

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

Étude de l'influence du guidage haptique sur l'exploration  
des fonctionnalités d'un environnement  
hypermédia de formation

Présenté par  
Stéphane Boucher  
Département de communication  
Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université  
de Montréal en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences  
(M.Sc.) en **Sciences de la communication**

Janvier 2000

© Stéphane Boucher, 2000



P

90

054

2000

1.00E

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé

Étude de l'influence du guidage haptique sur l'exploration  
des fonctionnalités d'un environnement  
hypermédia de formation

Présenté par  
Stéphane Boucher

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Micheline Frenette	Président – rapporteur
Aude Dufresne	Directrice de recherche
Line Grenier	Membre du jury

## Sommaire

L'évolution rapide et constante des systèmes informatiques ainsi que l'émergence des nouvelles technologies de communication ont favorisé le développement d'une infrastructure permettant de diffuser des connaissances via le réseau Internet. L'engouement des gouvernements, des entreprises et des universités à l'égard de cette nouvelle façon de diffuser le savoir n'est cependant pas sans nous rappeler qu'il est impératif de redéfinir les fondements de notre système d'éducation pour pouvoir réaliser un enseignement à distance de qualité. En effet, il ne s'agit plus simplement de présenter clairement la matière accompagnée d'exemples mais aussi d'apprivoiser la technologie pour favoriser la motivation et l'apprentissage des élèves sur le réseau.

Un des éléments auquel nous devons porter une attention particulière lors de la conception d'environnements de formation est le système d'aide de l'interface. Il est en effet très important de fournir aux apprenants une aide de qualité, d'une part, pour pallier au manque de support causé par l'absence physique du professeur dans les salles de classes virtuelles, et d'autre part, pour réduire les risques de surcharge cognitive et de désorientation spatiale lors de l'exploration de l'interface. Nous croyons que l'intégration de systèmes d'aide plus supportants au sein des environnements hypermédias pourrait permettre de solutionner, ou du moins partiellement, les lacunes des systèmes d'aide actuels.

L'objectif général de la présente recherche est donc orienté vers l'expérimentation d'un système d'aide multimodal innovateur comportant du guidage haptique et du guidage visuel. La particularité du guidage haptique est qu'il permet de conduire la main de l'utilisateur sur les éléments importants de l'interface afin d'en faciliter l'exploration. Le guidage visuel permet quant à lui d'attirer l'attention de l'utilisateur à des endroits précis de l'interface par l'utilisation des marqueurs visuels.

Bien qu'il soit nouveau en informatique, le guidage a été relativement bien exploré au début du siècle par des chercheurs en psychologie expérimentale (Carr, 1930 ; Waters, 1930). Inspiré des résultats de ces recherches ainsi que de ceux de notre expérimentation préliminaire, nous avons fait la conception d'un système d'aide multimodal que nous avons intégré à l'environnement de formation *ExploraGraph* dans le but de pouvoir vérifier nos hypothèses de recherche.

Spécifiquement, nous voulons comparer l'influence relative des systèmes de guidage haptique et visuel au niveau de l'exploration des fonctionnalités de l'environnement de formation *ExploraGraph* afin de savoir quel est l'impact du guidage haptique sur les usagers. Nous portons donc une attention particulière aux indicateurs nous permettant d'isoler les effets du guidage sur les comportements d'utilisation : le nombre d'ouvertures de graphe, la fréquence d'utilisation des fonctionnalités enseignées, le taux de rétention des usagers, le nombre de consultations du système d'aide et finalement la satisfaction des usagers face au système d'aide et à l'environnement de formation en général.

De façon générale, l'analyse indique que le guidage haptique peut être, sous certaines conditions, une solution intéressante pour pallier au manque de support à l'utilisateur dans les environnements hypermédias. Nous croyons en effet qu'en modifiant certaines règles de conception du guidage en fonction des recommandations formulées dans ce mémoire, les résultats de la recherche auraient pu être plus concluants. De plus, la différence importante observée entre les groupes haptique et visuel au niveau de l'utilisation des fonctionnalités de l'interface nous permet de penser qu'il aurait été possible d'obtenir des résultats significatifs en expérimentant avec un échantillon plus grand.

Même si nos hypothèses de recherche n'ont pu être vérifiées statistiquement, les résultats de cette expérimentation nous auront tout de même permis de formuler un ensemble de recommandations utiles à la conception de systèmes de

guidage haptique plus supportants. Bien qu'elles ne soient pas exhaustives, celles-ci pourront être considérées comme une base théorique solide pour l'étude subséquente du guidage haptique en informatique.

**Mots-clés :** Hypermédia, Télé-formation, Support à l'utilisateur, Multimodalité

## Table des matières

Sommaire .....	iii
Table des matières .....	vi
Liste des tableaux .....	x
Liste des figures.....	xi
Remerciements.....	xii
Introduction.....	1
1.1 Contexte de la recherche .....	2
1.2 La télé-formation .....	3
1.3 Les grandes lignes de la recherche.....	5
Contexte théorique.....	6
2.1 L'interface humain-ordinateur .....	7
2.1.1 Le concept d'interface.....	7
2.1.2 Évolution de l'interface.....	9
2.2 La télé-formation .....	11
2.2.1 Définition de la télé-formation .....	11
2.2.2 La situation actuelle de la télé-formation.....	13
2.2.3 Interfaces des systèmes de formation.....	14
2.3 Les systèmes d'aide.....	15
2.3.1 Le concept de système d'aide .....	16
2.3.1.1 Les explications textuelles .....	16
2.3.1.2 Les représentations graphiques.....	17
2.3.1.3 Les démonstrations animées .....	17
2.3.1.4 Le son et la voix.....	18
2.3.2 Critique des systèmes d'aide .....	18
2.3.3 Règles de conception de l'aide .....	19
2.3.4 Vers un support intégré à la tâche .....	20
2.4 Le guidage haptique.....	21
2.4.1 Dispositif haptique - Le Mousecat .....	21
2.4.2 La modalité haptique et la perception .....	23
2.4.2.1 Distinction entre la perception visuelle et haptique.....	24
2.4.3 Le guidage et la psychologie expérimentale .....	24
2.4.3.1 Le guidage visuel.....	25
2.4.3.2 Le guidage physique.....	26
2.4.3.3 Le guidage lors des tâches de poursuite.....	28
2.4.3.4 Tableaux synthèse.....	30
Problématique.....	32
3.1 Énonciation de la problématique .....	33
3.1.1 Objectif général .....	33
3.1.2 Objectif spécifique .....	34

3.1.3	Hypothèse générale.....	34
3.1.4	Hypothèses spécifiques.....	35
3.2	Une étude préliminaire s'impose .....	37
Expérimentation préliminaire.....		38
4.1	Objectifs de l'expérimentation.....	39
4.2	Liens avec l'expérimentation subséquente .....	39
4.3	La loi de Fitts.....	40
4.3.1	Énonciation de la loi de Fitts .....	40
4.4	L'application expérimentale .....	41
4.5	Méthodologie de l'expérimentation .....	43
4.5.1	L'échantillon.....	43
4.5.2	Le matériel.....	43
4.5.3	La tâche.....	43
4.5.4	Les profils de force .....	43
4.5.5	Paramètres de l'expérimentation .....	44
4.5.6	Schéma expérimental .....	45
4.5.7	Le déroulement de l'expérimentation .....	46
4.6	Présentation des résultats .....	47
4.6.1	Comparaison des quatre profils de force .....	47
4.6.1.1	Bande passante.....	47
4.6.1.2	Nombre moyen d'erreurs .....	48
4.6.2	Comparaison des différentes intensités de force .....	49
4.6.2.1	Expérience sur la force hyperbolique .....	49
4.6.2.2	Expérience sur la force élastique .....	50
4.6.2.3	Expérience sur la force mixte.....	52
4.6.2.4	L'assistance.....	53
4.6.3	Résultats du questionnaire .....	54
4.6.3.1	Appréciation générale du guidage.....	54
4.6.3.2	Appréciation des quatre profils de force.....	54
4.6.3.3	Évaluation de la contrainte causée par la force du guidage .....	55
4.6.3.4	Appréciation des différentes intensités de force .....	56
4.7	Discussion des résultats.....	56
4.7.1	Limites de l'expérimentation .....	57
4.8	Conclusion .....	57
L'environnement de formation.....		59
5.1	Précisions sur la propriété intellectuelle.....	60
5.2	L'environnement ExploraGraph .....	60
5.2.1	Le tableau de bord.....	61
5.2.2	Les menus déroulants .....	61
5.2.3	Le navigateur d'outils.....	62
5.2.4	Le navigateur des activités - COM 3561 .....	63
5.2.5	Le navigateur de connaissances.....	64
5.2.6	Les applications commerciales .....	65
5.2.6.1	Les outils de gestion du temps.....	65
5.2.6.2	Les outils de communication.....	65
5.2.6.3	Les outils de production .....	66
5.2.7	Les systèmes d'aide .....	66
5.2.7.1	Les explications textuelles .....	66
5.2.7.2	Les agents virtuels d'information.....	66

5.2.7.3 Le guidage.....	67
Méthodologie .....	69
6.1 L'échantillon .....	70
6.2 Le matériel .....	70
6.3 Le lieu .....	70
6.4 La validation du système.....	70
6.5 Tâche des expérimentateurs .....	71
6.6 Déroulement de l'expérimentation .....	71
Présentation des résultats.....	73
7.1 Considérations statistiques.....	74
7.2 Profil de l'échantillon .....	75
7.2.1 Expérience en informatique .....	75
7.2.2 Habitudes d'utilisation .....	76
7.2.2.1 Fréquences d'utilisation des applications liées à l'Internet .....	76
7.2.2.2 Fréquences d'utilisation des logiciels du cours COM 3561 .....	76
7.2.2.3 Fréquences d'utilisation des modalités d'aide .....	77
7.3 Analyse de la trace.....	78
7.3.1 Le nombre d'ouvertures de graphe .....	78
7.3.2 La fréquence d'utilisation des fonctionnalités de l'interface .....	78
7.3.3 Les demandes d'aide.....	79
7.4 Analyse des questionnaires.....	79
7.4.1 Appréciation de l'environnement de formation .....	80
7.4.2 Appréciation du système guidage .....	80
7.4.2.1 Appréciation de la durée du guidage.....	81
7.4.2.2 Appréciation de la vitesse du guidage.....	81
7.4.2.3 Appréciation de la force du guidage haptique .....	82
7.4.2.4 Appréciation de la liberté laissé par le guidage .....	82
7.4.2.5 Le guidage et la compréhension des explications .....	83
7.4.2.6 Le guidage et la rétention des explications .....	83
7.4.2.7 Le guidage et la compréhension de l'environnement .....	84
7.4.2.8 Le guidage et la désorientation spatiale .....	85
7.5 Le test de rappel.....	85
7.6 Analyse du verbatim de l'observation .....	85
7.6.1 Méthodologie d'analyse .....	86
7.6.1.1 Appréciation technique du guidage .....	87
7.6.1.2 Apport cognitif du guidage .....	87
7.6.1.3 Niveau de stress occasionné par le guidage .....	88
7.6.1.4 Contrôle du guidage.....	89
Discussion .....	90
8.1 Vérification des hypothèses.....	91
8.1.1 Hypothèse 1 .....	91
8.1.2 Hypothèse 2 .....	92
8.1.3 Hypothèse 3 .....	92
8.1.4 Hypothèse 4 .....	93
8.1.5 Hypothèse 5 .....	94
8.1.5.1 Questionnaires.....	94
8.1.5.2 Observation des sujets en situation de guidage .....	95
8.1.6 Hypothèse 6 .....	96

8.2	Recommandations pour une future expérience .....	96
8.2.1	Favoriser la motivation des sujets.....	97
8.2.2	Solidifier le système.....	97
8.2.3	Recommandations pour la conception du guidage haptique .....	97
	Conclusion.....	100
	Références bibliographiques.....	103
	Annexes.....	xiii

## Liste des tableaux

Tableau I : Avantages et limites des différents types de guidage .....	30
Tableau II : Conditions d'efficacité des différents types de guidage .....	31
Tableau III: Spécifications des paramètres de l'expérimentation préliminaire.....	45
Tableau IV : Ordre de présentation de la force par groupe de sujets .....	46
Tableau V : Bande passante moyenne par expérience .....	48
Tableau VI : Nombre moyen d'erreurs par expérience .....	49
Tableau VII : Influence de la force sur la bande passante - Hyperbolique .....	50
Tableau VIII : Influence de la force sur les erreurs - Hyperbolique .....	50
Tableau IX : Influence de la force sur la bande passante - Élastique .....	51
Tableau X : Influence de la force sur les erreurs - Élastique .....	51
Tableau XI : Influence de la force sur la bande passante - Mixte .....	52
Tableau XII : Influence de la force sur les erreurs - Mixte.....	52
Tableau XIII : Influence de la force sur la bande passante - Assistance.....	53
Tableau XIV : Influence de la force sur les erreurs - Assistance.....	53
Tableau XV : Spécifications des règles d'apparition du guidage .....	68
Tableau XVI : Nombre total d'ouvertures de graphe.....	78
Tableau XVII : Nombres totaux d'utilisations des fonctionnalités de l'interface .....	79
Tableau XVIII : Nombre total de demandes d'aide .....	79
Tableau XIX : Résultats moyens de l'analyse du verbatim .....	86

## Liste des figures

Figure 1 : Le Mousecat .....	22
Figure 2 : Application de l'expérimentation sur la loi de Fitts .....	42
Figure 3 : Répartition des sujets selon la force qu'ils préfèrent.....	55
Figure 4 : Répartition des sujets selon la force qu'ils jugent la plus contraignante.....	55
Figure 5 : Répartition des sujets selon l'intensité de force qu'ils préfèrent.....	56
Figure 6 : Le navigateur d'outils .....	62
Figure 7 : Le navigateur des activités - COM 3561.....	63
Figure 8 : Le navigateur des connaissances .....	64
Figure 9 : Fréquences moyennes d'utilisation des applications liées à l'Internet.....	76
Figure 10 : Fréquences moyennes d'utilisation des logiciels du cours.....	77
Figure 11 : Fréquences moyennes d'utilisation des modalités d'aide .....	77
Figure 12 : Appréciation moyenne de l'environnement de formation .....	80
Figure 13 : Appréciation moyenne du système guidage.....	81
Figure 14 : Appréciation moyenne de la durée du guidage .....	81
Figure 15 : Appréciation moyenne de la vitesse du guidage .....	82
Figure 16 : Appréciation moyenne de la force du guidage haptique .....	82
Figure 17 : Appréciation moyenne de la liberté laissée par le guidage .....	83
Figure 18 : Appréciation moyenne de l'impact du guidage sur la compréhension des explications.....	83
Figure 19: Appréciation moyenne de l'impact du guidage sur la rétention des explications.....	84
Figure 20: Appréciation moyenne de l'impact du guidage sur la compréhension de l'environnement.....	84
Figure 21: Appréciation moyenne du guidage contre la désorientation spatiale .....	85

## Remerciements

Je veux remercier sincèrement ma directrice de recherche, Aude Dufresne, professeure au département de communication de l'Université de Montréal, qui a su, par son implication, son dévouement et son travail professionnel, me donner les outils et la motivation pour réaliser cette recherche.

Je souhaite également remercier Christophe Ramstein (Ph.D), responsable de la recherche et du développement chez Haptic Technologies ainsi que toute l'équipe des programmeurs pour leur aide théorique et pratique précieuse.

Je ne saurais passer sous silence la collaboration de mes confrères de travail, en l'occurrence, Marcelo Maina, Chantale Pelletier, Isabelle Bayard et Dominique Gagné pour leur participation à ce projet de recherche.

Mes remerciements s'adressent aussi à mes amis les plus proches, aux sujets qui ont accepté de participer à cette recherche ainsi qu'à tous les professeurs du département de communication.

En terminant, je voudrais adresser un remerciement très spécial à mes parents, Bernard et Colombe, pour leur soutien, leur générosité et leur présence inestimable à mes yeux.

# Introduction

## 1.1 Contexte de la recherche

Dans un contexte où les systèmes informatiques ne cessent d'évoluer, il est devenu primordial d'accorder une part importante des budgets de recherche des entreprises au développement d'interfaces mieux adaptées à la complexité des applications informatiques d'aujourd'hui. En effet, l'efficacité de la communication entre l'utilisateur et le système est plus souvent qu'autrement affectée négativement par la qualité douteuse des interfaces actuelles. Conséquemment, il est parfois difficile pour les usagers de profiter pleinement du potentiel des différentes fonctionnalités des applications qu'ils possèdent.

C'est en majeure partie à cause de cette réalité que l'ergonomie<sup>1</sup>, science qui s'était jusque là intéressée principalement à la notion de travail physique, s'est ouverte à l'étude du travail mental. Cette nouvelle discipline dérivée de l'ergonomie classique est mieux connue sous le nom d'ergonomie cognitive.

La principale différence entre l'ergonomie classique et l'ergonomie cognitive se situe au niveau de la nature de l'interaction entre l'homme et la machine. Alors que l'ergonomie classique est orientée vers l'adaptation du travail physique à l'homme, l'ergonomie cognitive vise essentiellement l'étude des aspects cognitifs qui entrent en jeu lors de l'interaction humain-ordinateur dans le but d'améliorer la qualité de la communication.

Avant d'aller plus loin, nous croyons qu'il est important de nous attarder à la notion plus générale d'ergonomie. Afin de mieux la comprendre, nous reprenons les propos de Spérando :

---

<sup>1</sup> Du grec Ergon, le travail et Nomos, règle, connaissance, savoir. Étymologiquement, l'ergonomie signifie science du travail. L'invention de ce néologisme est attribuée au psychologue anglais KFH Murrell, en 1949, mais ce terme semble avoir été inventé en 1857 par un naturaliste polonais, Wojciech Jastrzebowski, auteur d'un précis d'ergonomie ou de la science du travail basé sur des vérités tirées des sciences de la nature (Spérando, 1988, p.1).

"L'ergonomie est une discipline scientifique un peu particulière. Elle est constituée par plusieurs disciplines, plus exactement par des parties de disciplines, qui concourent à la connaissance scientifique de l'homme au travail, sous les divers aspects physiologiques, psychologiques, sociologiques et médicaux du travail humain. Cette connaissance scientifique vise un objectif pratique qui conditionne et justifie l'existence même de l'ergonomie : l'adaptation du travail à l'homme." (Spérandio, 1988, p.1)

Les recherches en ergonomie cognitive ont entraîné plusieurs changements dans le monde de l'informatique. L'un de ces changements est le développement de l'interface graphique. En effet, après avoir fonctionné longtemps avec des commandes dérivées du langage de l'ordinateur, l'interface est devenue plus graphique que textuelle, adoptant un mode de communication basé sur le principe de la métaphore et de la manipulation directe (Shneiderman, 1982 ; 1983). Le dynamisme entraîné par cette nouvelle forme d'interaction, combiné à la demande croissante en information que l'on pouvait ressentir à cette époque dans diverses couches de la société, sont autant de facteurs qui ont permis par la suite, la diffusion des réseaux hypermédias.

