

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.

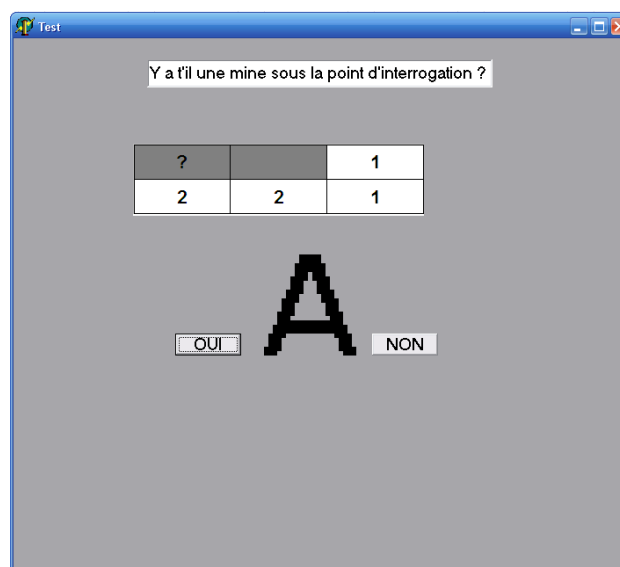


Figure 43 : Capture d'écran passation double tâche : Lorsque la lettre 'A' apparaît, le participant doit appuyer sur la touche 'échap' du clavier. La lettre disparaît.

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		
?	4	x		
x	3	x		
	1			
x	4			
?				
				?
2	3	3	2	x

Réponse négative attendue
Réponse positive attendue
Réponse positive attendue
Réponse négative attendue

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.

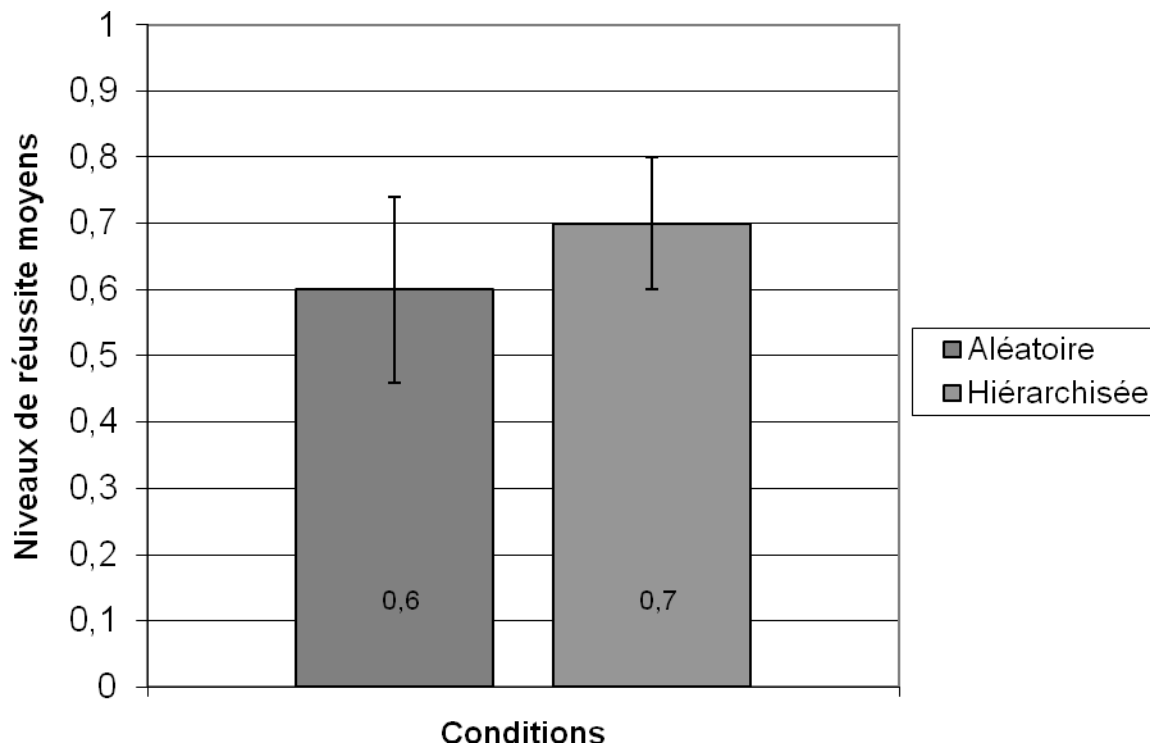


Figure 45 : Niveaux de réussite moyens dans la première phase pour chaque condition (aléatoire et hiérarchisée)

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').

