].LoadFromFile(AppPath +
'\deb7.bmp');
    17 : Images[17].LoadFromFile(AppPath +
'\deb8.bmp');
    18 : Images[18].LoadFromFile(AppPath +
'\deb9.bmp');
    19 : Images[19].LoadFromFile(AppPath +
'\deb10.bmp');
    20 : Images[20].LoadFromFile(AppPath +
'\int6.bmp');
    21 : Images[21].LoadFromFile(AppPath +
'\int7.bmp');
    22 : Images[22].LoadFromFile(AppPath +
'\int8.bmp');
    23 : Images[23].LoadFromFile(AppPath +
'\int9.bmp');
    24 : Images[24].LoadFromFile(AppPath +
'\int10.bmp');
    25 : Images[25].LoadFromFile(AppPath +
'\exp6.bmp');
    26 : Images[26].LoadFromFile(AppPath +
'\exp7.bmp');
    27 : Images[27].LoadFromFile(AppPath +
'\exp8.bmp');
    28 : Images[28].LoadFromFile(AppPath +
'\exp9.bmp');
    29 : Images[29].LoadFromFile(AppPath +
'\exp10.bmp');
    end;
end;

procedure presentationsudoku;
var
  AppPath:string;
begin
  AppPath :=
ExtractFilePath(Application.ExeName);
  Images[B] := Test.Images.Picture.Bitmap;
  Case B of
    0 : Images[0].LoadFromFile(AppPath +
'\pb1.bmp');
    1 : Images[1].LoadFromFile(AppPath +
'\pb2.bmp');
    2 : Images[2].LoadFromFile(AppPath +
'\pb3.bmp');
    3 : Images[3].LoadFromFile(AppPath +
'\pb4.bmp');
    4 : Images[4].LoadFromFile(AppPath +
'\pb5.bmp');
    5 : Images[5].LoadFromFile(AppPath +
'\pb6.bmp');

```

```

    6 : Images[6].LoadFromFile(AppPath +
'\pb7.bmp');
    7 : Images[7].LoadFromFile(AppPath +
'\pb8.bmp');
    8 : Images[8].LoadFromFile(AppPath +
'\pb9.bmp');
    9 : Images[9].LoadFromFile(AppPath +
'\pb10.bmp');
    end;
begin
  Case B of
    0 : test.valeur4.checked:=true;
    1 : test.valeur5.checked:=true;
    2 : test.valeur1.checked:=true;
    3 : test.valeur2.checked:=true;
    4 : test.valeurNSP.checked:=true;
    5 : test.valeurNSP.checked:=true;
    6 : test.valeurNSP.checked:=true;
    7 : test.valeurNSP.checked:=true;
    8 : test.valeurNSP.checked:=true;
    9 : test.valeur8.checked:=true;
    end;
end;
end;

procedure tiragesudoku;
var i : integer;
ok:boolean;
begin
  Randomize;
  ok:=false;
  for i:=0 to 9 do if not tires2[i] then
begin
  ok:=true;break;
end;
if not ok then
begin
  for i:=0 to 9 do tires2[i]:=false;//reset du
tableau;
  test.lafin.Visible:=true;
  test.enregistrer.visible:=true;
  test.pseudo.visible:=true;
  test.images.visible:=false;
  test.Button1.Visible:=false;
  test.Button2.Visible:=false;
  test.Button3.Visible:=false;
  test.Button4.Visible:=false;
  test.Button5.Visible:=false;
  test.Button6.Visible:=false;
  test.Button7.Visible:=false;
  test.Button8.Visible:=false;
  test.Button9.Visible:=false;
  test.NSP.Visible:=false;
  test.rappel2.visible:=false;
end;
repeat
  B:= Random(10);
until not tires2[B] ;
tires2[B]:=true;
presentationsudoku;
end;

procedure sudoku;
begin

```

```

test.consigne2.Visible:=true;
test.continuer.Visible:=true;
test.rappel.visible:=false;
test.Images.Visible:=false;
test.OUI.Visible:=false;
test.NON.Visible:=false;
end;

procedure TTest.continuerClick(Sender:
TObject);
begin
tiragesudoku;
test.consigne2.Visible:=false;
test.continuer.Visible:=false;
test.Button1.Visible:=true;
test.Button2.Visible:=true;
test.Button3.Visible:=true;
test.Button4.Visible:=true;
test.Button5.Visible:=true;
test.Button6.Visible:=true;
test.Button7.Visible:=true;
test.Button8.Visible:=true;
test.Button9.Visible:=true;
test.NSP.Visible:=true;
test.Images.Visible:=true;
test.Rappel2.Visible:=true;
end;

procedure verification2 ;
begin
If reponse = True then
begin test.resultats.Lines.Add('s'
+IntToStr(B)+ '/' + 'reussite' + '/' + temp);
end;