## **1.2 La télé-formation**

Parmi les opportunités engendrées par le développement de ces réseaux, la formation à distance est probablement l'une des plus intéressantes. Toutefois, avant de pouvoir tirer profit de cette nouvelle approche pédagogique, il est impératif de solutionner, au moins partiellement, le problème du support à l'utilisateur dans les environnements hypermédias. En effet, la piètre qualité des systèmes d'aide qui y sont intégrés ne fait qu'ajouter aux problèmes causés par leur complexité et par l'isolement des apprenants en contexte de télé-formation. Sans un support adéquat, les usagers débutants risquent d'être victimes d'une surcharge cognitive à cause de la densité des informations visuelles présentées à l'écran (Schneiderman, 1982 ; 1983). Ils deviennent alors incapables de

reconnaître les éléments importants de l'interface et par conséquent, il y a peu de chances qu'ils puissent tirer le plein rendement de l'environnement de formation.

Désireux d'apporter des solutions concrètes au problème du support à l'utilisateur dans les interfaces, Neerincx & De Greef (1993) proposent d'imbriquer l'aide à l'utilisateur directement dans le processus d'exploration de l'interface. Selon ces chercheurs, il est important de fournir une aide contextuelle qui agit de concert avec l'utilisateur pendant qu'il explore le système, afin d'optimiser l'efficacité du système d'aide. D'un point de vue pratique, il est désormais possible de fournir un tel support à l'aide d'un dispositif haptique. Grâce à la force qu'il émet, cet outil permet de guider le mouvement de l'utilisateur lors de l'exploration de l'interface.

Nous croyons que le guidage haptique peut constituer une solution intéressante pour améliorer la qualité du support à l'utilisateur dans les interfaces car, selon Carr (1930), une habileté motrice est mieux assimilée par l'humain lorsque celui-ci est impliqué physiquement dans la série de mouvements nécessaires à son exécution. Il cite en exemple le cas d'un professeur qui prend la main de son élève pour l'aider à écrire correctement et celui d'un professionnel du golf qui se tient derrière son élève pour l'aider à mieux définir ses mouvements.

Malgré les avantages qu'il présente, le guidage haptique demeure une solution partielle au problème du support à l'utilisateur dans les environnements hypermédias. En effet, les limites actuelles de la technologie haptique ainsi que les coûts de programmation qu'elle suppose sont autant de facteurs qui empêchent la conception d'interfaces haptiques plus supportantes. Malgré cela, nous espérons que cette modalité d'aide permettra d'améliorer un tant soit peu la qualité de l'interaction humain-ordinateur et assurera une meilleure compréhension de l'interface chez les usagers débutants.

### **1.3 Les grandes lignes de la recherche**

Le prochain chapitre sera consacré à la description du contexte théorique dans lequel s'inscrit notre recherche. Nous formulerons par la suite notre problématique et expliciterons nos hypothèses de recherche. Avant de décrire la méthodologie et l'environnement expérimental utilisé pour tester ces hypothèses, nous parlerons de l'expérimentation préliminaire effectuée en septembre 1998. Finalement, nous présenterons les résultats de l'expérimentation centrale et discuterons des résultats obtenus.

## **Contexte théorique**

## **2.1 L'interface humain-ordinateur**

Les développements technologiques des dernières années ont contribué à faire augmenter l'importance des facteurs cognitifs dans les applications informatiques (Spérando, 1991). Les problèmes de puissance de calcul, de rapidité et de fiabilité ayant été résolus, les chercheurs se sont tournés vers le raffinement des applications existantes en mettant l'accent sur le rôle de l'interface dans la relation entre l'humain et l'ordinateur. Celle-ci devenait alors un facteur important d'acceptabilité et d'efficacité des systèmes informatiques.

### **2.1.1 Le concept d'interface**

Les différents intervenants du domaine informatique apportent des définitions variées du concept d'interface sans toutefois s'accorder sur une définition formelle. En effet, les définitions qu'apportent les ingénieurs au sujet de l'interface sont bien différentes de celles des informaticiens, techniciens et spécialistes de l'ergonomie cognitive. Certains auteurs la définissent comme l'ensemble des dispositifs permettant la communication entre l'homme et l'ordinateur, alors que d'autres la définissent comme la jonction physique et perceptuelle entre le système informatique et l'utilisateur. Pour les fins de notre recherche, nous avons retenu deux définitions qui, tout en étant complémentaires, nous ont semblé particulièrement pertinentes à notre objet d'étude.

La première à avoir attiré notre attention est celle de Moran (1981). Celui-ci définit l'interface comme une entité composée d'une part, des périphériques de l'ordinateur et d'autre part, du contenu affiché à l'écran ainsi que du modèle mental que l'utilisateur se fait du système avec lequel il interagit. Cette définition contribue à souligner le fait que l'interface est constituée autant par ses composantes visibles qu'invisibles, en l'occurrence, la représentation mentale de l'utilisateur.

"The interaction between the user and the computer occurs at the computer's user interface. The designer usually thinks of the user interface as the terminal hardware plus the software that receives, interprets and sends messages (and displays) to the user. This definition may satisfy the system designer and implementer, but it is inadequate from the user's point of view. Psychologically, the user interface is any part of the system that the user comes in contact with, either physically, perceptually or conceptually. (...) The whole conceptual organization of the computer system from the user's point of view, the user's conceptual model of the system, is an integral part of the user interface. (Moran, 1981, p3-4)

Bien qu'elle constitue un excellent point de départ pour comprendre le concept d'interface, nous désirons aller plus loin au niveau conceptuel et intégrer à notre recherche une définition plus spécifique à notre objet d'étude. À cet effet, Joëlle Coutaz propose une définition de l'interface qui nous a semblé très bien adaptée à notre recherche étant donné les liens qu'elle établit avec les différents canaux de communication de l'être humain. Cette définition met en lumière le rôle de l'interface en tant que jonction des différentes modalités de communication et rappelle la fonction de traduction que l'interface doit remplir afin de concrétiser l'interaction entre l'humain et l'ordinateur. Elle met également en relief la notion de représentation mentale de l'utilisateur dans le processus de communication.

"Au sens large, une interface est un dispositif qui sert de limite commune à plusieurs entités communicantes. Chaque entité s'exprime dans un langage spécifique : signal électrique, force mécanique, langue artificielle ou naturelle, etc. Pour que la communication soit possible, le dispositif doit assurer à la fois la connexion physique entre les entités et faciliter les opérations de traduction entre les formalismes. Dans le cas de l'interface humain-ordinateur, la connexion a lieu entre l'image du système c'est-à-dire sa manifestation externe et les organes sensorimoteurs de l'utilisateur ; la traduction s'effectue entre les formalismes du système et ceux de l'utilisateur. Du côté système, une traduction est assurée entre

les représentations internes adaptées au traitement du problème et la représentation externe qui participe à la définition de l'image. Une opération analogue se produit du côté utilisateur entre la représentation mentale de la situation perçue ou à atteindre et les actions physiques à entreprendre. Une fois la communication établie, l'interaction peut avoir lieu." (Coutaz, 1990, p5-6)

### **2.1.2 Évolution de l'interface**

Les premières interfaces humain-ordinateur à avoir été développées ont été les interfaces à commandes. Celles-ci fonctionnaient à partir du langage spécifique de l'ordinateur. On a ensuite assisté à l'apparition d'interfaces en langage naturel capables de décoder le langage humain pour exécuter les commandes et d'interfaces graphiques dont le fonctionnement est basé sur le principe de la métaphore et de la manipulation directe.

Les interfaces à commandes permettaient à l'utilisateur d'interagir avec l'ordinateur à l'aide d'un vocabulaire technique hautement spécialisé. Elles accordaient un rôle de premier plan à l'utilisateur et exigeaient la mémorisation des commandes nécessaires pour réaliser la tâche. Trop peu conviviale, ce type d'interface est peu à peu tombé dans l'oubli (Laroche & Giroux, 1987).

Les interfaces en langage naturel ont quant à elles été conçues de façon à compenser pour les faiblesses des interfaces à commandes. Les concepteurs qui les ont mises au point voulaient créer des interfaces capables de comprendre le langage humain dans toute sa complexité. Faute d'y parvenir, ils ont dû se contenter d'interfaces pouvant reconnaître un vocabulaire humain très limité. Bien que ce type d'interface ait permis de faire un grand pas vers une communication humain-ordinateur plus naturelle, ses limites ont encouragé les informaticiens à poursuivre leurs recherches afin d'atteindre un plus haut niveau d'interactivité entre l'utilisateur et le système.

C'est au début des années 80 que l'on a pu remarquer la première manifestation de l'interface graphique à manipulation directe (Shneiderman, 1982 ; 1983). Ce type d'interface fonctionnait essentiellement à partir d'un espace de travail, de menus et d'icônes. C'est avec la sortie du micro-ordinateur Star, en 1981, que la compagnie Xerox a présenté la première interface graphique à certains initiés du domaine informatique. (Johnson, Roberts, Verplank, Smith, Irby, Beard & Mackey, 1989). Quelques années plus tard, la compagnie Apple popularisait l'interface graphique avec la sortie du Macintosh (Apple, 1987).

L'avènement de l'interface graphique a permis subséquemment la diffusion à grande échelle des technologies hypertexte et hypermédia<sup>2</sup> qui étaient jusque là restées peu connues du public. Cette diffusion a été une étape déterminante dans le processus de mondialisation de l'information. En effet, elles ont permis à la plupart des individus des sociétés industrialisées d'avoir accès aux réseaux informatiques mondiaux. La facilité d'utilisation de ces technologies ainsi que les faibles coûts de programmation qu'elles supposent sont autant de facteurs qui continuent, encore aujourd'hui, d'assurer leur popularité.

À l'heure actuelle, la technologie hypermédia est au coeur de plusieurs innovations technologiques, notamment la télé-formation. Bien que cette nouvelle façon de diffuser la connaissance soit très prometteuse, elle comporte encore des défis importants pour les concepteurs de systèmes informatisés, particulièrement au niveau du support à l'utilisateur.

Dans la prochaine section, nous définirons le concept de télé-formation. Nous examinerons par la suite la situation actuelle de cette nouvelle forme

---

<sup>2</sup> Réseau constitué d'unités d'informations organisées hiérarchiquement, permettant la diffusion de textes, d'images et de sons sur un même support informatique. Cette structure permet à l'utilisateur une consultation non-linéaire où il est possible de rejoindre un même contenu de différentes façons (Shneiderman & Kearsley, 1989 ; Jonassen, 1988).

d'enseignement et apporterons des précisions sur le rôle du formateur et l'importance du support à l'utilisateur en télé-apprentissage.

## **2.2 La télé-formation**

Depuis quelques années, les universités doivent gérer un nombre toujours plus élevé d'étudiants. Les séminaires se transforment en cours, les amphithéâtres sont pleins à craquer et les dissertations sont progressivement remplacées par des évaluations de connaissances à cause des contraintes occasionnées par le temps de correction. Par conséquent, un enseignement de qualité devient de plus en plus difficile à offrir.

Parallèlement à cette situation, la majorité des étudiants d'aujourd'hui doivent travailler pour pouvoir subvenir à leurs besoins, entraînant inévitablement un plus haut taux d'absentéisme qu'auparavant.

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication semblent être à même de proposer une solution à cette situation problématique. Les systèmes multimédias permettent en effet aux étudiants et aux professeurs de se dégager des contraintes d'espace et de temps propres aux salles de classe traditionnelles. Toutefois, il est important de se préoccuper de la question du support à l'utilisateur dans les environnements hypermedias avant de pouvoir diffuser des cours sur l'Internet de façon efficace.

### **2.2.1 Définition de la télé-formation**

La notion de formation à distance existe depuis un bon nombre d'années et plusieurs définitions peuvent lui être attribuées. Une des synthèses intéressantes sur le sujet a été réalisée par un chercheur du nom de Keegan (1980, dans Cantin & Robineault, 1984). Celui-ci fait paraître deux articles où il analyse quatre définitions de la formation à distance. Cantin & Robineault traduisent en ces termes :

"L'expression éducation à distance couvre les diverses formes d'études de tout niveau, qui ne sont pas faites sous la supervision immédiate et continue de tuteurs (professeurs ou maîtres) présents avec leurs étudiants dans des salles de classes, mais qui, malgré cela, bénéficient de la planification, des conseils et de l'enseignement d'une institution d'éducation." (Cantin & Robineault, 1984, p.8)

"L'enseignement à distance est l'enseignement ne comportant pas dans le lieu où il est reçu, la présence physique du maître chargé de le dispenser, ou ne comportant une telle présence que de manière occasionnelle ou pour certains exercices." (Cantin & Robineault, 1984, p.9)

"L'enseignement à distance est un système d'enseignement dans lequel les comportements d'enseignement sont exécutés en dehors des comportements d'apprentissage, ... de sorte que la communication entre le maître et l'apprenant doit être faite ou facilitée par l'imprimé, l'électronique, la mécanique, ou par d'autres moyens." (Cantin & Robineault, 1984, p.9)

"L'éducation à distance est une méthode de communiquer des connaissances, des habiletés et des attitudes. C'est une méthode qui applique les principes de la division et de l'organisation du travail et de l'utilisation intensive des médias dans le but de produire un matériel d'enseignement de qualité, qui permet d'atteindre un grand nombre d'étudiants en même temps, où que soit leur lieu de résidence. C'est la forme la plus industrialisée d'enseignement et d'apprentissage." (Cantin & Robineault, 1984, p.9)

À partir de ces définitions, Keegan identifie cinq caractéristiques essentielles à une définition compréhensive du concept de télé-formation :

- La séparation du maître et de l'apprenant
- Le rôle d'un organisme d'éducation, principalement dans la planification et la préparation du matériel d'enseignement et d'apprentissage
- L'utilisation des médias techniques
- L'établissement d'un réseau permettant la communication entre le maître et ses élèves et inversement
- La possibilité de séminaires ou de rencontres face à face

### **2.2.2 La situation actuelle de la télé-formation**

Durant la dernière décennie du vingtième siècle, le besoin de renouveler continuellement nos connaissances s'est considérablement accru. Ce phénomène a entraîné la nécessité de développer rapidement une infrastructure permettant de diffuser la connaissance sur le réseau Internet. À l'heure actuelle, plusieurs parties de cette infrastructure sont déjà en place. En effet, plusieurs projets au Canada ont développé des prototypes permettant de supporter l'enseignement à distance sur Internet (Dufresne, 1997a). Il existe également un éventail d'applications et de ressources informatiques qui peuvent être utilisées en télé-formation : les navigateurs Internet, les applications de courrier électronique, les logiciels de transfert de fichiers, les forums, les bases de données des bibliothèques, etc.

Cependant, pour réaliser cette révolution du monde académique, il faut se rappeler, comme le souligne Gates (1996), que pour dispenser de la formation sur Internet, nous devons repenser complètement les fondements de notre système d'enseignement. En effet, avec l'arrivée des technologies de l'information, les étudiants vivent actuellement une révolution au niveau de leur façon d'apprendre et d'accomplir leurs tâches. Il est donc important de développer des environnements de formation bien adaptés aux besoins des apprenants afin qu'ils puissent profiter pleinement des avantages de la technologie.

### 2.2.3 Interfaces des systèmes de formation

L'apparence visuelle du système est définitivement un des éléments fondamentaux de la conception des environnements de formation à distance. En effet, des informations présentées de façon claire, selon une logique hiérarchique, accompagnées d'exemples et d'illustrations devraient en principe attirer davantage l'attention de l'apprenant. De plus, la brièveté est un art et une force en formation à distance car l'attention soutenue du lecteur est beaucoup plus courte que l'on ne croit (Chute, Sayers & Gardner, 1997).

Au-delà de la présentation visuelle des informations, il est important de faciliter la navigation dans les environnements de formation. L'utilisation d'aides contextuelles et d'aides historiques sont deux façons couramment utilisées pour remplir ce rôle. Le concepteur de la formation peut également augmenter le niveau de rétroaction du système pour mieux diriger la navigation, c'est-à-dire montrer à l'apprenant sa progression dans la matière et le guider à travers les différents modules d'apprentissage (Dufresne, 1997a).

L'environnement doit aussi comporter une certaine part d'interactivité. En effet, faire participer l'apprenant est un des meilleurs moyens pour garder son attention et favoriser l'assimilation des connaissances. Idéalement, les apprenants devraient pouvoir interagir au moins à toutes les vingt minutes (Chute, Sayers & Gardner, 1997). Plusieurs moyens existent pour faire participer l'apprenant, notamment, les forums, les groupes de discussion et les *groupwares*, c'est-à-dire des travaux d'équipe effectués simultanément, à distance.

De plus, diverses recherches démontrent que les interfaces ont avantage à être adaptatives ; il ne faut donc pas seulement supporter la navigation et augmenter le niveau d'interactivité du système, mais aussi tâcher de présenter les contenus graduellement à l'apprenant afin de le mettre à l'abri d'une surcharge éventuelle d'informations (Dufresne, 1997a).

Enfin, l'environnement de formation doit comporter un système de support suffisamment puissant pour pallier à l'absence du professeur et au manque de contacts interpersonnels dans l'environnement de formation. Ainsi, en plus de la mise sur pied d'un réseau de personnes ressources disponibles pour aider les apprenants en cas de besoin, un système d'aide adéquat doit être intégré à l'environnement de formation. En effet, comme les environnements hypermédias sont très propices à la surcharge cognitive (Nielsen, 1990a ; Simpson, 1990 ; Conklin, 1987), il devient extrêmement important de fournir aux usagers débutants une aide capable de les guider lors de l'exploration de l'interface (Dufresne, 1997a). Bien que plusieurs améliorations aient été apportées aux systèmes d'aide existants au cours des dernières années, il reste encore beaucoup à faire pour assurer un support adapté aux environnements hypermédias. Comme le soulignent Szilas & Ramstein (1996), la plupart des systèmes d'aide existants demeurent mal adaptés à la nature visuelle et dynamique des interfaces graphiques.

Un des enjeux majeurs pour les chercheurs en ergonomie cognitive est de solutionner ces lacunes au niveau du support à l'utilisateur en proposant de nouvelles idées qui permettraient d'améliorer la qualité des systèmes d'aide. Nous ne prétendons pas pouvoir apporter des solutions complètes à ce problème faute de moyens techniques et financiers, cependant, nous croyons être capable de contribuer à l'avancement de la recherche en proposant une approche originale pour un support à l'utilisateur plus efficace.

### **2.3 Les systèmes d'aide**

Les systèmes d'aide sont au centre de nos préoccupations en tant que chercheur en ergonomie cognitive. En effet, avec le nombre croissant d'utilisateurs débutants en informatique et le développement de nouveaux concepts pédagogiques tels que la télé-formation, les systèmes d'aide sont en train de devenir un élément central de l'interface humain-ordinateur.

### **2.3.1 Le concept de système d'aide**

Le système d'aide d'une interface peut être considéré comme une partie intégrante du système informatique dont la fonction est d'assister l'utilisateur lorsqu'il travaille avec une application. Afin de bien comprendre le concept, il est important de distinguer clairement le système d'aide de toute forme d'aide humaine, de manuel écrit ou encore d'éléments graphiques de l'interface mis en place pour faciliter l'utilisation (Ramstein et Szilas, 1996).

Nous proposons, dans les prochains paragraphes, une description exhaustive des différents systèmes d'aide disponibles actuellement dans les interfaces. Ce faisant, nous serons également en mesure de mettre en lumière les limites de chacun.