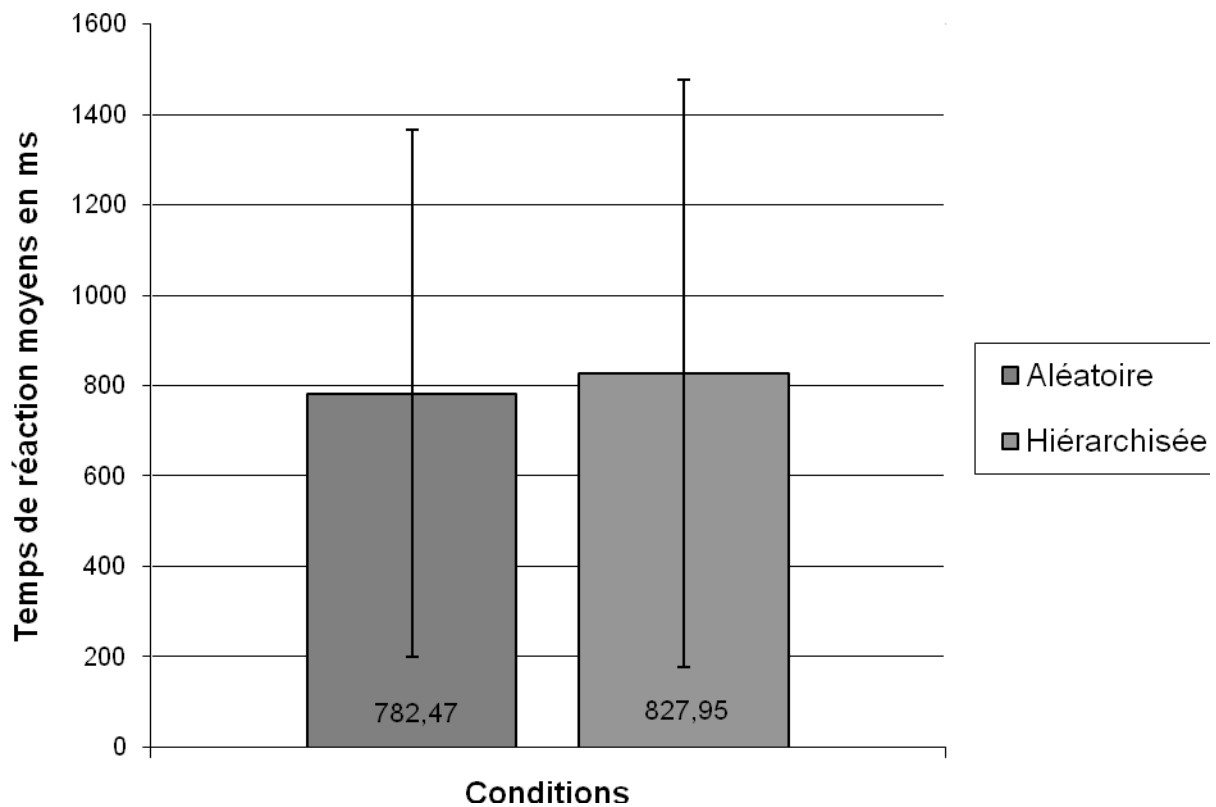


Figure 46 : Temps de réaction moyens en millisecondes pour la seconde tâche en fonction des deux conditions (aléatoire et hiérarchisée)

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.

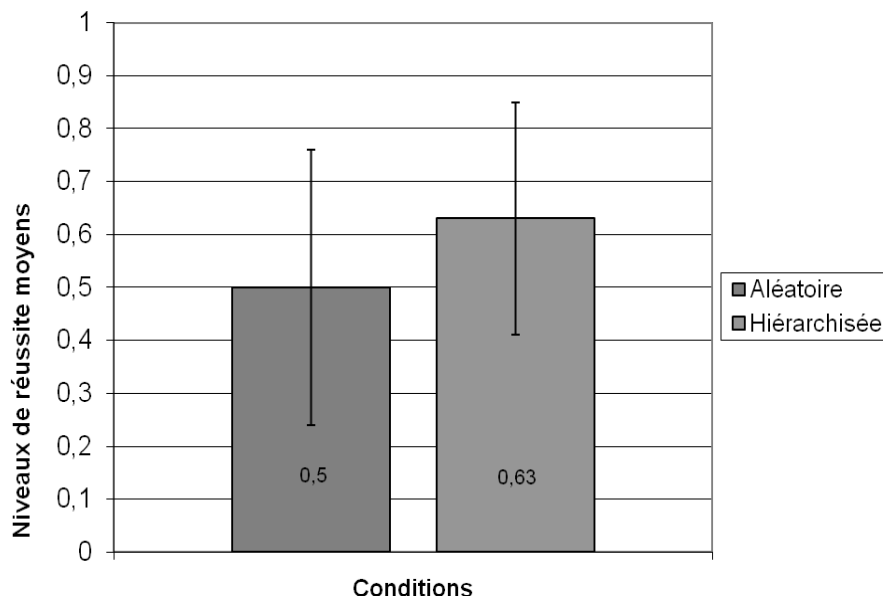


Figure 47 : Niveaux de réussite moyens aux nouveaux problèmes pour la condition aléatoire et hiérarchisée

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.