If reponse = False then
begin test.resultats.Lines.Add('s' +
IntToStr(B) + '/' + 'echec' + '/' + temp);
end;

test.valeur4.checked:=false;
test.valeur5.checked:=false;
test.valeur1.checked:=false;
test.valeur2.checked:=false;
test.valeurNSP.checked:=false;
test.valeurNSP.checked:=false;
test.valeurNSP.checked:=false;
test.valeurNSP.checked:=false;
test.valeurNSP.checked:=false;
test.valeur8.checked:=false;

tiragesudoku;
end;

procedure TTest.Button1Click(Sender:
TObject);
begin
fin := time;
temps := fin - debut;
temp := TimeToStr(temps);

if Test.valeur1.Checked=true then
begin reponse:=true; end

end;

else begin reponse :=False; end;

verification2;
end;

procedure TTest.Button2Click(Sender:
TObject);
begin
fin := time;
temps := fin - debut;
temp := TimeToStr(temps);

if Test.valeur2.Checked=true then
begin reponse:=true; end
else begin reponse :=False; end;

verification2;
end;

procedure TTest.Button3Click(Sender:
TObject);
begin
fin := time;
temps := fin - debut;
temp := TimeToStr(temps);

reponse :=False;

verification2;
end;

procedure TTest.Button4Click(Sender:
TObject);
begin
fin := time;
temps := fin - debut;
temp := TimeToStr(temps);

if Test.valeur4.Checked=true then
begin reponse:=true; end
else begin reponse :=False; end;

verification2;
end;

procedure TTest.Button5Click(Sender:
TObject);
begin
fin := time;
temps := fin - debut;
temp := TimeToStr(temps);

if Test.valeur5.Checked=true then
begin reponse:=true; end
else begin reponse :=False; end;

verification2;
end;

procedure TTest.Button6Click(Sender:
TObject);
begin
fin := time;
temps := fin - debut;

```

```

temp := TimeToStr(temps);

reponse :=False;

verification2;
end;

procedure      TTest.Button7Click(Sender:
TObject);
begin
fin := time;
temps := fin - debut;
temp := TimeToStr(temps);

reponse :=False;

verification2;
end;

procedure      TTest.Button8Click(Sender:
TObject);
begin
fin := time;
temps := fin - debut;
temp := TimeToStr(temps);

if Test.valeur8.Checked=true then
begin reponse:=true; end
else begin reponse :=False; end;

verification2;
end;

procedure      TTest.Button9Click(Sender:
TObject);
begin
fin := time;
temps := fin - debut;
temp := TimeToStr(temps);

reponse :=False;

verification2;
end;

procedure      TTest.NSPClick(Sender:
TObject);
begin
fin := time;
temps := fin - debut;
temp := TimeToStr(temps);

if Test.valeurNSP.Checked=true then
begin reponse:=true; end
else begin reponse :=False; end;

verification2;
end;

procedure tirage;
var i : integer;
ok:boolean;
begin
Randomize;
ok:=false;
for i:=0 to 29 do if not tires[i] then
begin
ok:=true;break;
end;
if not ok then
begin
for i:=0 to 29 do tires[i]:=false;//reset du
tableau;
sudoku;
end;
repeat
A:= Random(30);
until not tires[A] ;
tires[A]:=true;
presentation;
end;

procedure      TTest.CommencerClick(Sender:
TObject);
begin
consigne.Visible:=false;
oui.Visible:=true;
non.Visible:=true;
commencer.Visible:=false;
rappel.Visible:=true;
tirage;
debut:=time;
end;

procedure verification ;
begin
If reponse = True then
begin test.resultats.Lines.Add(IntToStr(A)+
 '/' + 'reussite'+ '/' + temp);
end;

If reponse = False then
begin test.resultats.Lines.Add(IntToStr(A)
+ '/' + 'echec'+ '/' + temp);
end;
tirage;
end;

procedure      TTest.OUIClick(Sender:
TObject);
begin
if A < 14 then reponse:=true else
reponse:=false;
fin := time;
temps := fin - debut;
temp := TimeToStr(temps);
verification;
end;

procedure      TTest.NONClick(Sender:
TObject);
begin
if A > 13 then reponse:=true else
reponse:=false;
fin := time;

```

```

    temps := fin - debut;
    temp := TimeToStr(temps);
    verification;
end;

TObject);
    procedure TTest.pseudoClick(Sender:
    TObject);
    begin
        test.pseudo.Text:='';
    end;

    procedure TTest.enregistrerClick(Sender:
    TObject);
    var
        f : textfile;
        I : integer;
    begin
        sujet:= Test.pseudo.text;

        {$I-}

        assignfile (F,'c:\'+ sujet+'demineur.txt');
        rewrite(F);
        writeln(F, '');

        if test.resultats.Lines.Count<> 0 then
        begin
            i := 0;
            repeat
                writeln(F,test.resultats.Lines[i]);
                i := i+1;
            until
                (i=test.resultats.Lines.Count);
            closefile(f);
            test.Close;
            test.Close;
        end;
    end;

end.

```

A.3. Matériel expérimentale expérience 5

PASSATION EXPERIMENTALE

Merci d'indiquer votre pseudo :

Indiquer sur cette échelle (en entourant la valeur correspondante) la **valeur de l'effort mental** que vous avez du produire pour réaliser la tâche :

Niveau de l'effort mental investit	1.	– Un très, très faible effort mental
	2.	–
	3.	–
	4.	–
	5.	–
	6.	–
	7.	–
	8.	–
	9.	– Un très, très fort effort mental



Merci encore de votre participation

PASSATION EXPERIMENTALE

Merci d'indiquer votre pseudo :

Inscrivez, ci-dessous, de manière schématisée, les règles que vous avez utilisées pour résoudre les problèmes.

Merci encore de votre participation