#### **2.3.1.1 Les explications textuelles**

Les explications textuelles sont encore aujourd'hui le médium de communication privilégié par les concepteurs de systèmes informatiques. En effet, un grand nombre de systèmes d'aide offrent un support uniquement sous forme écrite. Bien qu'ils permettent de présenter des informations complètes sur les procédures, les menus d'aide textuels demeurent très peu utilisés par les usagers (Carroll & Mazur, 1986 ; Mack, Lewis & Carroll, 1983 ; Sellen & Nicol, 1990). Pour expliquer ce phénomène, certains chercheurs affirment que les explications textuelles sont mal adaptées à la nature dynamique des interfaces graphiques (Shneiderman, 1983; Sukaviriya, Isaacs & Bharat, 1992). D'autres chercheurs croient plutôt que c'est la qualité des explications qui est déficiente (Cohill, Williges, 1985 ; Czaja, Hammond & Blascovich, 1986 ; Czaja, Hammond & Blascovich, 1989 ; Dunsmore, 1980 ; Hicks, Hicks & Sen, 1990).

Par contre, malgré les désavantages qu'elles comportent, les explications textuelles permettent de bien structurer le contenu explicatif (Palmiter and Elkerton, 1991). Cette segmentation des informations favorise la mise en relief

des actions impliquées dans la réalisation des tâches et met l'emphase sur les différentes alternatives présentées à l'utilisateur pendant l'opération (Holding, 1987).

### **2.3.1.2 Les représentations graphiques**

Afin d'augmenter la richesse sémantique des explications textuelles, les concepteurs se sont peu à peu tournés vers l'utilisation de représentations graphiques dans les systèmes d'aide. Celles-ci favorisent en effet la formation de représentations mentales plus précises des éléments impliqués dans la tâche et permet de diminuer les risques de désorientation spatiale à l'intérieur du système d'aide (Palmiter, Elkerton & Baggett, 1991). Les représentations graphiques favorisent également une plus grande motivation des sujets et contribuent à mieux diriger leur attention sur les éléments importants à reconnaître (Gordon, 1968).

### **2.3.1.3 Les démonstrations animées**

Les avantages occasionnés par l'utilisation de représentations graphiques dans les systèmes d'aide ont conduit les concepteurs à s'interroger sur l'influence que pourrait avoir l'intégration de démonstrations animées dans le système d'aide d'une interface. En réponse à ce questionnement, des études ont été menées et ont démontré que les démonstrations animées permettent un apprentissage plus rapide des fonctionnalités de l'interface que les explications textuelles (Palmiter & Elkerton, 1991 ; Palmiter, Elkerton & Baggett, 1991). La possibilité de constater visuellement la dynamique spatiale de la tâche permet en effet à l'utilisateur de ne pas être victime d'une surcharge cognitive causée par la lecture des explications textuelles et la réalisation de la tâche (Paivio, 1971).

À l'heure actuelle, beaucoup de systèmes d'aide comportent des démonstrations animées. Bien que l'utilisation de celles-ci soit devenue pratique courante en informatique, plusieurs chercheurs s'interrogent encore sur leur efficacité au

niveau de l'apprentissage (Bovair and Kieras, 1991). Les démonstrations présentent en effet des segments de procédures détachés du contexte général d'utilisation sans indiquer la progression logique des actions effectuées lors de la réalisation de la tâche. Cette façon de faire incite l'utilisateur à rester passif et à se sentir peu concerné par les concepts enseignés, ce qui cause souvent des problèmes au niveau de la compréhension et de la rétention de l'information.

#### **2.3.1.4 Le son et la voix**

L'ajout du son constitue également une façon intéressante d'améliorer le contenu informationnel des systèmes d'aide. Le son permet en effet d'attirer l'attention de l'utilisateur sur les éléments importants de l'interface. De nature sémantiquement riche, le son permet de supporter la métaphore et de fusionner les informations du même type dans l'interface.

Par contre, même s'il peut avoir un grand éventail de significations, la mémorisation des correspondances entre les sons est beaucoup plus difficile et limitée qu'au plan visuel (Blattner, Sumikawa & Greenberg, 1989).

Lorsque présenté sous la forme d'une voix digitalisée ou de synthèse, le son offre des possibilités sémantiques presque illimitées. Cependant, afin d'éviter de fatiguer inutilement l'utilisateur, il est recommandé de l'utiliser en petite quantité. Généralement, la voix est utilisée pour produire de la redondance sur les informations présentées à l'écran (Blattner, Sumikawa & Greenberg, 1989).

#### **2.3.2 Critique des systèmes d'aide**

Une large part de l'efficacité de l'interaction humain-ordinateur réside dans la qualité des informations échangées entre l'utilisateur et le système (Fleury, Filliatre & Léger, 1994). Comme nous le savons, la puissance des systèmes informatiques s'est considérablement accrue au cours des dernières années. Malgré cette évolution, la convivialité des systèmes d'aide a été plus souvent

qu'autrement laissée pour compte. En effet, la plupart des systèmes d'aide qui existent actuellement sont complexes, peu précis et ne donnent pratiquement pas d'informations pertinentes au contexte de la tâche (Sellen & Nicol, 1990). De plus, il est difficile de naviguer à l'intérieur de ces systèmes car les informations qui y sont présentées sont vagues et morcelées (Nielsen, 1990b).

La non-utilisation des systèmes d'aide pourrait donc s'expliquer en partie par le fait que les usagers doivent faire l'effort de chercher l'information dont ils ont besoin pour être en mesure d'utiliser le système. Nous considérons que cette pratique est tout à fait inadaptée aux besoins actuels des usagers car elle occasionne d'importantes pertes de temps et de nombreuses erreurs lors de l'utilisation (Ramstein & Szilas, 1996).

### **2.3.3 Règles de conception de l'aide**

Nous avons recensé quelques règles pouvant être utiles à la conception de systèmes d'aide de meilleure qualité. Leur application devrait éventuellement permettre aux usagers débutants de mieux se représenter mentalement l'interface et par conséquent, de mieux relier les différentes notions enseignées aux fonctionnalités du système. Bien qu'elles soient incomplètes, ces règles de conception constituent un point de départ intéressant pour l'amélioration des systèmes d'aide à l'utilisateur. En voici une brève description :

- Les explications concernant les buts et les méthodes d'organisation du travail doivent être présentées au début de la procédure d'apprentissage (Dixon, 1987).
- Les instructions doivent être divisées en parties, identifiées clairement et présentées selon l'ordre d'exécution (Bovair & Kieras, 1991).
- Les informations relatives à chacune des parties doivent être clairement décrites et présentées par ordre d'importance (Dixon, Faries & Gabrys, 1988).

- Il peut être bon de présenter des explications sous forme graphique afin d'éviter les problèmes de désorientation. Celles-ci doivent représenter clairement les différentes étapes de la procédure que l'on veut enseigner (Lefevre & Dixon, 1986).
- Les informations graphiques doivent être accompagnées d'instructions textuelles ou verbales de façon à attirer l'attention de l'utilisateur sur les aspects visuels importants (Spangenberg, 1973).
- Les instructions verbales doivent commencer en même temps ou très peu de temps après la présentation des informations visuelles (Baggett, 1984).
- Les démonstrations animées doivent être fragmentées afin de bien attirer l'attention de l'utilisateur sur les éléments que l'on veut souligner (Rieber, 1991).

#### **2.3.4 Vers un support intégré à la tâche**

Les règles de conception décrites ci-dessus peuvent définitivement contribuer à améliorer la qualité des systèmes d'aide à l'utilisateur, cependant, malgré l'application de ces principes lors de la conception, l'aide demeure une entité distincte de l'interface, qui fonctionne indépendamment de cette dernière. En agissant parallèlement, le système d'aide tend à augmenter la charge cognitive des usagers, ce qui constitue un frein important à son efficacité.

Pour pallier à ce problème, nous croyons qu'il serait pertinent de proposer une aide multimodale<sup>3</sup> axée sur l'exploration de l'interface, qui fonctionne conjointement avec l'utilisateur pendant qu'il réalise ses activités (Ramstein, Szilas & Arcand, 1996 ; Neerincx & De Greef, 1993). L'une des options pouvant être considérée pour fournir un tel type de support est le guidage haptique.

---

<sup>3</sup> La multimodalité est la possibilité donnée aux utilisateurs d'accéder aux différents objets manipulés dans l'interface, en entrée ou en sortie, par plusieurs modalités ou encore voies sensorielles ou sensori-motrices. Par exemple, lorsqu'une interface communique simultanément des informations visuelles et sonores à l'utilisateur et que celui-ci répond à ces stimuli en utilisant le clavier et la voix, il s'agit d'une interaction multimodale (Spérando, 1991).

## **2.4 Le guidage haptique**

Le guidage haptique permet de guider la main de l'utilisateur à l'intérieur de l'interface afin de faciliter l'exploration et l'apprentissage de ses composantes. Selon Palmer & Elkerton (1991) et Ramstein, Szilas & Arcand (1996), l'implication physique de l'utilisateur lors de l'exploration conduit généralement à une meilleure compréhension des éléments enseignés ainsi qu'à une plus grande appréciation de l'interface.

Le terme *haptique* réfère à la combinaison des sens tactile et kinesthésique. Le sens tactile permet de ressentir les stimuli qui s'exercent à la surface de notre peau alors que le sens kinesthésique fournit des informations relatives à la position et au déplacement des différentes parties de notre corps dans l'environnement (Howe & Lederman, 1990 ; Lederman, 1990).

Grâce aux récents développements de l'informatique moderne, des chercheurs ont conçu des dispositifs spécialisés dans la transmission d'informations de type haptique (Payette, Hayward, Ramstein & Bergeron, 1996 ; Akamatsu & MacKenzie, 1996).

La prochaine section sera consacrée à la description du dispositif haptique utilisé pour réaliser cette recherche. Nous aborderons ensuite le thème de la modalité haptique et de la perception. Finalement, nous ferons la synthèse des recherches sur le guidage effectuées au début du siècle en psychologie expérimentale.

### **2.4.1 Dispositif haptique - Le Mousecat**

Le Mousecat est un dispositif haptique à trois degrés de liberté développé par une compagnie montréalaise. Bien que très performant au niveau de la transmission des informations, il demeure très peu diffusé dans le grand public à cause de son prix élevé. À l'heure actuelle, il est principalement utilisé par des

chercheurs universitaires désireux de comprendre son fonctionnement et d'expérimenter son potentiel dans divers contextes. Il est également utilisé dans plusieurs domaines spécialisés tel que l'aérospatial et la conception assistée par ordinateur (Payette, Hayward, Ramstein & Bergeron, 1996).

Le Mousecat permet à l'utilisateur d'obtenir trois types de rétroaction, à savoir, les transitoires, les textures et l'élasticité (Ramstein & Hayward, 1994). Les transitoires sont perceptibles lors d'un déplacement à travers une frontière de l'interface ; les textures correspondent aux oscillations de la force à l'intérieur d'une surface donnée; l'élasticité est une force qui prend sa source en un point d'origine fixe et qui est issue des mouvements de l'utilisateur. C'est cette propriété que nous utiliserons pour guider la main de l'utilisateur.

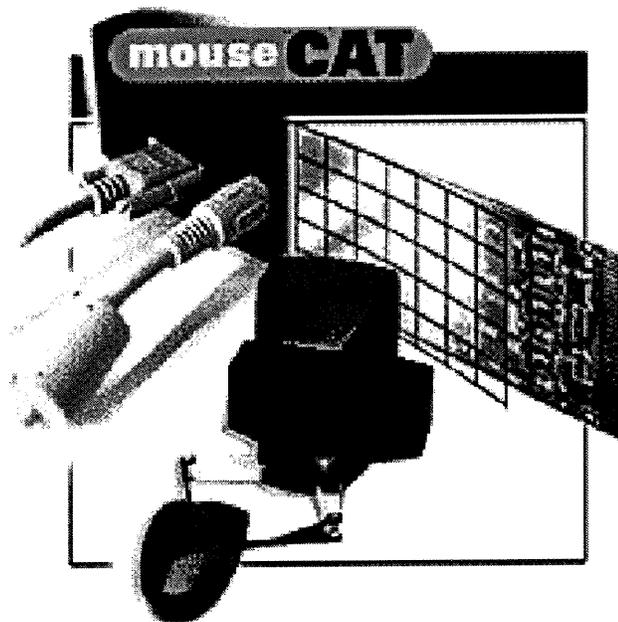


Figure 1 : Le Mousecat

## 2.4.2 La modalité haptique et la perception

L'intégration de la modalité haptique dans l'interface permet de pallier au problème de la surcharge du canal visuel en informatique. En effet, lorsque la modalité haptique est utilisée conjointement avec la modalité visuelle, certaines informations habituellement transmises par le canal visuel peuvent être transmises par le canal haptique. Cette coopération entre les modalités permet de libérer le canal visuel, diminuant ainsi les risques de surcharge cognitive chez les usagers.

Même si ces modalités peuvent en principe fonctionner indépendamment l'une de l'autre, nous croyons que leur intégration simultanée dans l'interface est préférable pour permettre à l'utilisateur de mieux percevoir et par conséquent, de mieux comprendre le fonctionnement du système.

Comme le mentionne Gibson (1988), la perception lors de l'exploration est intimement liée aux actions. Par exemple, les jeunes enfants qui explorent un environnement manipulent les différentes particularités de celui-ci afin de mieux s'y adapter. La manipulation est donc une étape très importante du processus d'apprentissage de l'être humain.

Lorsqu'il y a coopération entre le système visuel et haptique lors de l'exploration, chacun recueille le type d'information pour lequel il est le mieux adapté. Ainsi, la modalité visuelle capte les couleurs alors que la modalité haptique rend compte des textures et du positionnement dans l'espace. Cette coopération entre les modalités est un phénomène naturel. Chaque modalité fonctionne en effet plus efficacement avec la coopération de l'autre (Heller, 1982). Conséquemment, des informations visuelles plus exactes peuvent être obtenues lorsqu'un objet est touché ou manipulé et des informations haptiques plus précises peuvent être perçues lorsque la vision accompagne le toucher ou la manipulation.

### **2.4.2.1 Distinction entre la perception visuelle et haptique**

Révész (1950) distingue la perception visuelle de la perception haptique par la façon dont les informations sont décodées. Selon ce chercheur, les informations visuelles sont décodées simultanément, alors que les informations haptiques le sont séquentiellement. Cette distinction a suscité plusieurs critiques dans le milieu scientifique notamment, celle de Gibson (1988) qui affirme qu'une telle classification est une simplification du phénomène. Selon lui, la vision n'est pas un processus de perception simultanée, mais plutôt un processus séquentiel, constitué d'un assemblage quasi simultané des différentes fixations des yeux. La principale différence entre ces modalités apparaît donc être davantage liée au temps de perception plutôt qu'au type de perception lui-même.

La différence temporelle entre la perception haptique et visuelle peut faire croire à plusieurs que la modalité haptique est moins efficace que la modalité visuelle lors de l'exploration. En effet, il est vrai que lors des tâches impliquant la reconnaissance de motifs, les sujets voyants obtiennent de meilleurs résultats que les sujets non-voyants qui utilisent la modalité haptique (Hatwell, 1959 ; Schmitt, 1978). Ce résultat s'explique cependant beaucoup plus par l'expérience visuelle passée des sujets voyants que par les propriétés spécifiques de la modalité visuelle. En effet, le fait d'avoir des souvenirs provenant d'expériences passées permet en général aux sujets visuels d'améliorer significativement leurs performances au niveau de la reconnaissance de motifs (Warren, Anooshian & Bollinger, 1973 ; Schmitt, 1978).

### **2.4.3 Le guidage et la psychologie expérimentale**

Le contrôle du comportement des individus par l'administration d'une forme de rétroaction est une idée révolutionnaire dans le domaine du support à l'utilisateur en informatique. En effet, très peu d'études s'y sont attardées jusqu'à maintenant. Par contre, le guidage a été relativement bien étudié par certains chercheurs en psychologie expérimentale au début de ce siècle (Carr, 1930 ; Waters, 1930).

Ceux-ci s'intéressaient particulièrement à l'impact du guidage sur l'apprentissage de labyrinthes. Le guidage était alors effectué visuellement par des démonstrations visuelles permettant aux sujets de visualiser la solution des labyrinthes ou encore physiquement, en dirigeant la main des sujets à travers ces derniers.

De façon générale, les résultats obtenus lors de ces recherches ont démontré que le guidage est une méthode de formation riche qui mérite d'être étudiée en profondeur. Toutefois, étant donné leur diversité, il est très difficile de dégager des conclusions précises de ces résultats. Il est en effet impossible de dire de façon absolue quelle forme de guidage est la plus efficace car les résultats ne sont valables que pour des contextes expérimentaux spécifiques. Malgré cela, nous croyons qu'il est utile de faire la synthèse de ces résultats afin de tracer certaines lignes directrices à partir desquelles nous pourrions nous inspirer lors de la conception de notre système de guidage haptique.

#### **2.4.3.1 Le guidage visuel**

Quelques expériences portant exclusivement sur le guidage visuel ont été menées par un chercheur du nom de Carr (1930). Le guidage visuel consistait à montrer préalablement aux sujets, avec le bout d'un crayon, les différentes façons de solutionner un labyrinthe. Les résultats de ces expériences ont permis de constater que le guidage visuel tend à faire augmenter le taux de réussite des sujets lorsqu'il n'empêche pas de voir les chemins alternatifs permettant de solutionner le labyrinthe ou qu'il ne dirige pas l'attention des sujets sur des éléments non pertinents à la réussite du labyrinthe. Par exemple, le fait de montrer les différentes erreurs qu'il est possible de faire dans le labyrinthe n'est pas conseillé. Les résultats ont également démontré que le guidage visuel est plus efficace lors des premières explorations du labyrinthe. Une fois les premiers essais passés, il devient beaucoup moins efficace, voire même nuisible.

Botkin (dans Holding, 1987) a mené une expérience sur le guidage visuel dans les labyrinthes afin de vérifier ces résultats. Elle permettait dans un premier temps aux sujets d'étudier pendant une minute la solution d'un labyrinthe. Elle leur demandait ensuite de le solutionner les yeux fermés. Les résultats de cette expérience lui ont permis de conclure que l'efficacité du guidage visuel diminue avec le nombre d'essais guidés et avec leur introduction tardive dans le processus de formation. En effet, trop d'essais guidés peuvent provoquer un conflit d'image mentale chez les sujets, ce qui entraîne une diminution des performances d'apprentissage.

#### **2.4.3.2 Le guidage physique**

Des recherches ont également été réalisées afin d'étudier le phénomène du guidage physique dans les labyrinthes (Carr, 1930 ; Waters, 1930). Cette forme de guidage consiste à conditionner le déplacement des sujets à travers un labyrinthe en administrant une rétroaction partielle ou complète aux actions de ces derniers. Une rétroaction partielle constitue un guidage restrictif alors qu'une rétroaction totale constitue un guidage force-réponse.

##### **Le guidage restrictif**

Le guidage restrictif dans un labyrinthe consiste à utiliser des dispositifs d'arrêt pour empêcher les sujets d'emprunter des chemins erronés et les diriger vers la sortie. Ce type de guidage constitue un excellent moyen d'aider les sujets à traverser le labyrinthe car il leur permet de se déplacer assez librement tout en prévenant les erreurs. Il assure ainsi la réussite de l'épreuve sans toutefois contraindre inutilement les sujets.