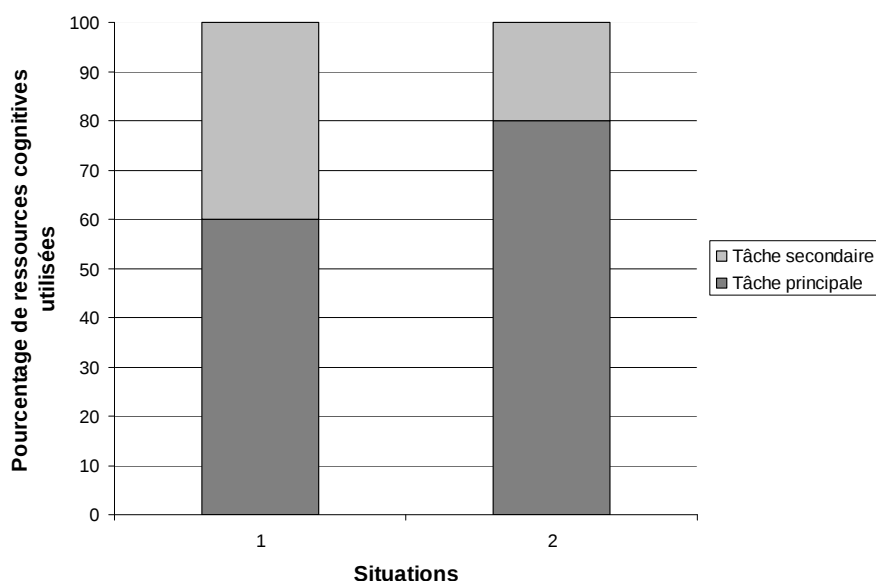


Figure 48 : Répartition possible des ressources cognitives utilisées en fonction de deux tâches et deux situations

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.

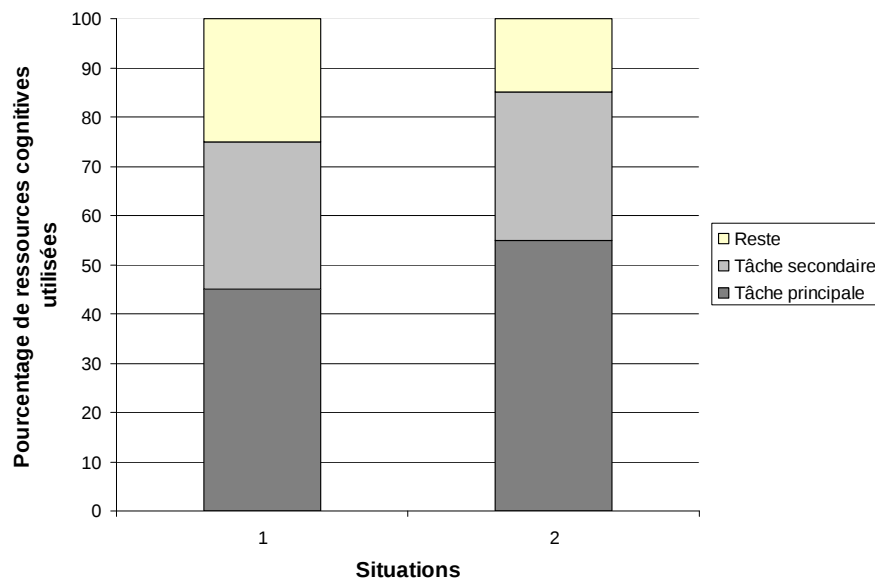


Figure 49 : Répartition possible des ressources cognitives utilisées en fonction de deux tâches et deux situations

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.