Il semble que l'efficacité de ce type de guidage varie en fonction du moment où il est effectué dans le processus de formation. Il a en effet été trouvé expérimentalement que l'efficacité du guidage restrictif diminue avec le nombre de pratiques guidées. Il est donc important que le guidage restrictif soit effectué

au début du processus de formation pour favoriser l'apprentissage des sujets. L'idéal est de faire environ deux pratiques guidées immédiatement après la première exploration du labyrinthe (Carr, 1930 ; Waters, 1930).

Certaines recherches ont également démontré que le guidage restrictif favorise la rétention de l'information enseignée (Carr, 1930 ; Waters, 1930). Pour un guidage restrictif plus efficace de ce point de vue, il est recommandé de ne pas enlever les restrictions de façon brusque car cela pourrait entraîner la détérioration du taux de rétention des sujets. Il est plutôt suggéré de les retirer graduellement en accordant de plus en plus de liberté aux sujets.

Somme toute, le guidage restrictif est une méthode de formation efficace qui mérite qu'on s'y attarde. Un des points forts de ce type de guidage est qu'il n'oblige pas les sujets à suivre un rythme déterminé qui risque de les déconcentrer. De plus, le guidage restrictif, par la liberté qu'il procure aux sujets, est plus riche en informations pertinentes au contexte de la tâche (Waters, 1930).

### **Le guidage force-réponse**

Le guidage force-réponse consiste à ce qu'un expérimentateur prenne le contrôle total des mouvements des sujets afin de les conduire à la sortie du labyrinthe. Bien que le guidage force-réponse accélère l'atteinte de l'objectif final, il semble que l'assimilation des informations soit plutôt faible. Des tests de rétention ont en effet démontré que les sujets ayant été guidés de cette façon retiennent moins bien la solution des labyrinthes que les sujets guidés par restriction.

L'efficacité du guidage force-réponse s'est avérée inversement proportionnelle au nombre de pratiques guidées, c'est-à-dire que plus le nombre de pratiques guidées augmente moins le guidage force-réponse est utile (Carr, 1930 ; Waters, 1930). De plus, il semble que le guidage force-réponse atteigne son efficacité maximale lorsqu'il est effectué immédiatement après les premiers essais

(Ramstein, Szilas, Arcand, 1996), soit pendant la troisième ou la quatrième session de pratique.

#### **2.4.3.3 Le guidage lors des tâches de poursuite**

Quelques années plus tard, les chercheurs se sont tournés vers l'utilisation de moyens mécaniques pour effectuer le guidage et se sont intéressés à l'impact de celui-ci au niveau des tâches impliquant la poursuite d'une cible ( Holding & Macrae, 1966 ; Baker, 1968 ).

##### **Holding & Macrae**

Holding et Macrae (1966) ont mené une étude sur les différences qui existent au niveau des performances obtenues avec le guidage restrictif et le guidage force-réponse lors de tâches de poursuite avec variation de la vitesse de la cible.

L'expérience consistait essentiellement à éteindre, à l'aide d'un levier muni d'un commutateur, des lumières qui s'allument aléatoirement, à une vitesse de plus en plus grande. D'abord les sujets effectuaient l'expérience avec guidage. Le premier groupe de sujets expérimentait un guidage force-réponse alors que le deuxième groupe expérimentait un guidage restrictif.

Le but de cette étude était de répéter l'expérience une seconde fois sans guidage afin de permettre aux expérimentateurs d'observer l'influence relative des deux types de guidage sur les performances des sujets.

Les résultats de cette expérience soulignent que le guidage force-réponse avec augmentation de la vitesse permet temporairement, lors des premiers essais, d'obtenir de meilleurs résultats en terme de performance d'apprentissage que le guidage restrictif. Le guidage force-réponse peut cependant conduire à de moindres performances si la vitesse n'est pas adéquate. En effet, lorsque la vitesse est inférieure ou supérieure au mouvement naturel du corps humain, elle peut être nuisible (Holding, 1970 ; Holding, 1987).

## **Baker**

La recherche de Baker (1968) nous livre également des résultats intéressants au sujet du guidage. Ce chercheur croyait en effet que l'apprentissage d'une tâche qui nécessite des habiletés motrices est plus rapide si le sujet est supporté par un guidage force-réponse.

Afin de vérifier cette hypothèse, Baker a conçu une expérience dans laquelle un sujet devait suivre, avec un levier de commande, une cible qui se déplace sur un écran pendant une certaine période de temps. Celui-ci opérait à partir d'une table de contrôle principale. Parallèlement, un deuxième et un troisième sujet étaient soumis à la même expérience. Ceux-ci travaillaient à des tables de contrôle reliées à la table de contrôle principale. Le deuxième sujet était muni d'un levier qui reproduisait exactement les mouvements du sujet de la table de contrôle principale alors que le troisième sujet possédait un levier qui ne les reproduisaient que partiellement.

Une fois la première partie de l'expérience terminée, les sujets devaient recommencer sans guidage. On pouvait alors comparer les performances des sujets et voir l'influence spécifique des différents types de guidage expérimentés.

Cette étude a permis de découvrir que le guidage force-réponse, au cours des premiers essais, favorise un meilleur rendement des sujets lors de l'acquisition d'une technique d'ajustement continue ou d'une tâche nécessitant un haut niveau de dextérité et de concentration. Cependant, à mesure que l'expertise des sujets se développe, le guidage perd ses effets bénéfiques. Il arrive même que le guidage devienne nuisible lorsque les usagers sont vraiment familiers avec la tâche.

De façon générale, nous pouvons dire que les effets positifs du guidage force-réponse lors des tâches de poursuite sont plutôt faibles (Holding & Macrae, 1966; Baker, 1968). Selon Von Wright (1957), ces résultats sont dûs

principalement au fait que les sujets sont trop passifs lors du guidage. Celui-ci croit en effet que le guidage force-réponse n'offre pas suffisamment la possibilité aux sujets de prendre conscience des gestes qu'ils posent lors de la formation.

#### 2.4.3.4 Tableaux synthèse

Nous avons inclus deux tableaux synthèse visant à résumer les avantages et les inconvénients des différents types de guidage ainsi que leurs conditions d'efficacité respectives. Ces tableaux ne peuvent être considérés comme exhaustifs, cependant, ils constituent un point de départ intéressant pour les recherches sur le guidage haptique dans les interfaces.

Tableau I : Avantages et limites des différents types de guidage

Type de guidage	Avantages	Limites
<b>Guidage Visuel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Donne une idée précise de la tâche à faire.</li> <li>• Laisse l'utilisateur libre de décider et de prendre des initiatives.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Méthode trop axée sur la mémorisation.</li> <li>• Compréhension superficielle des concepts enseignés.</li> </ul>
<b>Guidage haptique Restrictif</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet une compréhension plus profonde des concepts.</li> <li>• Laisse l'utilisateur libre de décider et de prendre des initiatives.</li> <li>• Favorise la réflexion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut retarder momentanément l'apprentissage.</li> <li>• Méthode peu efficace si les restrictions sont enlevées brusquement.</li> </ul>
<b>Guidage haptique Force-réponse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de compléter à coup sûr les objectifs de formation.</li> <li>• Plus grande vitesse d'exécution.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moins bonne rétention des informations.</li> <li>• Peut nuire à la performance et à la motivation si la vitesse est inadéquate.</li> </ul>

Tableau II : Conditions d'efficacité des différents types de guidage

Type de Guidage	Conditions d'efficacité du Guidage
<p><b>Guidage Visuel</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il faut laisser une période d'exploration libre à l'utilisateur avant de le guider.</li> <li>• Il est conseillé de guider très peu de temps après l'exploration libre du labyrinthe.</li> <li>• Lorsque l'utilisateur est guidé, il est important de lui laisser voir les autres chemins qu'il aurait pu prendre pour solutionner le labyrinthe.</li> <li>• Lors du guidage, il faut éviter de diriger l'attention de l'utilisateur sur des détails. Cela risquerait de compromettre la compréhension.</li> <li>• Idéalement, il ne faut pas dépasser une dizaine de sessions de guidage visuel afin de ne pas ennuyer l'utilisateur et perdre son attention</li> </ul>
<p><b>Guidage haptique Restrictif</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il est primordial de laisser une période d'exploration libre à l'utilisateur avant de le guider.</li> <li>• Il est conseillé de dispenser le guidage restrictif immédiatement après l'exploration libre du labyrinthe.</li> <li>• Il est suggéré de dispenser environ deux pratiques guidées pour le guidage restrictif.</li> <li>• Afin de ne pas surprendre l'utilisateur inutilement, il est recommandé de ne pas enlever les restrictions brusquement.</li> </ul>
<p><b>Guidage haptique Force-réponse</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il est préférable de laisser une période d'exploration libre à l'utilisateur avant de commencer le guidage force-réponse.</li> <li>• Idéalement, il est suggéré d'introduire le guidage force-réponse lors du troisième ou du quatrième essai des sujets.</li> <li>• Il ne faut pas dispenser un grand nombre de pratiques guidées avec ce type de guidage.</li> <li>• Lorsque l'utilisateur est guidé, il est important de lui laisser voir les autres chemins qu'il aurait pu prendre pour solutionner le labyrinthe.</li> <li>• Ne jamais dépasser la vitesse d'exécution normale du corps humain lorsqu'on guide.</li> </ul>

# **Problématique**

### **3.1 Énonciation de la problématique**

Deux problématiques importantes ressortent dans les recherches sur les hypermédias : la surcharge cognitive et la désorientation spatiale chez les usagers (Nielsen, 1990a ; Simpson, 1990; Conklin, 1987; Schneiderman, 1983). Ces problèmes sont principalement causés par la complexité des environnements hypermédias et par la difficulté que représente la navigation à l'intérieur de tels systèmes. Ainsi, il est fréquent de voir les usagers débutants déstabilisés et incapables de décoder correctement les informations de l'interface lors de leurs premières utilisations.

Malheureusement, la piètre qualité des systèmes d'aide intégrés aux environnements hypermédias n'améliore guère cette situation trouble. Ceux-ci sont souvent complexes et peu précis (Ramstein & Szilas, 1996 ; Cohill, Williges, 1985 ; Czaja, Hammond & Blascovich, 1986 ; Czaja, Hammond & Blascovich, 1989 ; Dunsmore, 1980 ; Hicks, Hicks & Sen, 1990). De plus, la navigation à l'intérieur des systèmes d'aide est généralement difficile et les informations qu'on y retrouve sont très peu pertinentes au contexte d'utilisation (Sellen & Nicol, 1990 ; Nielsen, 1990b).

S'ils ne sont pas solutionnés, ces différents problèmes fonctionnels des systèmes d'aide risquent de nuire considérablement à l'efficacité des apprenants dans un contexte de télé-formation. Nous devons donc trouver des solutions permettant d'améliorer la qualité du support à l'utilisateur dans les environnements hypermédias afin de favoriser la compréhension de l'interface et l'assimilation des connaissances théoriques diffusées dans les environnements de formation.

#### **3.1.1 Objectif général**

L'objectif général de cette recherche est de réaliser une expérimentation permettant d'explorer une facette particulière des systèmes d'aide aux usagers

d'environnements hypermédias de formation, soit l'apport du guidage haptique à l'exploration des fonctionnalités d'une interface.

### **3.1.2 Objectif spécifique**

L'objectif spécifique de notre étude est de comparer l'influence des modalités haptique et visuelle au niveau du support à l'utilisateur dans un environnement hypermédia de formation. Nous voulons en effet savoir quel est l'impact de la modalité haptique sur les comportements d'utilisation des usagers. Concrètement, la recherche vise à comparer l'impact d'un système de guidage haptique et d'un système de guidage visuel au niveau de l'exploration des fonctionnalités de l'interface d'un environnement hypermédia de formation. Afin de pouvoir obtenir une mesure de l'impact relatif de chacune des modalités d'aide, nous observons un certain nombre d'indicateurs qui, selon nous, représentent bien les comportements pouvant être influencés par le guidage à l'intérieur de l'environnement de formation :

- Le nombre d'ouvertures de graphe
- La fréquence d'utilisation des fonctionnalités enseignées par le guidage
- Le taux de rétention des usagers
- Le nombre de consultations du système d'aide
- La satisfaction des usagers face au système de guidage
- La satisfaction des usagers face à l'environnement de formation en général

### **3.1.3 Hypothèse générale**

Nous croyons que le guidage haptique peut constituer une approche intéressante pour pallier aux faiblesses des systèmes d'aide traditionnels. Certains chercheurs ont en effet trouvé expérimentalement que l'implication physique de l'utilisateur dans le processus d'exploration conduit à une meilleure compréhension de l'interface, comparativement à la plupart des méthodes de formation alternatives (Palmiter & Elkerton, 1991 ; Ramstein, Szilas & Arcand,

1996).Toujours selon ces chercheurs, l'intégration de la modalité haptique dans l'interface permet de libérer partiellement le canal visuel de l'utilisateur lors de l'interaction, ce qui diminue considérablement les risques de surcharge cognitive pendant l'exploration et mène à une plus grande compréhension de la structure.

À la lumière des différents énoncés décrits dans notre cadre théorique, nous croyons que le guidage haptique est en mesure de mieux supporter les usagers que le guidage visuel lors de l'exploration des fonctionnalités de l'environnement de formation. Nous nous attendons donc à ce que les sujets guidés haptiquement soient plus influencés par le système de guidage que les sujets guidés visuellement. Cela devrait se manifester à travers un ensemble de comportements spécifiques d'utilisation et par un indice de satisfaction plus élevé à l'égard du système de guidage et de l'environnement de formation en général.

#### **3.1.4 Hypothèses spécifiques**

Nous avons identifié six hypothèses spécifiques qu'il était possible de vérifier expérimentalement dans le cadre de cette recherche. Bien qu'elles ne soient pas exhaustives, ces hypothèses nous permettent de rassembler des informations précieuses sur l'impact du guidage haptique au niveau de l'exploration des interfaces humain-ordinateur.

1. Par son action directive, le guidage haptique devrait en principe réduire la charge cognitive des usagers lors de l'exploration des fonctionnalités de l'interface et, de ce fait, permettre une exploration plus approfondie de l'environnement de formation. Conséquemment, les sujets du groupe haptique devraient consulter un nombre plus élevé de graphes que les sujets du groupe visuel.

2. Le fait de diriger la main des usagers sur les différentes fonctionnalités de l'interface devrait théoriquement faciliter leur apprentissage et encourager leur réutilisation. Nous nous attendons donc à ce que les sujets du groupe haptique utilisent plus fréquemment les fonctionnalités qui leur ont été enseignées que les sujets du groupe visuel.
3. L'implication physique des usagers lors de l'exploration de l'interface devrait éventuellement leur permettre de mieux se souvenir des fonctionnalités rencontrées. Ainsi, les sujets du groupe haptique devraient être capables, lors d'un test de rétention, d'identifier plus facilement les fonctionnalités sur lesquelles ils ont été guidés que les sujets du groupe visuel.
4. Selon la littérature, le guidage haptique permet d'améliorer la qualité de l'interaction humain-ordinateur et du support à l'utilisateur dans les interfaces. Nous pensons donc que le nombre de demandes d'aide effectuées par les sujets du groupe haptique sera plus faible que celui des sujets du groupe visuel.
5. Comme le guidage haptique constitue un support plus englobant du fait qu'il implique physiquement l'utilisateur lors de l'exploration de l'interface, nous croyons que les sujets du groupe haptique apprécieront davantage le système de guidage qu'ils ont expérimenté que les sujets du groupe visuel.
6. La prise en charge physique des usagers permet en principe de réduire la charge cognitive de ces derniers lors de l'exploration de l'interface. Nous nous attendons donc à ce que les sujets du groupe haptique comprennent mieux l'environnement de formation que les sujets du groupe visuel et que, par conséquent, ils soient plus satisfaits de celui-ci.

### **3.2 Une étude préliminaire s'impose**

L'étude de l'influence du guidage haptique sur l'exploration des fonctionnalités d'une interface est une problématique de second degré qui s'insère dans celle plus générale du support à la tâche en informatique. Conséquemment, avant d'aborder cette problématique plus complexe, nous croyons qu'il est important de réaliser une étude de base visant à évaluer l'efficacité du guidage haptique au niveau de la réalisation de tâches simples en informatique telles que le pointage de cibles sur un écran. Comme les différentes études effectuées jusqu'à maintenant sur le guidage n'étaient pas en mesure de nous fournir de renseignements pertinents à ce sujet, nous avons intégré à notre recherche une expérimentation préliminaire permettant de le faire.

La prochaine section est consacrée à la description cette expérimentation. D'abord, nous décrivons les différents objectifs de cette étude. Deuxièmement, nous proposons une explication du modèle théorique utilisé pour mesurer l'efficacité du dispositif haptique en cause. Nous décrivons ensuite l'application expérimentale ainsi que la méthodologie utilisée pour mener à terme cette recherche. Nous terminons par la présentation des résultats accompagnée d'une brève discussion.

## **Expérimentation préliminaire**

#### **4.1 Objectifs de l'expérimentation**

L'objectif général de cette étude est de nous assurer de la pertinence pratique de l'intégration d'un système de guidage haptique dans une interface. Nous voulons en effet savoir si la technologie haptique améliore véritablement les performances motrices humaines afin de pouvoir justifier son intégration dans un environnement d'apprentissage complexe. Nous désirons également savoir si les sujets apprécient le guidage haptique dans le but de voir s'il est cohérent de vouloir l'utiliser à titre de modalité de support dans une interface.

Spécifiquement, nous voulons comparer les performances relatives des usagers en terme de bande passante et de nombre d'erreurs commises lors du pointage de cibles sur un écran. Ces résultats nous permettront de déterminer le meilleur profil de force à utiliser pour le guidage haptique dans une interface. Ils nous permettront également d'avoir une idée plus claire de l'intensité que la force doit avoir pour améliorer la précision des usagers lors du pointage.

#### **4.2 Liens avec l'expérimentation subséquente**

Bien que la nature des tâches que les sujets doivent effectuer lors de l'expérimentation préliminaire soit très différente des tâches que les sujets doivent accomplir à l'intérieur d'un environnement de formation, nous tenons à souligner que le pointage de cibles avec la souris est une opération commune aux deux épreuves. Par déduction logique, si le guidage haptique permet d'améliorer le temps de sélection et la précision des usagers lors du pointage de cibles dans cette expérience, il est fort probable qu'il soit efficace pour conduire rapidement et précisément la main des usagers sur les fonctionnalités d'une interface plus complexe. Bien que cela puisse être remis en question de plusieurs façons, des résultats concluants dans l'expérimentation préliminaire pourraient assurer une certaine pertinence pratique à notre expérimentation subséquente.

Au-delà de la question de la pertinence, les paramètres de force ayant mené aux performances les meilleures dans l'expérimentation préliminaire constituent selon nous des informations non-négligeables pour la conception de futurs systèmes de guidage haptique. En effet, nous croyons qu'il est préférable de prendre en considération ces résultats plutôt que de se fier aux articles scientifiques traitant du guidage, ces derniers étant généralement désuets et très peu liés à notre objet d'étude spécifique.

### **4.3 La loi de Fitts**

La loi de Fitts est un modèle mathématique permettant d'évaluer la bande passante, en bits par seconde, d'un dispositif de pointage. Plusieurs outils tels que le trackball, le stylos et bien sûr la souris ont déjà été évalués avec ce modèle.

Dans le cadre de cette étude, nous utilisons ce modèle pour mesurer la performance de sujets lors du pointage de cibles sur un écran d'ordinateur. Spécifiquement, nous évaluons l'impact relatif de quatre profils de force sur la vitesse d'exécution du mouvement et la précision de l'utilisateur.