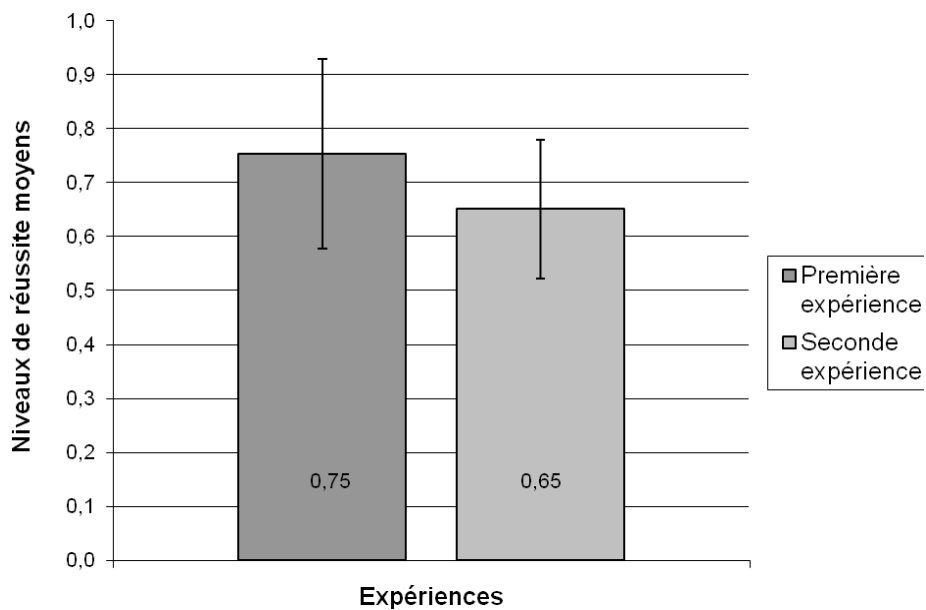


Figure 50 : Niveaux de réussite globaux pour chaque étude

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).

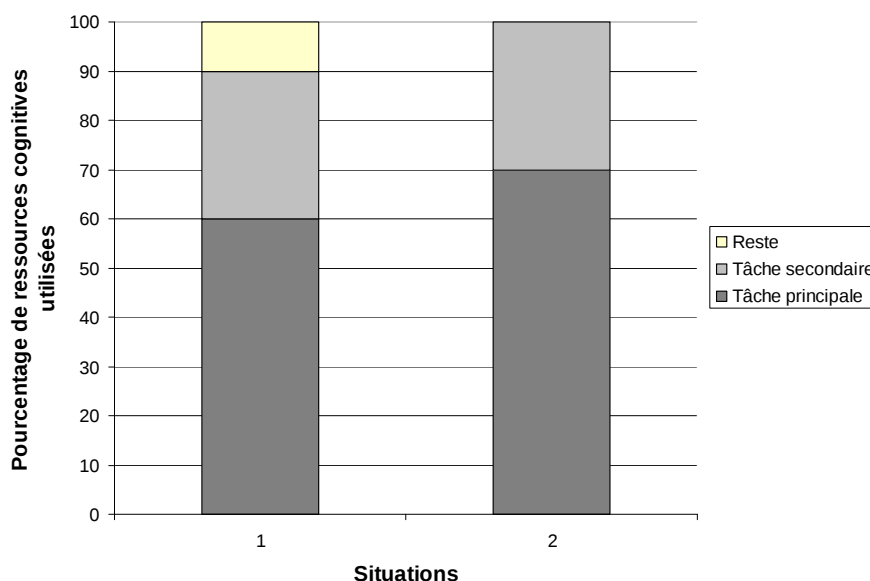


Figure 51 : Répartition possible des ressources cognitives utilisées en fonction de deux tâches et deux situations

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.

Pass (1992) attribuait la réussite des participants aux problèmes de transfert au fait qu'un apprentissage à partir d'exemple à travailler, ou à compléter, permettaient 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 leurs 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.

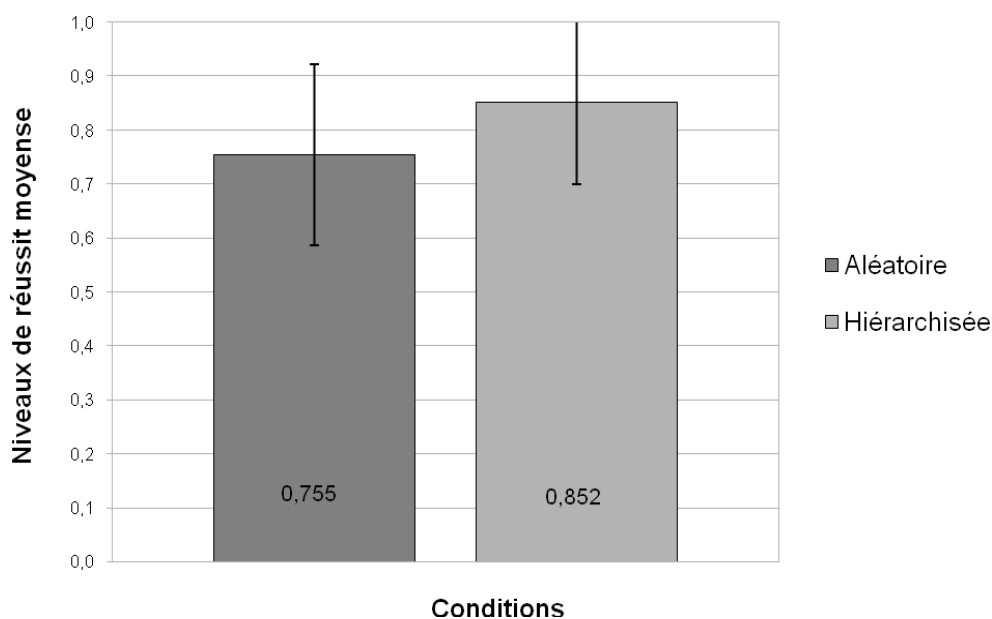


Figure 52 : Niveaux de réussite moyens aux problèmes issus du Démineur pour chaque condition (aléatoire et hiérarchisée).

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.

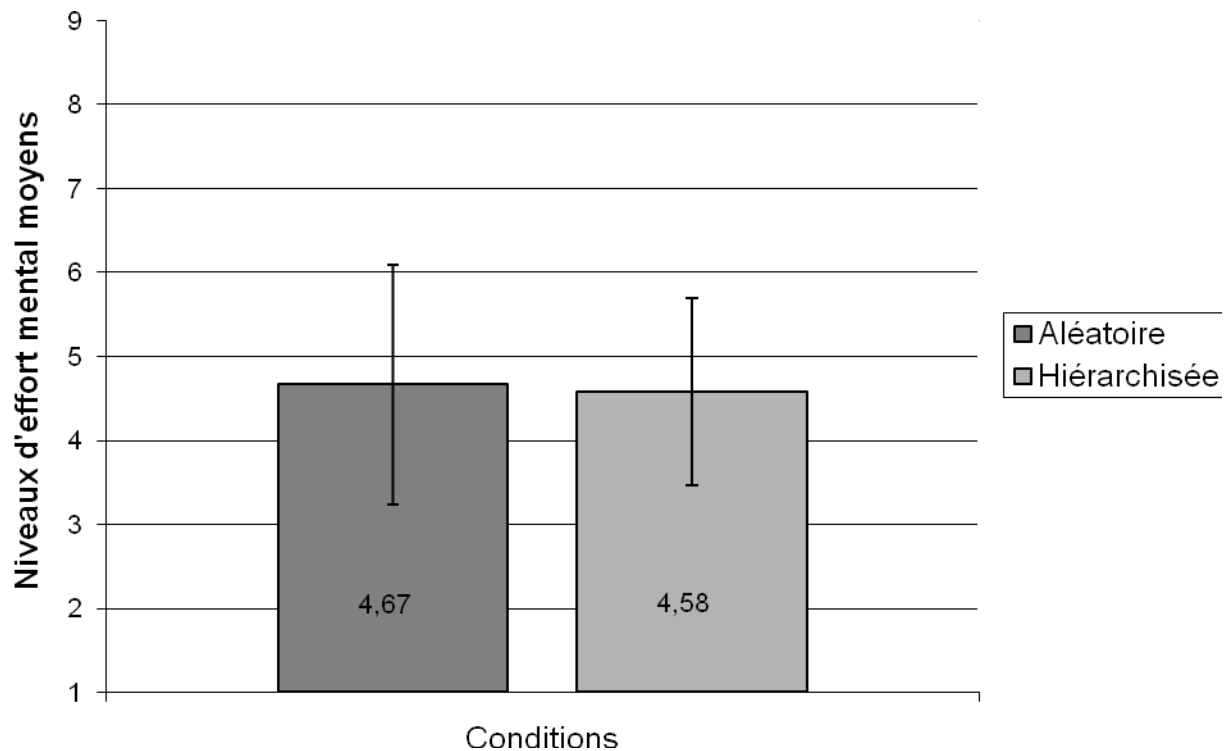


Figure 53 : Niveaux d'effort mental moyens perçu pour les deux conditions (l'échelle proposée comportant neuf échelons).

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'explicitier 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 relatées. 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 ‘il y a trois 1 côte à côte, il y a donc trois mines une pour chaque chiffre’)
1	Description de la règle du jeu (par exemple ‘autour du chiffre 2, il doit y avoir deux mines’)
2	Heuristiques ³² (par exemple ‘plus les chiffres sont importants, plus il y a de chances pour qu’il y ait une mine sous le ?’)
3	Explication de l’implication réciproque ³³ (par exemple ‘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’)
4	Explication des règles de résolution ³⁴ (par exemple ‘s’il y a trois ‘1’ à coté et qu’il ne peut y avoir qu’une mine, elle est forcément au centre’)

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	} 15	4	} 22
1		3		1	
2		12		17	
3	} Bonne représentation des problèmes	11	} 18	8	} 11
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 ; $F(1,64) = 4.408, p < .04$).