Les résultats obtenus par le calcul de la bande passante nous permettront de savoir avec quel profil et intensité de force les sujets ont été les plus performants.

#### **4.3.1 Énonciation de la loi de Fitts**

Selon Fitts (1954), le temps moyen (TM) requis pour atteindre une cible est une fonction logarithmique de la distance (A) sur la dimension (W) de la cible. L'expression formelle de ce modèle se lit de la façon suivante :

$$TM = a + b \log_2 (2A/W)$$

Des variations de cette équation sont couramment utilisées par les chercheurs. Parmi celles-ci, le modèle de Welford (1968) et celui de Mackenzie (1989). L'équation de Welford se définit de la façon suivante :

$$TM = a + b \log_2 (A/W + 0.5)$$

Alors que celle de Mackenzie est décrite comme suit :

$$TM = a + b \log_2 (A/W + 1)$$

Parmi ces équations, plusieurs préfèrent celle de Mackenzie car elle permet d'obtenir des résultats plus exacts et empêche certaines anomalies telles qu'un indice de performance négatif. Une perspective intéressante serait éventuellement d'adapter le modèle de Fitts pour l'évaluation de la bande passante des dispositifs haptiques en intégrant une variable pour la force dans la formule originale.

#### **4.4 L'application expérimentale**

Pour pouvoir réaliser cette expérimentation, il a fallu concevoir une application dans laquelle le guidage haptique pouvait être réalisé avec plusieurs profils de force spécifiques. Nous voulions également que les différents paramètres expérimentaux puissent être configurés par l'expérimentateur. Cette application devait finalement permettre l'enregistrement des données nécessaires au calcul de la bande passante du dispositif haptique ainsi que du nombre d'erreurs commises par l'utilisateur.

Grâce à une entente avec la compagnie *Haptic Technologies*, la programmation de cette application a pu être réalisée. L'intérêt de cette compagnie dans notre recherche était d'obtenir une évaluation scientifique des performances de leur dispositif haptique afin de pouvoir publier ces résultats dans différentes revues scientifiques.

L'application a été programmée en C++. Elle est composée d'une base de données permettant d'emmagasiner les données expérimentales (Voir Annexe 1). L'interface est principalement composée d'une source, d'une cible et de différents menus de contrôle permettant d'ajuster les paramètres expérimentaux. La source (foncée) est le point d'origine du mouvement de l'utilisateur et la cible (pâle), le point d'arrivée.

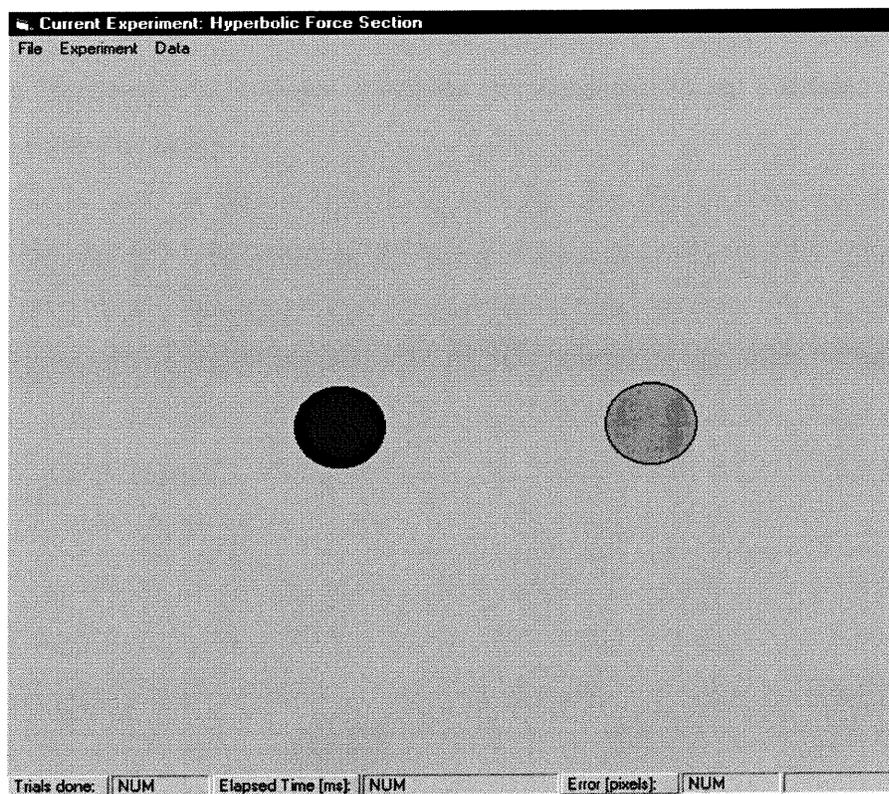


Figure 2 : Application de l'expérimentation sur la loi de Fitts

## **4.5 Méthodologie de l'expérimentation**

Cette section vise essentiellement à décrire les éléments de la méthodologie utilisée pour mener l'expérimentation. Voici les différents thèmes que nous abordons : l'échantillon, le matériel, la tâche, les profils de forces utilisés, les variables (force du dispositif, distance de la cible, taille de la cible, viscosité, angle), le schéma expérimental. Nous terminons cette section en donnant des précisions sur le déroulement de l'expérimentation.

### **4.5.1 L'échantillon**

Nous avons réalisé l'expérimentation avec douze sujets. Ces derniers provenaient de divers milieux universitaires et étaient des usagers réguliers des ordinateurs. Une rétribution raisonnable leur a été offerte afin d'encourager la participation et la motivation.

### **4.5.2 Le matériel**

Deux ordinateurs PC supportant l'environnement Windows 95 ont été utilisés pour réaliser cette expérimentation. Chacun d'entre eux était équipé d'un dispositif haptique et d'un écran couleur 14 pouces.

### **4.5.3 La tâche**

La tâche expérimentale était simple mais répétitive. Celle-ci consistait à pointer le plus rapidement possible une cible qui se déplace aléatoirement sur l'écran, c'est-à-dire selon un ensemble de paramètres préalablement déterminés par l'expérimentateur.

### **4.5.4 Les profils de force**

Quatre profils de force ont été utilisés pour réaliser cette recherche : la force hyperbolique, élastique, mixte et l'assistance.

Le profil de force hyperbolique correspond à une force d'attraction qui agit à l'intérieur de la cible. Aucune force n'agit à l'extérieur de celle-ci. Ce profil de force peut être comparé à un trou dont l'origine est au centre de la cible. La force hyperbolique permet de réaliser du guidage restrictif.

Contrairement au profil de force hyperbolique, la force élastique agit uniquement à l'extérieur de la cible. Pour se la représenter, on peut imaginer un élastique qui est attaché à la cible et qui attire l'utilisateur vers son centre. Ce profil de force permet de réaliser du guidage force-réponse.

Pour sa part, le profil de force mixte est une combinaison de la force hyperbolique et de la force élastique. Une force élastique attire d'abord le sujet vers la cible et une force hyperbolique exerce ensuite son influence à l'intérieur de celle-ci pour empêcher le sujet d'en ressortir. Il est important de bien comprendre que la force mixte ne fait pas intervenir une force élastique d'une intensité  $x$  et une force hyperbolique d'une intensité  $y$ . C'est un profil de force à part entière dans lequel une seule intensité de force agit en attirant d'abord l'utilisateur vers la cible et en l'empêchant d'en ressortir par la suite.

Finalement, l'assistance correspond à un guidage mixte dans un contexte où plusieurs choix se présentent à l'utilisateur. En effet, comme cette expérience visait à reproduire une situation réelle de guidage haptique dans une interface, plusieurs cibles étaient présentées à l'utilisateur. Le système devait effectuer le guidage de façon progressive, en se basant sur la direction du mouvement pour déterminer sur quelle cible l'utilisateur devait être attiré.

#### **4.5.5 Paramètres de l'expérimentation**

Les différents paramètres utilisés pour chacun des profils de force ont été choisis suite à une pré-expérimentation. Ils sont demeurés constants tout au long de l'exercice, à l'exception des valeurs de force utilisées pour le guidage haptique qui variaient d'un profil de force à l'autre. Pour des raisons de stabilité du

dispositif et de bien-être de l'utilisateur, nous avons en effet dû ajuster l'intensité de la force du guidage pour chacun des profils de force. Deux intensités de forces ont été sélectionnées pour chaque profil en plus de la force nulle.

Tableau III: Spécifications des paramètres de l'expérimentation préliminaire

Variables		Valeurs
Distance de la cible	(D)	80, 120, 160, 200
Taille de la cible	(W)	20, 30, 40, 50
Viscosité	(B)	100
Angle	(A)	0, 90, 180, 270
Force (F)	Profil hyperbolique	0, 0,25, 0,50
	Profil élastique	0, 0,75, 1,50
	Profil mixte	0, 0,12, 0,21
	Assistance	0, 0,09, 0,19

#### 4.5.6 Schéma expérimental

Un schéma intra-sujet avec mesures répétées a été utilisé pour l'expérimentation. Nous avons fixé le nombre d'essais par valeur de force à deux cents (Mackenzie & Buxton, 1994). Afin de contrer les biais créés par l'ordre de présentation des variables de force, nous avons utilisé un schéma en carré latin. Cette méthode permet de présenter les différentes intensités de force dans un ordre qui varie d'un sujet à l'autre. Par exemple, le premier sujet peut expérimenter la force nulle d'abord, suivie des forces moyennes et élevée alors que le deuxième sujet expérimentera d'abord la force moyenne, suivie des forces nulle et élevée. Voici quelques précisions sur cette méthode. Veuillez noter que F1 correspond à la force nulle, F2 à la force d'intensité moyenne et F3 à la force d'intensité élevée.

Tableau IV : Ordre de présentation de la force par groupe de sujets

Groupe	Ordre de présentation de la force		
1	F1	F2	F3
2	F1	F3	F2
3	F2	F3	F1
4	F2	F1	F3
5	F3	F1	F2
6	F3	F2	F1

#### 4.5.7 Le déroulement de l'expérimentation

Afin de nous assurer que l'application expérimentale ne présentait plus de problèmes de fonctionnement et que les valeurs choisies pour les différents paramètres étaient les meilleurs, nous avons d'abord effectué une pré-expérimentation. Une fois cette étape complétée, nous étions prêts à commencer l'expérimentation. Chaque sujet était convoqué pour une période de trois heures. Dans un premier temps, nous expliquions au sujet le déroulement de l'expérimentation, en prenant bien soin de spécifier qu'il pouvait prendre des pauses ou même abandonner à n'importe quel moment. Le sujet se familiarisait ensuite avec le dispositif haptique et la tâche à accomplir. Après avoir effectué quelques essais de pratique, l'expérimentation pouvait commencer. Le profil de force hyperbolique a d'abord été testé. Pour ce même profil, le sujet devait faire 200 essais avec la force nulle, 200 essais avec la force moyenne et 200 essais avec la force la plus élevée. Il devait ensuite répéter cette routine trois fois afin de tester les autres profils de force. Une fois les 2400 essais terminés, un questionnaire était distribué (Annexe 2).

## **4.6 Présentation des résultats**

Nous avons procédé à une analyse statistique des données recueillies à l'aide du logiciel SPSS. La méthode d'analyse retenue a été l'analyse de variance. En effet, cette méthode nous a permis d'obtenir la bande passante moyenne et l'erreur moyenne par expérience. Ce test statistique nous a également permis de savoir si les différences obtenues entre les groupes étaient significatives.

Les prochaines sections sont consacrées à la présentation des résultats expérimentaux. Nous comparons dans un premier temps les bandes passantes moyennes ainsi que les nombres moyens d'erreurs obtenus avec chacun des profils de force. Nous décrivons ensuite, pour chaque profil de force, les résultats obtenus avec les différentes intensités expérimentées. Finalement, nous discutons les résultats et concluons brièvement.

### **4.6.1 Comparaison des quatre profils de force**

La présente section vise à comparer l'efficacité des quatre profils de force en terme de bande passante et de nombre moyen d'erreur. Nous présentons d'abord les résultats en tenant compte de la force nulle, puis en l'excluant des calculs. Cette procédure est nécessaire afin de constater l'effet réel de la force sur les performances des utilisateurs. En effet, bien que la force nulle nous permette d'obtenir des renseignements utiles à la calibration du dispositif haptique, il n'en demeure pas moins qu'elle contribue à faire diminuer la bande passante et à faire augmenter le nombre moyen d'erreurs commises par les sujets.

#### **4.6.1.1 Bande passante**

La bande passante moyenne obtenue pour l'expérience sur la force hyperbolique est de 6.1666, de 7.0855 pour la force élastique, de 7.4028 pour la force mixte et de 6.1661 pour la force hyperbolique utilisée pour l'assistance. En excluant la force nulle lors de l'analyse statistique, nous obtenons des valeurs moyennes

plus élevées. En effet, la bande passante moyenne calculée pour la force hyperbolique passe à 7.3942, à 7.8289 pour la force élastique, à 8.2246 pour la force mixte et à 6.6154 pour l'assistance. Comme l'analyse de variance révèle que les différences observées entre les groupes sont significatives, il semble que la bande passante la plus forte soit celle de l'expérience avec la force mixte.

Tableau V : Bande passante moyenne par expérience

Expérience	Bande passante moyenne (bit/sec)	
	<i>Avec force nulle</i>	<i>Sans force nulle</i>
Force hyperbolique	6.6184	7.3942
Force élastique	7.0855	7.8289
Force mixte	7.4028	8.2246
Assistance	6.1661	6.6154
Degré de signification	0.0000	0.0000

#### 4.6.1.2 Nombre moyen d'erreurs

Le nombre moyen d'erreurs commises par les sujets lors de l'expérience avec la force hyperbolique est de 0.0889, de 0.0824 avec la force élastique, de 0.0689 avec la force mixte et de 0.0033 avec la force hyperbolique utilisée pour l'assistance. En excluant la force nulle lors de l'analyse statistique, nous obtenons des valeurs moyennes de 0.0988 pour la force hyperbolique, de 0.0800 pour la force élastique, de 0.0656 pour la force mixte et de 0.0033 pour l'assistance.

Bien que le plus faible taux d'erreur ait été obtenu lors de l'expérience sur l'assistance, nous considérons que le nombre d'erreurs moyen le plus faible a été obtenu avec la force mixte. En effet, étant donné que l'expérience sur l'assistance comportait une particularité au niveau de la définition de l'erreur,

nous ne pouvons la comparer de ce point de vue. Contrairement aux autres expériences, aucune erreur n'était indiquée lorsque la cible n'était pas atteinte. Une erreur était comptée uniquement lorsque l'on cliquait dans un cercle qui n'était pas la cible de couleur, ce qui réduit considérablement les risques d'erreurs.

Tableau VI : Nombre moyen d'erreurs par expérience

Expérience	Nombre moyen d'erreurs	
	<i>Avec force nulle</i>	<i>Sans force nulle</i>
Force hyperbolique	0.0889	0.0988
Force élastique	0.0824	0.0800
Force mixte	0.0689	0.0656
Assistance	0.0033	0.0033
Degré de signification	0.0000	0.0000

#### 4.6.2 Comparaison des différentes intensités de force

La présente section vise à comparer, pour chaque profil de force, l'efficacité des différents intensités expérimentées en terme de bande passante et de nombre d'erreurs commises par les usagers.

##### 4.6.2.1 Expérience sur la force hyperbolique

Les résultats indiquent que la valeur la plus élevée de la bande passante a été obtenue avec la force la plus grande. En effet, une augmentation de 51% par rapport à la force nulle a été notée pour les résultats obtenus avec la force d'intensité élevée.

Tableau VII : Influence de la force sur la bande passante - Hyperbolique

<b>Force</b>	<b>Bande passante moyenne (bit/sec)</b>
0	5.0677
0.25	7.1234
0.50	7.6650
Degré de signification	0.0000

Par contre, toujours pour le profil de force hyperbolique, les sujets ont commis un nombre plus important d'erreurs lorsqu'ils étaient guidés avec les forces moyenne et élevée. On remarque en effet une augmentation du nombre d'erreurs par rapport à la force nulle de 67% pour la force moyenne et de 18% pour la force élevée. Ces résultats révèlent que ces forces étaient probablement insuffisantes pour le guidage.

Tableau VIII : Influence de la force sur les erreurs - Hyperbolique

<b>Force</b>	<b>Moyenne des erreurs</b>
0	0.0691
0.25	0.1159
0.50	0.0817
Degré de signification	0.0000

#### **4.6.2.2 Expérience sur la force élastique**

De façon générale, nous avons remarqué que la valeur de la bande passante tend à augmenter avec la force du dispositif haptique dans l'expérience sur le profil de force élastique. Spécifiquement, on remarque que la bande passante

augmente de 48% par rapport à la force nulle lors de l'utilisation de la force élevée.

Tableau IX : Influence de la force sur la bande passante - Élastique

<b>Force</b>	<b>Bande passante moyenne (bit/sec)</b>
0	5.5988
0.75	7.3673
1.5	8.2904
Degré de signification	0.0000

Par contre, c'est avec la force la plus grande que les sujets ont obtenu le nombre d'erreurs le plus élevé. Nous avons en effet enregistré une augmentation de la moyenne des erreurs de 30% par rapport à la force moyenne lors de l'utilisation de la force d'intensité maximale. Ce résultat nous a beaucoup étonnés car nous nous attendions à ce que la force la plus grande donne la moyenne des erreurs la plus faible. Il semble donc que la force d'intensité moyenne soit plus efficace pour augmenter la précision des sujets dans le cas présent. Ce résultat indique que la force élevée était probablement trop forte pour le guidage, ce qui a pu occasionner de l'instabilité dans le mouvement ainsi qu'une détérioration de la précision chez les usagers.

Tableau X : Influence de la force sur les erreurs - Élastique

<b>Force</b>	<b>Moyenne des erreurs</b>
0	0.0871
0.75	0.0696
1.5	0.0904
Degré de signification	0.0188

### 4.6.2.3 Expérience sur la force mixte

Globalement, nous avons remarqué que la bande passante croît avec l'intensité de la force dans cette expérience. Spécifiquement, on note une augmentation de l'indice de la bande passante de 44% par rapport à la force nulle pour les résultats obtenus avec la force d'intensité élevée.

Tableau XI : Influence de la force sur la bande passante - Mixte

<b>Force</b>	<b>Bande passante moyenne (bit/sec)</b>
0	5.7591
0.12	8.1694
0.21	8.2798
Degré de signification	0.0000

Comme nous nous y attendions, la moyenne des erreurs commises par les sujets avec la force d'intensité maximale est plus faible qu'avec les forces nulle et moyenne. Nous avons en effet enregistré une diminution de la moyenne des erreurs de 21% par rapport à la force nulle pour les sujets guidés avec la force la plus élevée.

Tableau XII : Influence de la force sur les erreurs - Mixte

<b>Force</b>	<b>Moyenne des erreurs</b>
0	0.0754
0.12	0.0688
0.21	0.0625
Degré de signification	0.2101

Comme l'analyse de variance révèle que les différences observées entre les moyennes des erreurs ne sont pas significatives, nous ne pouvons pas nous prononcer en ce qui concerne le nombre moyen d'erreurs le plus bas.