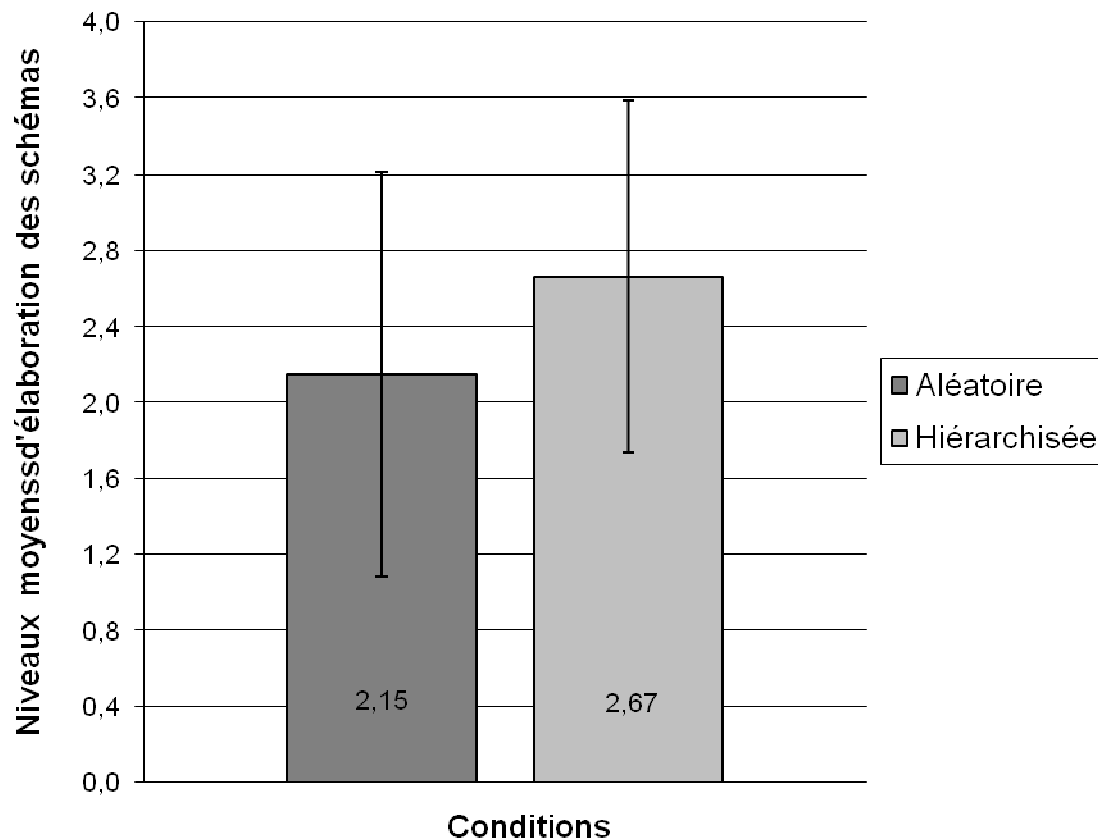


Figure 55 : Niveaux moyens d'élaboration des schémas pour les deux conditions (sur 4)

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.

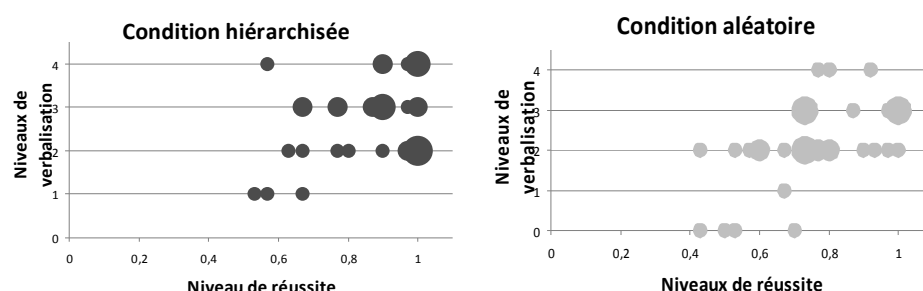


Figure 56 : Niveaux de réussite et niveaux d'élaboration des participants pour les deux conditions

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 fausse 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 couteuse 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.