#### 4.6.2.4 L'assistance

Dans l'ensemble, l'assistance ne fait pas exception aux autres expériences ; la bande passante augmente avec l'intensité de la force. En effet, une augmentation de 27% par rapport à la force nulle a été enregistrée pour les résultats obtenus avec la force élevée.

Tableau XIII : Influence de la force sur la bande passante - Assistance

<b>Force</b>	<b>Bande passante moyenne (bit/sec)</b>
0	5.2674
0.09	6.5558
0.19	6.6766
Degré de signification	0.0000

Par contre, aucune différence entre les nombre moyens d'erreurs n'a été remarquée dans cette expérience. On note en effet une moyenne de 0.0033 erreurs dans tous les cas.

Tableau XIV : Influence de la force sur les erreurs - Assistance

<b>Force</b>	<b>Moyenne des erreurs</b>
0	0.0033
0.09	0.0033
0.19	0.0033
Degré de signification	0.3802

Comme il n'y a pas d'écart observé entre les résultats relatifs aux erreurs dans l'expérience sur l'assistance, il nous est impossible de savoir quelle intensité de force mène au nombre moyen d'erreurs le plus bas.

### **4.6.3 Résultats du questionnaire**

Les données quantitatives nous ont permis, jusqu'à maintenant, de constater que le guidage haptique améliore la performance des usagers en termes de vitesse d'exécution et de précision lors de la sélection d'objets. Cependant, nous croyons qu'il est essentiel d'aller un pas plus loin dans la recherche et d'évaluer la satisfaction des sujets à l'égard du guidage haptique afin de savoir quel est le profil de force le mieux adapté pour le guidage (Annexe 2).

#### **4.6.3.1 Appréciation générale du guidage**

Si on regarde les résultats globalement, nous remarquons que la totalité des sujets ont affirmé avoir apprécié le guidage haptique. Les résultats indiquent en effet que l'ensemble des sujets ont préféré avoir l'aide de la force pour effectuer la tâche plutôt que de devoir viser pour atteindre la cible.

Les résultats indiquent également que les sujets aimeraient pouvoir expérimenter à nouveau le guidage haptique s'ils en avaient la chance dans une prochaine expérimentation.

#### **4.6.3.2 Appréciation des quatre profils de force**

De façon générale, nous remarquons que le profil de force élastique a été le plus apprécié par les sujets. Les résultats indiquent en effet que huit sujets sur douze ont préféré ce profil de force aux autres profils expérimentaux. La deuxième position est occupée par le profil de force mixte, celui-ci ayant été choisi par deux sujets. Les profils de force hyperbolique et l'assistance ont été choisis par un seul sujet, ce qui les place à égalité au troisième rang.

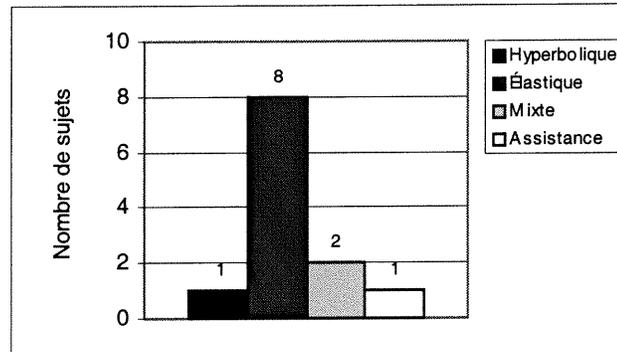


Figure 3 : Répartition des sujets selon la force qu'ils préfèrent

#### 4.6.3.3 Évaluation de la contrainte causée par la force du guidage

Dans l'ensemble, on remarque que tous les sujets ont eu le sentiment d'avoir été contraints par la force pendant l'expérimentation. Spécifiquement, les résultats du questionnaire indiquent que huit des douze sujets ont identifié le profil de force mixte comme étant le plus contraignant. Le profil de force hyperbolique s'inscrit en deuxième place, celui-ci ayant été choisi par deux sujets. Les profils de force élastique et l'assistance arrivent quant à eux à égalité au dernier rang avec un seul sujet.

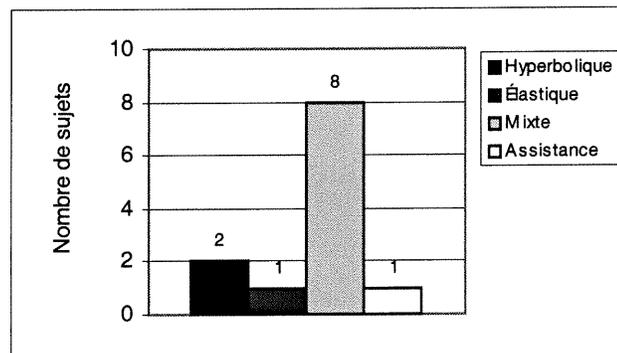


Figure 4 : Répartition des sujets selon la force qu'ils jugent la plus contraignante

#### 4.6.3.4 Appréciation des différentes intensités de force

D'emblée, nous constatons que la force nulle a été très peu appréciée par les sujets. Par contre, les opinions quant à l'appréciation des intensités de force moyenne et élevée sont très variables d'un profil de force à l'autre.

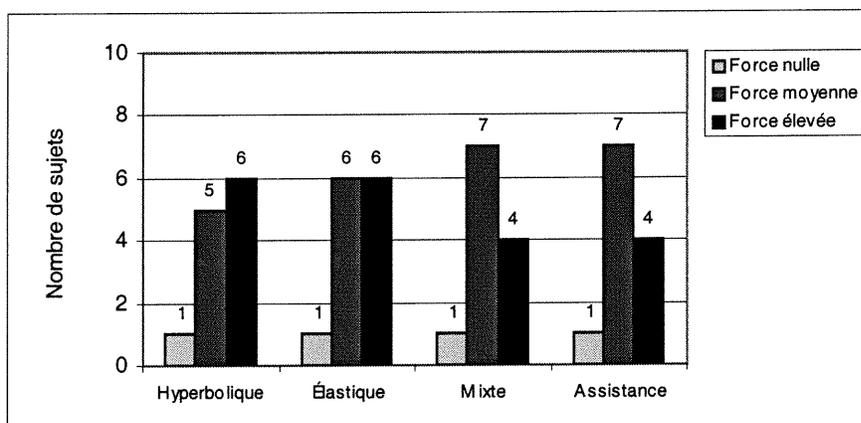


Figure 5 : Répartition des sujets selon l'intensité de force qu'ils préfèrent

#### 4.7 Discussion des résultats

De façon générale, nous pouvons dire que l'intégration d'un système de guidage haptique peut constituer une solution intéressante pour augmenter la vitesse d'exécution ainsi que la précision des usagers lors du pointage d'objets. En effet, les résultats obtenus dans les quatre expériences ont prouvé que le guidage haptique permet d'obtenir une bande passante supérieure à celle obtenue avec la souris traditionnelle. La précision des usagers tend également à augmenter avec la force. Par contre, lorsque la force est trop grande, le nombre d'erreurs peut augmenter.

Au niveau des différents paramètres à retenir pour notre prochaine expérimentation, les résultats ont démontré qu'il est préférable d'utiliser le profil de force mixte afin d'obtenir une bande passante plus élevée et un plus faible nombre d'erreurs.

Cependant, dépendamment de la nature de la tâche impliquée, il peut être plus approprié d'utiliser la force élastique pour le guidage. En effet, même si celle-ci n'occupe que la deuxième place en terme d'efficacité au niveau de la précision et de la vitesse d'exécution du mouvement, les sujets l'ont nettement préférée à la force mixte qui a été qualifiée de contraignante et inconfortable.

À la lumière de ces constatations, nous croyons qu'il serait plus approprié d'utiliser le profil de force élastique pour le guidage haptique dans une interface afin de ne pas contraindre inutilement l'utilisateur et de ne pas causer de charge cognitive additionnelle. En ce qui concerne l'intensité de la force à utiliser, les résultats suggèrent une force moyenne à élevée.

#### **4.7.1 Limites de l'expérimentation**

Méthodologiquement, il est important d'identifier les limites qui ont influencé les données de notre recherche. La première concerne la longueur de l'expérimentation. En effet, étant donné le temps requis pour compléter les essais, les sujets ont dû travailler très rapidement, ce qui a probablement occasionné de la fatigue musculaire. Dans la même lignée, nous croyons que la brillance de l'écran a pu causer de la fatigue visuelle chez les sujets. De plus, comme les sujets ont pris très peu de temps de repos, il est probable que le niveau de concentration ait diminué considérablement entre le début et la fin de l'expérimentation. Finalement, nous croyons que l'intensité de la force élevée était dans certains cas trop grande, ce qui a contribué à créer de l'instabilité au niveau du dispositif et a probablement entraîné une diminution de la vitesse et de la précision des sujets.

#### **4.8 Conclusion**

En regard des différents résultats obtenus lors de cette expérimentation préliminaire, nous pouvons dire que les sujets ont en général apprécié avoir du guidage haptique et que cela a contribué à augmenter leur efficacité et leur

précision lors du pointage de la cible. Il nous semble donc pertinent de réaliser une étude sur l'influence du guidage haptique au niveau de l'exploration des fonctionnalités d'une interface.

Les prochains chapitres seront donc consacrés à cette étude. Nous ferons d'abord la description de l'environnement de formation utilisé pour tester nos hypothèses. Nous expliquerons ensuite la méthodologie utilisée pour mener l'expérimentation. Finalement, nous présenterons les résultats de la recherche et discuterons des facteurs ayant pu influencer les données.

## **L'environnement de formation**

## 5.1 Précisions sur la propriété intellectuelle

Pour réaliser notre expérimentation, nous avons utilisé *ExploraGraph*, un environnement hypermédia conçu pour dispenser des apprentissages à distance sur Internet. Cet environnement a été développé dans le cadre du projet sur les Interfaces Humain Ordinateur dirigé par Aude Dufresne, rendu possible grâce à une subvention du *Réseau des Centres d'Excellence sur le Télé-Apprentissage* en collaboration avec le *Licef*.

Le système *ExploraGraph* comporte deux applications : un éditeur et un navigateur de graphes. Aude Dufresne a assuré la conception générale du système (Dufresne, 1997a ; Dufresne, 1997b) ainsi que la direction de l'équipe interface qui a collaboré à sa réalisation. En tant que membre de cette équipe, notre contribution à la recherche se situe également au niveau de la conception d'un système de guidage haptique intégré à l'environnement de formation et du développement de la méthodologie appliquée à son expérimentation.

Malgré le fait que l'environnement de formation *ExploraGraph* ne soit pas spécifique à notre problématique d'étude, nous croyons utile et nécessaire de le décrire afin de permettre au lecteur d'avoir une meilleure compréhension du contexte expérimental dans lequel s'inscrit notre recherche.

## 5.2 L'environnement ExploraGraph

Pour explorer et accéder aux différentes modules du cours COM 3561, les étudiants doivent utiliser le navigateur *ExploraGraph* (Dufresne, 1997b ; Dufresne, 1999). L'interface de ce navigateur est composée fondamentalement d'un tableau de bord, de menus déroulants et du navigateur d'outils.

### 5.2.1 Le tableau de bord

Le tableau de bord est représenté par une barre horizontale située au bas de l'écran et est composé de quatre boutons à menus offrant respectivement les fonctions suivantes : *Explorer*, *Planifier*, *Faire le point*, *Communiquer* et *Guidage* (Ruelland, à paraître).

La fonction *Explorer* offre la possibilité à l'apprenant d'explorer le scénario d'apprentissage, la matière du cours ainsi que le calendrier du cours. La fonction *Planifier* permet à l'étudiant de planifier ses travaux. La fonction *Faire le point* aide l'utilisateur à voir quels sont les travaux qu'il doit faire et quels sont ceux qui sont terminés. La fonction *Communiquer* permet à l'apprenant d'envoyer ses commentaires, ses questions, ses travaux et aussi de discuter avec ses confrères de classe. Finalement, la fonction *Guidage* permet à l'utilisateur d'ajuster l'intensité des différentes formes d'aide disponibles dans l'environnement.

### 5.2.2 Les menus déroulants

Les menus déroulants sont situés dans le haut de l'écran pour assurer une cohérence externe avec les autres interfaces du même genre. Ils sont composés des options suivantes : *Fichier*, *Outils*, *Vue*, *Aide*.

- Le menu *Fichier* permet à l'utilisateur d'ouvrir des documents, de les enregistrer, de les fermer etc.
- Le menu *Outils* offre la possibilité de faire apparaître la barre d'outils et d'utiliser la fonction *Zoom*.
- Le menu *Vue* donne accès aux fonctions suivantes : *Animer*, *Liens*, *À Faire* et *Complété*.
- Le menu *Aide* offre la possibilité à l'utilisateur de recourir à l'aide en ligne ou indexée.

### 5.2.3 Le navigateur d'outils

Lorsqu'ils entrent dans l'environnement *ExploraGraph*, les usagers se retrouvent dans le navigateur d'outils. Celui-ci constitue le point de départ de toute démarche d'apprentissage. Le navigateur d'outils a été conçu pour permettre à l'apprenant de visualiser et d'accéder facilement aux différentes ressources de l'environnement. Le navigateur d'outils est représenté par un graphe composé de bulles. Celles-ci sont reliées par des liens qui illustrent les relations entre les différentes parties du graphe et suggèrent un ordre de consultation à l'utilisateur. Chaque bulle représente une partie de l'environnement. Parmi celles-ci, on note le navigateur des activités - COM 3561, le navigateur de connaissances et les différents outils de gestion, production et communication de l'environnement.

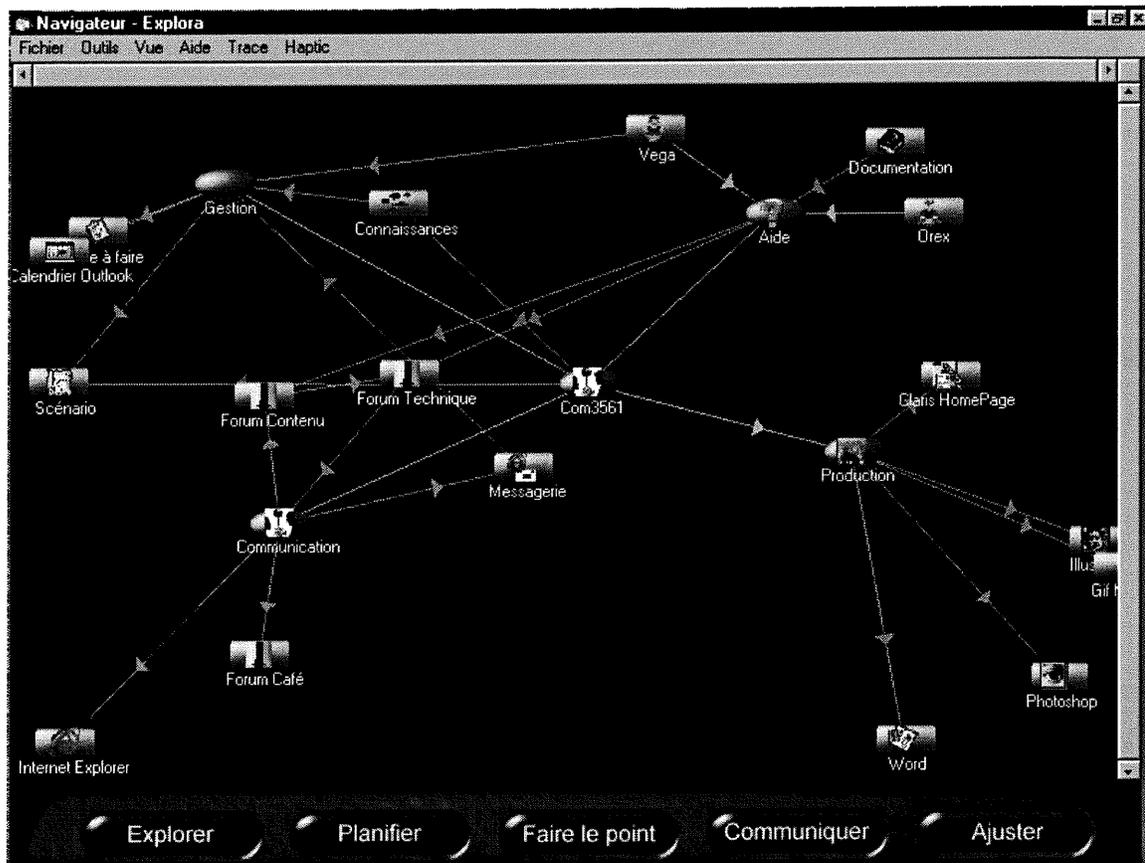


Figure 6 : Le navigateur d'outils

### 5.2.4 Le navigateur des activités - COM 3561

Le navigateur des activités ou scénario d'apprentissage vise essentiellement à présenter les différents modules du cours COM 3561 afin de faciliter l'exploration de l'apprenant. Celui-ci peut en effet accéder aux contenus pédagogiques du cours en double-cliquant sur les bulles qui les représentent dans le graphe.

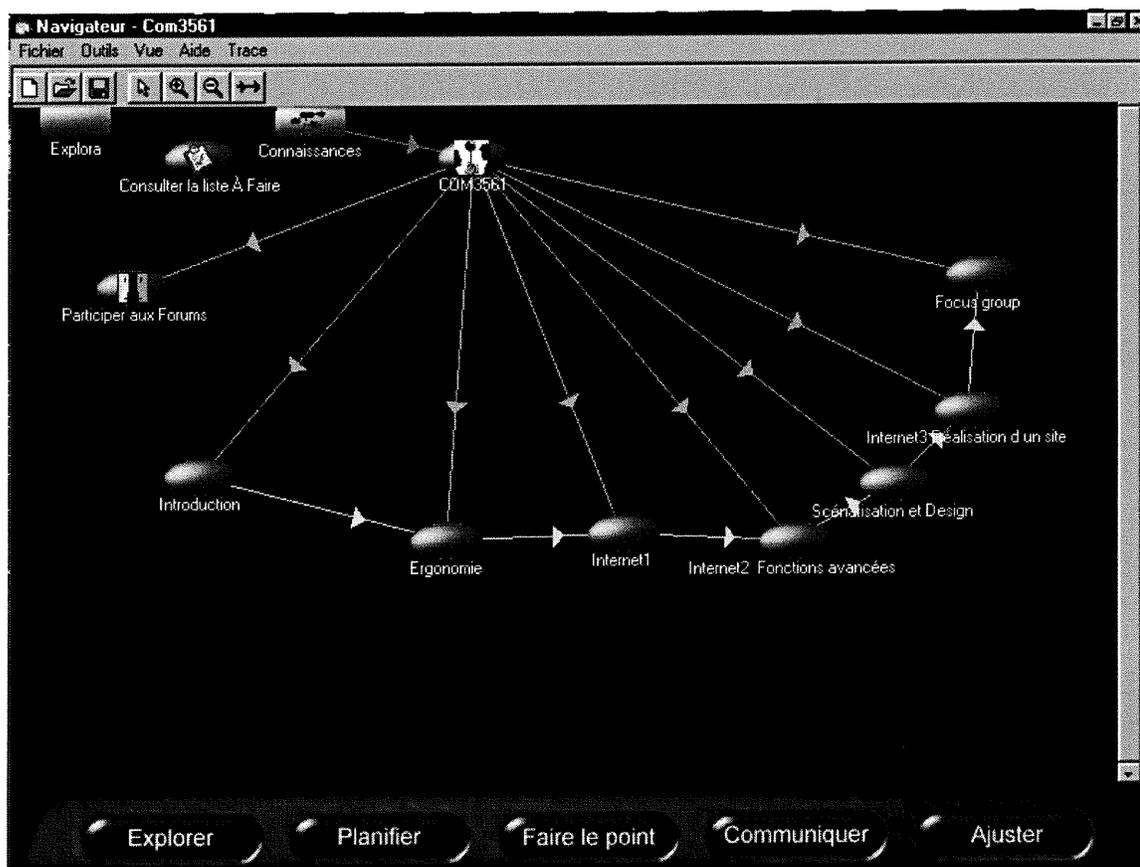


Figure 7 : Le navigateur des activités - COM 3561

Le cours COM 3561 est composé de six modules. Chaque module comporte des contenus théoriques et des exercices pratiques. Le module Introduction fait cependant exception car il contient les renseignements nécessaires au début du cours, c'est-à-dire le plan de cours, le formulaire d'inscription aux groupes de



## **5.2.6 Les applications commerciales**

Différentes applications commerciales étaient nécessaires pour suivre le cours COM 3561. Celles-ci étaient accessibles à partir du navigateur d'outils (Figure 3). Trois types d'applications commerciales ont été intégrées : les outils de gestion du temps, les outils de communication et les outils de production.

### **5.2.6.1 Les outils de gestion du temps**

L'étudiant isolé de son professeur et de ses confrères de classe doit nécessairement avoir à sa disposition un outil de gestion du temps afin d'être en mesure de rencontrer les exigences du cours. Il doit en effet pouvoir consulter facilement la liste des travaux qu'il doit faire ainsi que leurs dates de remises respectives. Le logiciel Microsoft Outlook a été utilisé pour remplir cette fonction à cause de sa facilité d'utilisation et de ses nombreuses fonctionnalités. Outlook comprend une liste des tâches à faire, un calendrier, un système de messagerie électronique, un répertoire de contacts, un carnet de notes et un journal personnel.

### **5.2.6.2 Les outils de communication**

Un environnement de formation à distance demande inévitablement un système de communication afin de compenser pour le manque de contacts humains lors de l'apprentissage. Pour satisfaire les besoins de communication de l'apprenant, deux canaux de communication spécifiques étaient utilisés : la messagerie électronique et les groupes de discussion. Le système de courrier électronique de Microsoft Outlook était utilisé pour la communication par courrier électronique. Pour ce qui est des groupes de discussion, les forums disponibles sur le site Internet de la faculté virtuelle de l'Université de Montréal ont été retenus. Trois types de forums étaient accessibles : le forum technique, le forum contenu et le forum café. Ceux-ci ont pour objectif de favoriser les échanges entre les apprenants sur les différents aspects du cours.

### 5.2.6.3 Les outils de production

Comme le cours porte sur la conception et le développement de sites Internet, deux applications permettant de créer du contenu pour l'Internet ont été intégrées à l'environnement : l'éditeur HTML *Claris Homepage*, et le logiciel d'animation *GIF Movie Gear*. L'efficacité de ces applications, leur facilité d'utilisation ainsi que la possibilité de les utiliser gratuitement pour la période du cours sont autant de raisons qui ont motivé ces choix.

### 5.2.7 Les systèmes d'aide

Un système d'aide multimodal a été intégré à l'environnement *ExploraGraph*. Celui-ci est composé essentiellement d'explications textuelles, d'agents animés et de guidage haptique et visuel.

#### 5.2.7.1 Les explications textuelles

L'environnement comporte des explications textuelles. Celles-ci sont accessibles à partir du menu *Aide* ou des bulles *Documentation*. Elles ont été conçues selon un ensemble de lignes directrices visant à maximiser leur efficacité (Bayard, en préparation).

#### 5.2.7.2 Les agents virtuels d'information

En plus des explications textuelles, des agents virtuels d'information apparaissent périodiquement lors de l'utilisation pour donner des conseils à l'apprenant selon le contexte de la tâche. L'un s'appelle Véga et l'autre Orex. Véga est la tutrice du cours COM 3561. Elle donne des conseils aux apprenants sur les différentes procédures à suivre pour réussir. Orex, contrairement à Vega, ne s'occupe pas de ce qui est lié au cours, mais plutôt de ce qui se rapporte à l'interface du système. C'est d'ailleurs Orex qui apparaît pour accompagner le guidage (Pelletier, en préparation ; Gagné, en préparation).

### 5.2.7.3 Le guidage

L'environnement de formation comporte également un système de guidage permettant de diriger physiquement ou visuellement l'utilisateur sur certaines des fonctionnalités de l'interface.

Ainsi, au moment opportun, Orex apparaît accompagné d'un message d'introduction qui annonce la fonction sur laquelle le guidage va être effectué. Ce message est lu simultanément par Orex. Lorsque la lecture du message est terminée, le menu dans lequel se trouve la fonctionnalité est déroulé automatiquement par le système et le guidage commence. La main de l'utilisateur est conduite par la force du dispositif sur la fonctionnalité enseignée. La force se fait sentir jusqu'à ce que l'utilisateur ait cliqué sur le menu proposé. Dès lors, Orex explique à l'utilisateur comment faire pour utiliser la fonction.

Le profil de force élastique a été utilisé pour le guidage haptique. Celui-ci permet de réaliser un guidage efficace et subtil qui ne contraint pas inutilement l'utilisateur. Comme la charge cognitive inhérente à l'exploration de l'environnement *ExploraGraph* est importante, il était essentiel que le guidage se fonde le plus possible aux mouvements de l'utilisateur afin de ne pas causer de charge cognitive additionnelle.

Le guidage visuel se déroule quant à lui de façon similaire à celle du guidage haptique. La principale différence est que la main de l'utilisateur n'est pas conduite sur la fonctionnalité enseignée. Celle-ci est seulement sélectionnée (en bleu) par le système afin que l'utilisateur la localise plus facilement dans l'interface.

Nous avons conçu le guidage de façon à ce qu'il soit déclenché par le nombre d'ouvertures de graphe effectuées dans l'environnement. Lors de la première et deuxième ouverture, aucun guidage n'était mis à exécution. Il est en effet très important, afin de maximiser l'efficacité du guidage, de laisser l'utilisateur explorer librement l'environnement avant de le guider (Carr, 1930 ; Waters, 1930 ;

Holding & Macrae, 1966 ; Baker, 1968). C'est à la troisième ouverture de graphe que le guidage s'activait pour la première fois. Le guidage agissait ensuite à intervalles réguliers, à chaque fois que l'utilisateur avait cumulé trois ouvertures de graphe jusqu'à ce que tous les guidages soient terminés. Nous avons alors considéré inutile de répéter le guidage de peur d'être redondant et de déranger l'utilisateur (Carr, 1930 ; Waters, 1930 ; Holding & Macrae, 1966 ; Baker, 1968).

Cinq fonctionnalités nous ont semblé appropriées pour le guidage étant donné leur niveau de complexité pour l'utilisateur : *Liens*, *À Faire*, *Zoom*, *Animer* et *Complété*. Nous vous les présentons dans le même ordre qu'elles apparaissent lors du guidage.

- La fonction *Liens* permet à l'utilisateur de faire apparaître la légende des liens qui unissent les noeuds du graphe.
- La fonction *À Faire* informe l'utilisateur des travaux et des activités qu'il lui reste à faire pour rencontrer l'échéancier du cours.
- Le *Zoom* permet d'agrandir ou de rapetisser une partie spécifique du graphe.
- Par défaut, le graphe est animé. La fonction *Animer* permet à l'utilisateur de stopper l'animation des bulles du graphe et de la relancer s'il le désire.
- La fonction *Complété* permet à l'utilisateur de visualiser les travaux complétés.

Tableau XV : Spécifications des règles d'apparition du guidage

Fonctionnalité	Règle d'apparition
Liens	Troisième ouverture de graphe
À faire	Sixième ouverture de graphe
Zoom	Neuvième ouverture de graphe
Animer	Douzième ouverture de graphe
Complété	Quinzième ouverture de graphe

## **Méthodologie**

## **6.1 L'échantillon**

Huit sujets ont participé à cette expérimentation. Ceux-ci provenaient de divers programmes d'études de premier, deuxième et troisième cycle universitaire. Ils ont été recrutés sur une base volontaire, par le biais de petites annonces placées sur les babillards des différents pavillons de l'Université de Montréal.

Nous aurions aimé avoir plus de sujets, cependant, à cause de la durée de l'expérimentation et de la puissance du matériel informatique requis pour supporter l'environnement de formation, le nombre de sujets potentiels était plutôt restreint. De plus, étant donné le temps nécessaire à la réalisation des différents modules et activités du cours *Com 3561*, il était difficile de trouver des sujets prêts à fournir l'effort demandé.

## **6.2 Le matériel**

Les sujets devaient posséder un ordinateur possédant au minimum un processeur Pentium 166 Mhz et une mémoire vive de 64 Méga-octets pour pouvoir installer l'environnement de formation. Ils devaient également avoir accès à l'Internet et être équipés pour recevoir des contenus multimédias.

## **6.3 Le lieu**

Afin d'obtenir des données réalistes d'une situation de formation à distance, les sujets ont effectué l'expérimentation à leurs domiciles respectifs, à l'exception de deux, qui, pour des raisons personnelles, ont voulu venir travailler à l'Université. Ces derniers ont utilisé un local spécialement réservé à cet effet.

## **6.4 La validation du système**

Avant de débiter l'expérimentation, nous avons procédé à la validation du système de guidage haptique. Cette étape cruciale nous a permis de faire les ajustements nécessaires afin de nous assurer du bon fonctionnement du

système de guidage haptique. Une fois tous les ajustements terminés, nous pouvions débiter l'expérimentation avec plus de certitude.

### **6.5 Tâche des expérimentateurs**

Notre rôle en tant qu'expérimentateurs était de nous assurer du bon fonctionnement de l'expérimentation. Dès la première semaine, nous avons procédé aux installations logicielles chez les sujets. Nous avons profité de cette occasion pour leur donner les explications nécessaires au déroulement du cours. Notre rôle est ensuite devenu beaucoup plus effacé. En effet, à l'exception de nos interventions fréquentes pour les problèmes liés au matériel informatique ou au contenu du cours, nous avons limité notre contribution au strict minimum afin de ne pas contaminer les données. Nous avons cependant envoyé régulièrement des messages électroniques pour nous assurer que les usagers ne se démotivaient pas et atteignaient les objectifs pédagogiques qui avaient été fixés.

### **6.6 Déroulement de l'expérimentation**

L'expérimentation s'est déroulée sur une période de huit semaines successives, entre le 25 mars et le 25 mai 1999. Aucun horaire précis de cours n'était prévu pour l'expérimentation. En effet, afin de recréer un contexte de formation à distance réaliste, il était important de laisser les sujets libres de suivre le cours au moment qui leur convenait le mieux. Une liste des tâches à faire et un échéancier avaient cependant été distribués aux sujets afin qu'ils puissent avoir une idée précise du rythme suggéré.

Pendant la première semaine, une réunion était prévue pour rencontrer les sujets et expliquer la recherche. Le plan de cours et un questionnaire sur les expériences et aptitudes en informatique (Annexe 4) ont également été distribués, via Internet, quelques jours avant la rencontre.

Lors de la deuxième semaine, nous avons procédé aux installations logicielles chez les sujets. Chaque installation était accompagnée d'une première utilisation filmée dans laquelle nous demandions aux sujets de verbaliser leurs impressions et commentaires à propos de l'interface. C'est à cette étape que les sujets ont expérimenté le guidage. La moitié a expérimenté le guidage haptique, l'autre, le guidage visuel. Ce premier contact avec l'environnement s'est terminé par le questionnaire 2 (Annexe 5) et une brève entrevue visant à connaître les opinions et attitudes des sujets à l'égard de l'environnement de formation et du système de guidage.

Les semaines suivantes étaient mises à la disposition des sujets pour qu'ils puissent parcourir les différents modules d'apprentissage du cours et réaliser les exercices pratiques demandés.

Finalement, un groupe de discussion a été organisé à la fin de la dernière semaine de l'expérimentation. Le but de cette rencontre était de recueillir les impressions et commentaires des sujets à propos de l'environnement de formation ainsi que du système de guidage. Nous avons dans un premier temps distribué le questionnaire 3 (Annexe 7). Nous avons ensuite utilisé ce questionnaire pour alimenter la discussion sur le guidage ainsi que sur les éléments faisant l'objet des recherches des autres participants.

## **Présentation des résultats**

Une fois l'expérimentation complétée, nous avons procédé à une analyse statistique des données brutes à l'aide du logiciel SPSS. Dans un premier temps, nous présentons les résultats du questionnaire 1. Celui-ci est orienté sur la description de notre échantillon expérimental (Annexe 4). Nous présentons ensuite les résultats des analyses effectuées à partir de la trace informatique d'utilisation (Annexe 3). Troisièmement, nous décrivons les résultats des questionnaires 2 et 3. Ceux-ci sont orientés, entre autres, sur l'évaluation de la satisfaction des sujets à l'égard de l'environnement de formation et du système de guidage (Annexes 5 et 7). Finalement, nous présentons les résultats du test de rappel et de l'analyse du verbatim de l'observation (Annexe 6).

### **7.1 Considérations statistiques**

Étant donné la petite taille de notre échantillon expérimental ( $N=8$ ), il nous est impossible de parler de significativité pour les résultats obtenus. En effet, à cause des coûts élevés du matériel informatique requis pour l'expérimentation et de l'implication temporelle de suivre une formation de huit semaines, nous n'avons pas été en mesure de recruter plus de sujets.

Bien que statistiquement non valides, les résultats de notre étude nous permettent d'avoir une idée générale de l'efficacité et de l'appréciation de l'environnement de formation et du système de guidage, il serait donc regrettable de ne pas les considérer.

À cet effet, Nielsen (1994) mentionne que dans le domaine des interfaces, il est logique de tenir compte des résultats expérimentaux provenant d'un échantillon peu puissant, même si ces derniers comportent une probabilité d'erreur de 20%. En effet, comme le seuil de signification statistique n'est par définition qu'un indicateur du niveau de confiance que l'on peut avoir envers une conclusion donnée, il est selon lui impensable de ne pas tenir compte des résultats comportant une marge d'erreurs plus élevée que 5%.

Imaginons par exemple une étude où il faut choisir entre deux interfaces et où il n'est pas possible, pour différentes raisons, d'obtenir des données. Dans une telle situation, le chercheur en charge de l'expérimentation n'aura pas d'autres solutions que de tirer à pile ou face pour déterminer la meilleure interface. Supposons par contre que ce chercheur ait réussi à effectuer quelques tests d'utilisabilité avec un nombre restreint de sujets, déterminant que l'interface A est meilleure que la B avec un degré de signification de 20%. Même si ce résultat n'est pas statistiquement valide, il n'en demeure pas moins que les chances de choisir la bonne interface ont augmenté considérablement, passant d'une probabilité d'erreur de 50 %, à une probabilité de 20%. Il serait donc illogique de ne pas tenir compte de ce résultat. De plus, comme le 20 % d'erreur en question englobe l'hypothèse nulle qui stipule que les interfaces A et B sont aussi bonnes l'une que l'autre ainsi que l'hypothèse en faveur de l'interface B, il reste très peu de marges réelles d'erreurs au chercheur qui choisit l'interface A.

## **7.2 Profil de l'échantillon**

Notre échantillon expérimental est composé de huit personnes réparties en deux groupes, les sujets exposés au guidage haptique et les sujets exposés au guidage visuel. Nous comparons dans un premier temps ces deux groupes en fonction de leur expérience en informatique et de leurs habitudes d'utilisation.

### **7.2.1 Expérience en informatique**

Les sujets du groupe haptique utilisent l'ordinateur en moyenne depuis sept ans alors que les sujets du groupe visuel l'utilisent depuis huit ans. Le nombre moyen d'heures d'utilisation hebdomadaire des sujets du groupe haptique est 23 alors qu'il est de 14 pour les sujets du groupe visuel. Les sujets des deux groupes expérimentaux se considèrent comme des utilisateurs de niveau intermédiaire en informatique. Les sujets du groupe haptique sont par contre légèrement plus familiers avec la plateforme *Windows* que les sujets du groupe visuel, ces derniers étant considérés intermédiaires.

## 7.2.2 Habitudes d'utilisation

Nous comparons dans cette section les habitudes d'utilisation des sujets des deux groupes expérimentaux. Nous décrivons spécifiquement les fréquences d'utilisation moyennes des applications liées à l'Internet, des logiciels utilisés dans le cours COM 3561 ainsi que des différentes modalités d'aide à l'utilisateur.

### 7.2.2.1 Fréquences d'utilisation des applications liées à l'Internet

Dans l'ensemble, les sujets du groupe haptique utilisent occasionnellement les différentes applications liées à l'Internet alors que les sujets du groupe visuel les utilisent plutôt rarement. Spécifiquement, on remarque que le courriel et l'Internet sont utilisés régulièrement par les sujets des deux groupes. Par contre, ils fréquentent rarement les groupes de discussion et font peu de bavardage en ligne.

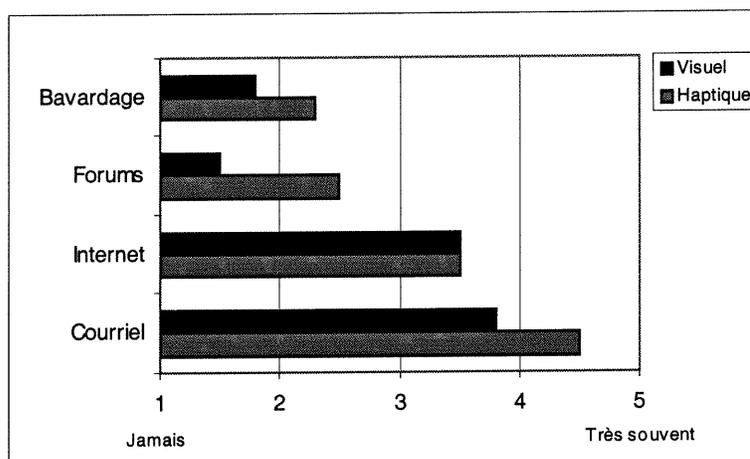


Figure 9 : Fréquences moyennes d'utilisation des applications liées à l'Internet

### 7.2.2.2 Fréquences d'utilisation des logiciels du cours COM 3561

Globalement, on peut dire que les sujets des deux groupes expérimentaux utilisent très peu les logiciels utilisés dans le cours COM 3561. Les résultats indiquent par contre que les fréquences d'utilisation du logiciel Microsoft Word

sont très élevées. On remarque également que les sujets du groupe visuel utilisent assez régulièrement le logiciel Microsoft Outlook.