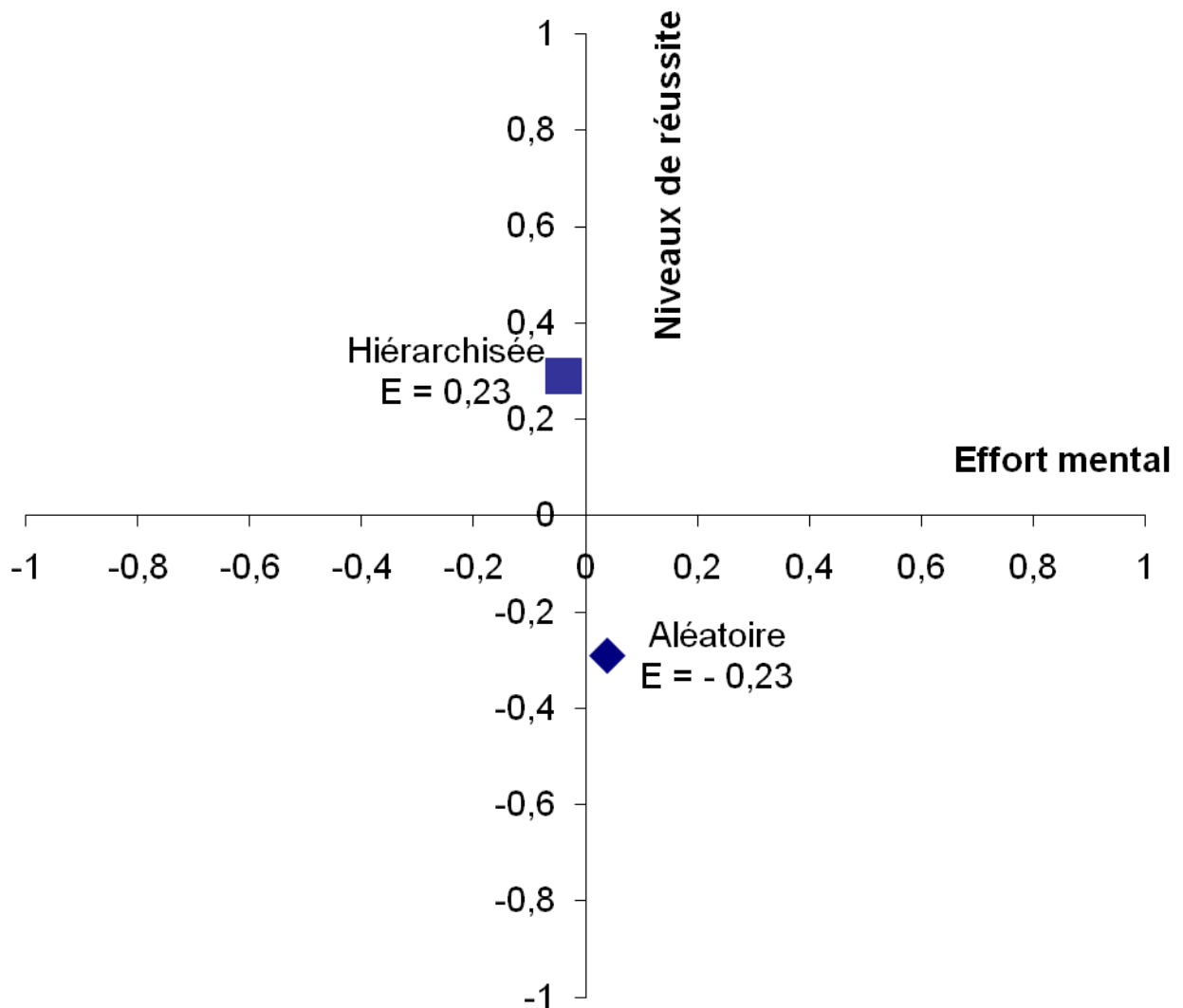


Figure 57 : Représentation de l'efficacité deux modes de présentation. L'indice d'efficacité 'E' est placé sur le graphique pour chaque condition (aléatoire et hiérarchisée).

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 régi 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.

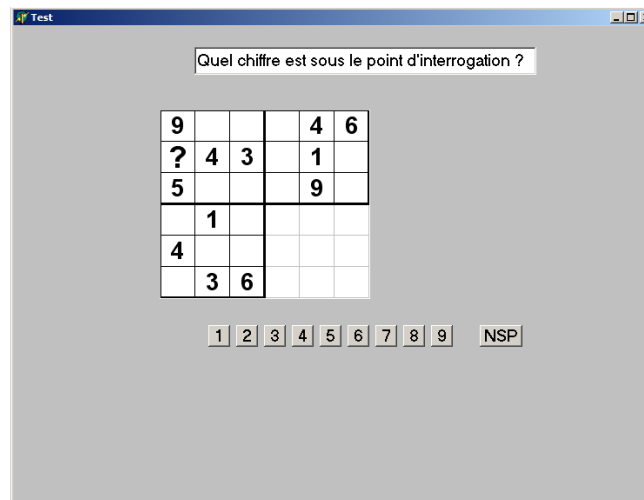


Figure 60 : Situation de passation (problème 6)

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 ($F(1, 71) = 8,141, p < .006$).

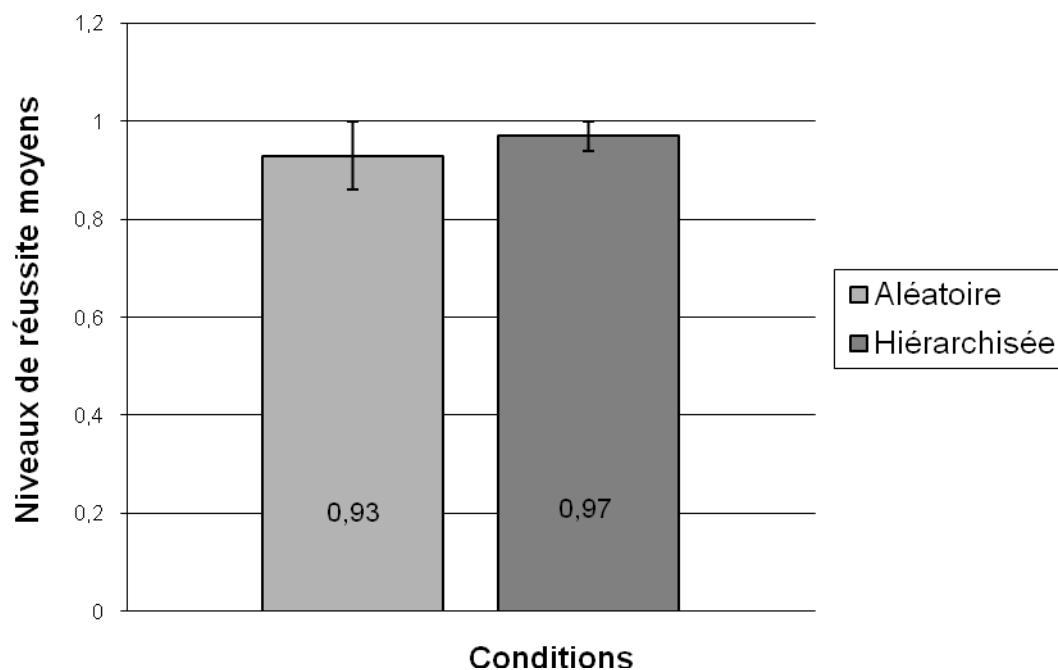


Figure 61 : Niveaux de réussite moyens aux problèmes issus du jeu du Démineur© pour les deux conditions (aléatoire et hiérarchisée).

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.

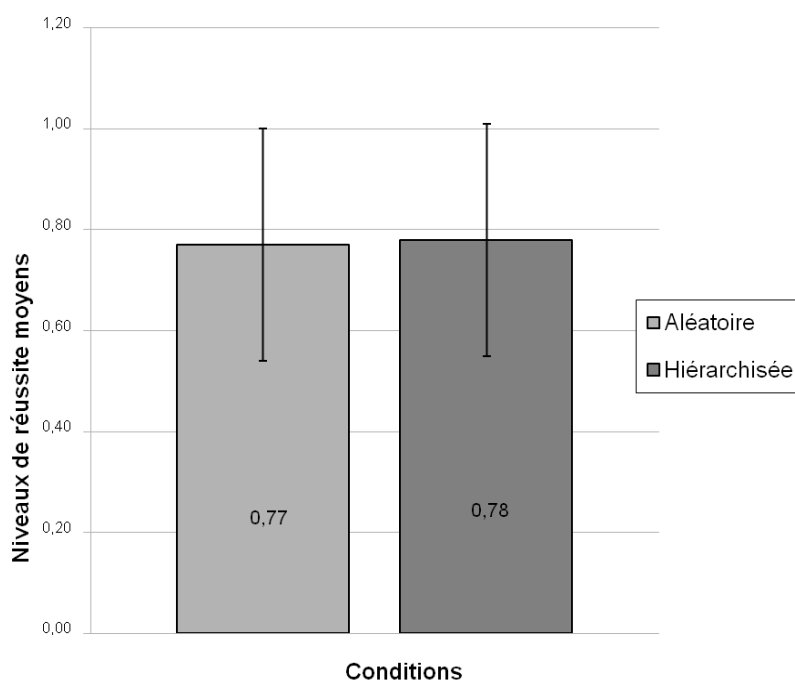


Figure 62 : Niveaux de réussite moyens aux problèmes de Sudoku© en fonction du mode d'organisation des problèmes de Démineur©

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 ; $t(36) = 0.738$, 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