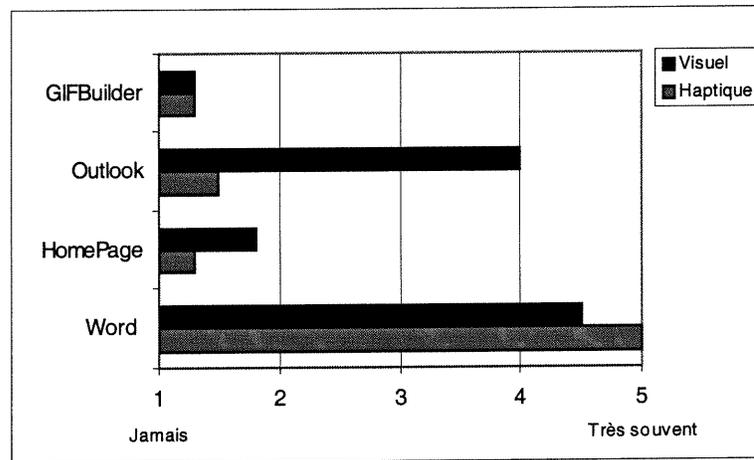


Figure 10 : Fréquences moyennes d'utilisation des logiciels du cours

### 7.2.2.3 Fréquences d'utilisation des modalités d'aide

De façon générale, les résultats indiquent que les sujets utilisent rarement les différentes modalités de support. On remarque cependant que le menu d'aide de l'interface est utilisé régulièrement par les sujets du groupe visuel. Les sujets du groupe haptique l'utilisent également mais un peu moins souvent.

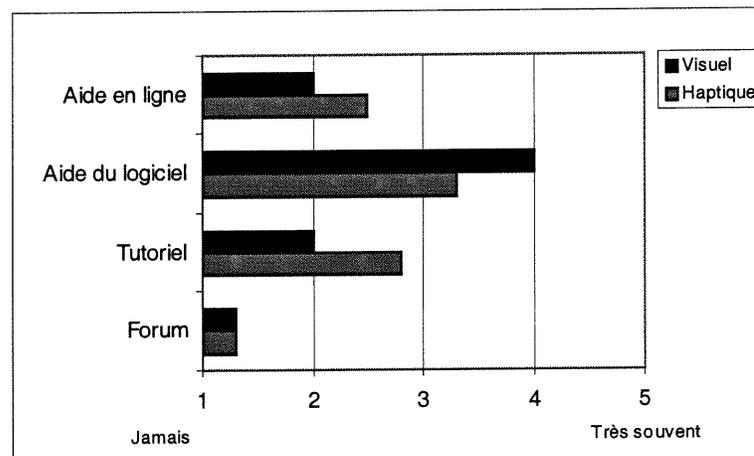


Figure 11 : Fréquences moyennes d'utilisation des modalités d'aide

### 7.3 Analyse de la trace

Les différentes actions des sujets dans l'environnement ont été enregistrées dans une base de données afin de nous permettre d'accumuler des informations sur la consultation de l'environnement. Cette section est consacrée à la description des ces données. Dans un premier temps, nous avons procédé au décompte du nombre d'ouvertures de graphe effectuées par les sujets des groupes haptique et visuel. Nous nous sommes ensuite attardés au nombre d'utilisations des fonctionnalités de l'interface ainsi que sur le nombre de demandes d'aide formulées par les sujets.

#### 7.3.1 Le nombre d'ouvertures de graphe

Le nombre total d'ouvertures de graphe effectuées par les sujets du groupe haptique est légèrement supérieur à celui des sujets du groupe visuel. En effet, les sujets haptiques ont commandé 388 ouvertures de graphe contre 363 pour les sujets visuels.

Tableau XVI : Nombre total d'ouvertures de graphe

Groupe	Ouvertures de graphe
Haptique	388
Visuel	363

#### 7.3.2 La fréquence d'utilisation des fonctionnalités de l'interface

De façon générale, nous constatons que les sujets du groupe haptique dominent nettement au niveau de l'utilisation des fonctionnalités de l'interface. Ainsi, avec un nombre total d'utilisations de 267 contre 119, on peut dire que les sujets du groupe haptique ont utilisé environ deux fois plus les fonctionnalités de l'interface que les sujets du groupe visuel.

Tableau XVII : Nombres totaux d'utilisations des fonctionnalités de l'interface

Groupe	Liens	À Faire	Zoom	Animer	Complété	Total
Haptique	25	68	39	21	114	267
Visuel	8	31	14	8	58	119

### 7.3.3 Les demandes d'aide

Le nombre total de demandes d'aide effectuées pendant la période expérimentale est plutôt faible de façon générale. Spécifiquement, on remarque que les sujets du groupe haptique ont effectué un total de 13 demandes d'aide contre 16 chez les sujets du groupe visuel.

Il est important de noter que le terme aide comprend le menu *Aide* de l'interface ainsi que les bulles *Documentation*, *Orex* et *Véga* accessibles à partir du navigateur d'outils.

Tableau XVIII : Nombre total de demandes d'aide

Groupe	Demande d'aide
Haptique	13
Visuel	16

## 7.4 Analyse des questionnaires

Nous présentons dans cette section les résultats des questionnaires portant sur l'appréciation de l'environnement de formation et du système de guidage. Il est important de noter que les questions posées à la négative ont été retournées positivement afin qu'elles puissent être compilées et traitées avec les autres questions.

### 7.4.1 Appréciation de l'environnement de formation

Globalement, les sujets des deux groupes expérimentaux ont répondu aux questions sur l'appréciation de l'environnement de formation sur un ton plutôt modéré. Bien que les sujets du groupe haptique semblent l'avoir légèrement plus apprécié que les sujets du groupe visuel, la faible différence observée entre les deux groupes nous empêche de tirer des conclusions de ce résultat.

Veilles noter que pour réaliser cette section, nous avons calculé la moyenne générale de la partie 1 du deuxième questionnaire (Annexe 5) et de la partie 1 du questionnaire final (Annexe 7).

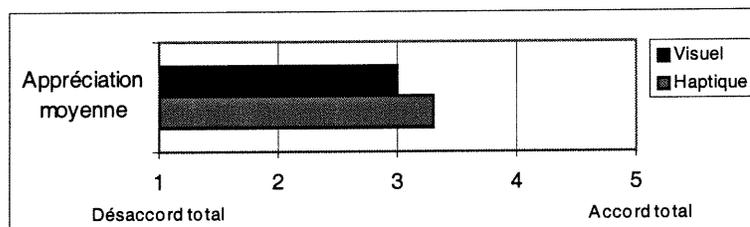


Figure 12 : Appréciation moyenne de l'environnement de formation

### 7.4.2 Appréciation du système guidage

De façon générale, on remarque que les sujets des deux groupes ont répondu avec réserve aux questions sur l'appréciation du système de guidage. Bien que les sujets du groupe haptique aient une très légère avance sur les sujets du groupe visuel, nous ne pouvons tirer de conclusions de ce résultat étant donné le faible écart qui sépare les deux groupes expérimentaux.

Il est important de préciser que les résultats ci-dessous mentionnés proviennent du calcul de la moyenne générale des questions de la partie 3 du deuxième questionnaire (Annexe 5) et de la partie 4 du questionnaire final (Annexe 7).

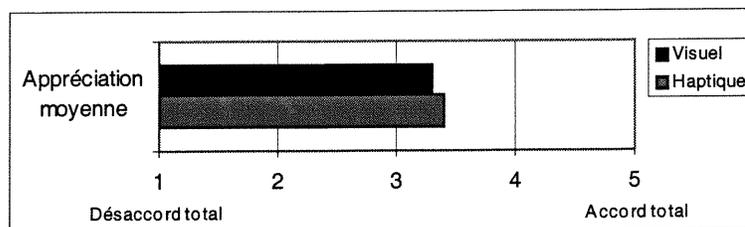


Figure 13 : Appréciation moyenne du système guidage

#### 7.4.2.1 Appréciation de la durée du guidage

Dans l'ensemble, les sujets des deux groupes expérimentaux sont très satisfaits de la durée du guidage. En effet, autant les sujets du groupe haptique que ceux du groupe visuel sont en accord avec l'affirmation "Le guidage n'était pas trop long". Ces résultats nous permettent donc de penser que la durée du guidage était convenable (Annexe 5, Question 3.6).

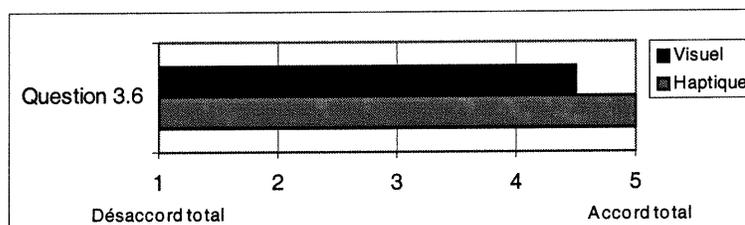


Figure 14 : Appréciation moyenne de la durée du guidage

#### 7.4.2.2 Appréciation de la vitesse du guidage

Les sujets des deux groupes expérimentaux semblent avoir une opinion neutre à l'égard de la vitesse du guidage. En effet, les résultats indiquent que les sujets ne sont ni en accord ni en désaccord avec l'affirmation "Il était facile de suivre le guidage dans l'environnement". Il nous est donc impossible, étant donné la nature des résultats obtenus, de savoir si la vitesse du guidage était adéquate (Annexe 7, Question 4.4).

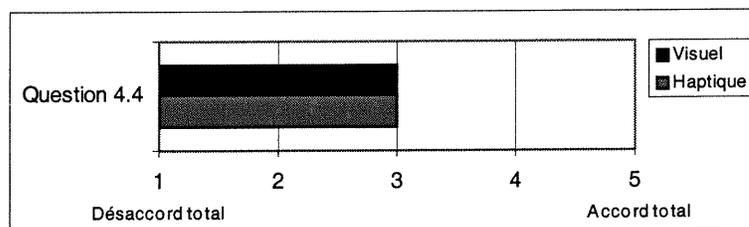


Figure 15 : Appréciation moyenne de la vitesse du guidage

#### 7.4.2.3 Appréciation de la force du guidage haptique

En moyenne, les résultats indiquent que les sujets n'ont pas d'opinion précise par rapport à la force du guidage haptique. On remarque toutefois chez les sujets une légère tendance vers le qualificatif plutôt d'accord, ce qui laisse supposer un indice de satisfaction moyen (Annexe 5, Question 3.9).

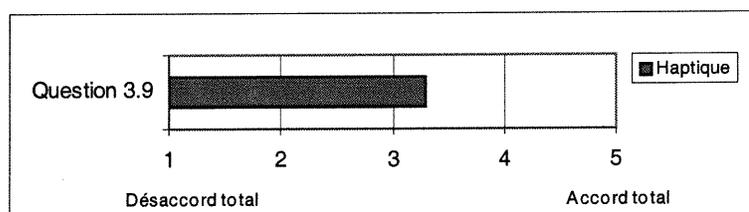


Figure 16 : Appréciation moyenne de la force du guidage haptique

#### 7.4.2.4 Appréciation de la liberté laissé par le guidage

De façon générale, les sujets du groupe haptique se sont sentis beaucoup moins contraints par le guidage que les sujets du groupe visuel. Les sujets du groupe haptique sont en effet presque totalement d'accord avec l'affirmation "Le guidage n'était pas trop contraignant" alors que les sujets du groupe visuel sont plutôt en désaccord avec cette proposition. Cette divergence d'opinion entre les deux groupes nous permet de penser que le guidage haptique est probablement

moins contraignant que le guidage visuel ou du moins, est perçu de la sorte par les usagers (Annexe 5, Question 3.5).

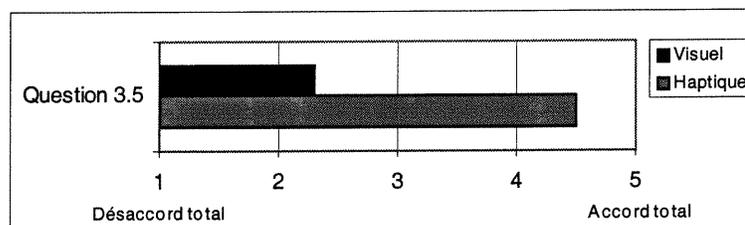


Figure 17 : Appréciation moyenne de la liberté laissée par le guidage

#### 7.4.2.5 Le guidage et la compréhension des explications

Globalement, les résultats indiquent que les sujets du groupe haptique ont davantage reconnu l'effet positif du guidage au niveau de la compréhension des explications que les sujets du groupe visuel. Ces derniers semblent en effet ne pas être convaincus de l'efficacité du guidage à cet effet (Annexe 5, Question 3.2).

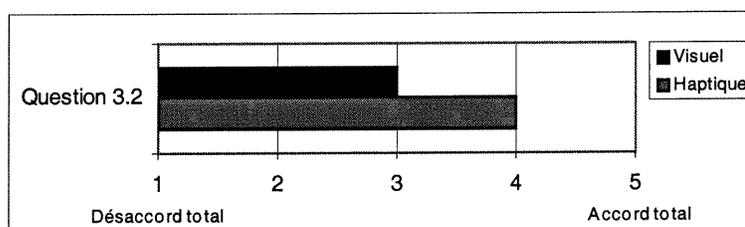


Figure 18 : Appréciation moyenne de l'impact du guidage sur la compréhension des explications

#### 7.4.2.6 Le guidage et la rétention des explications

Dans l'ensemble, les résultats indiquent que les sujets visuels sont plutôt en accord avec l'affirmation "Je retenais plus facilement les explications lorsqu'elles

étaient accompagnées de guidage " alors que les sujets haptiques sont moyennement d'accord avec cette proposition. La faible différence d'opinion observée entre les deux groupes ne nous permet toutefois pas de conclure que le guidage visuel est plus efficace que le guidage haptique au niveau de la rétention des explications (Annexe 5, Question 3.4).

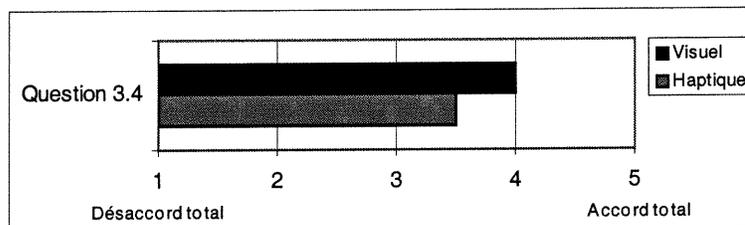


Figure 19: Appréciation moyenne de l'impact du guidage sur la rétention des explications

#### 7.4.2.7 Le guidage et la compréhension de l'environnement

En moyenne, les opinions des sujets quant à l'influence du guidage sur la compréhension de l'environnement de formation sont plutôt neutres. On remarque en effet que les sujets du groupe haptique n'ont pas d'opinion précise face à l'affirmation "Le guidage m'a permis de mieux comprendre le fonctionnement de l'environnement" alors les sujets du groupe visuel sont légèrement en désaccord (Annexe 5, Question 3.3).

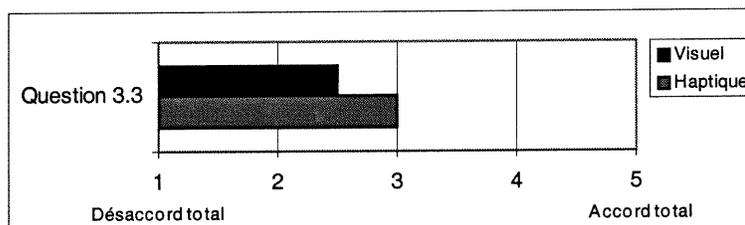


Figure 20: Appréciation moyenne de l'impact du guidage sur la compréhension de l'environnement

### 7.4.2.8 Le guidage et la désorientation spatiale

De façon générale, les sujets des deux groupes expérimentaux semblent avoir une opinion très modérée par rapport à l'influence du guidage contre la désorientation spatiale dans l'environnement de formation. En effet, les résultats indiquent que les sujets ne sont ni en accord ni en désaccord avec l'affirmation "Le guidage a contribué à diminuer mon sentiment de désorientation dans l'environnement." Il nous est donc impossible de savoir si le guidage a effectivement permis de diminuer la désorientation spatiale des usagers dans l'interface (Annexe 7, Question 4.2).

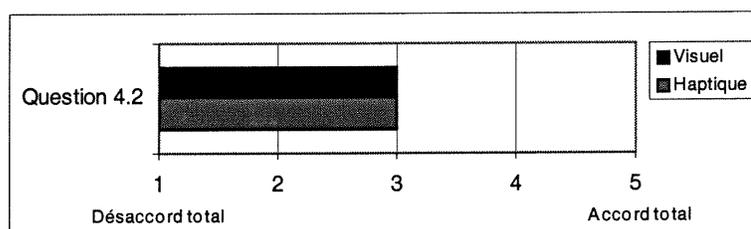


Figure 21: Appréciation moyenne du guidage contre la désorientation spatiale

### 7.5 Le test de rappel

À la fin de l'expérimentation, nous avons demandé aux sujets d'identifier les fonctionnalités sur lesquelles ils ont été guidés lors de l'exploration de l'environnement (Annexe 7). De façon générale, les résultats du test de rappel sont très faibles chez les sujets des deux groupes expérimentaux. On remarque en effet que le nombre moyen de fonctionnalités identifiées par les sujets est inférieur à 1 dans les deux cas.

### 7.6 Analyse du verbatim de l'observation

Lors du premier contact avec l'environnement de formation, nous avons filmé les sujets et nous leur avons demandé de verbaliser leurs impressions sur le

système de guidage. Quelques jours plus tard, nous avons procédé à la retranscription intégrale des propos des sujets. Nous avons ensuite formalisé une grille d'analyse permettant de classer les commentaires des usagers. Celle-ci est composée essentiellement des quatre thèmes suivants : *Technique*, *Cognitif*, *Stress* et *Contrôle*.

- Sous l'aspect *Technique*, nous incluons les éléments se rapportant au déroulement technique du guidage.
- L'aspect *Cognitif* englobe quant à lui les éléments qui concernent l'apport du guidage au niveau de la compréhension et la rétention des explications.
- L'aspect *Stress* rassemble les éléments relatifs au stress occasionné par le guidage.
- Finalement, l'aspect *Contrôle* est lié à l'appréciation du niveau de contrôle des usagers sur le guidage.

### 7.6.1 Méthodologie d'analyse

Dans un premier temps, nous avons calculé les commentaires positifs et négatifs des sujets pour chacun des thèmes de la grille d'analyse. Nous avons ensuite calculé les moyennes respectives des groupes haptique et visuel.

Tableau XIX : Résultats moyens de l'analyse du verbatim

Modalité	Modalité	Technique	Cognitif	Stress	Contrôle
Haptique	Positif	4	4	1	0
	Négatif	9	3	2	3
Visuel	Positif	4	3	0	0
	Négatif	3	3	0	2

### 7.6.1.1 Appréciation technique du guidage

En moyenne, on remarque que les sujets des deux groupes expérimentaux ont formulé le même nombre de commentaires positifs par rapport à l'aspect technique du système de guidage. Par contre, les sujets du groupe haptique ont formulé trois fois plus de commentaires négatifs que les sujets du groupe visuel sur ce thème. Comme la différence entre les deux groupes est assez importante, nous croyons que le guidage haptique occasionne plus de problèmes techniques que le guidage visuel.

Spécifiquement, les sujets ont manifesté de l'insatisfaction à l'égard du manque de précision occasionné par le guidage. Ils ont également été déçus par la trop courte durée de celui-ci. Voici quelques commentaires tirés de l'observation des sujets :

"Ta main est conduite sur le menu. Si tu pèses beaucoup ou que tu bouges, tu n'est déjà plus sur le bon menu. "C'est au niveau de la précision et de la longueur qu'il y a un problème." (Jérôme, 00:40:30)

"...en l'occurrence, le guidage conduit ta main vers le menu et puis là, plus rien." (Jérôme, 00:41:56)

### 7.6.1.2 Apport cognitif du guidage

Comme les résultats l'indiquent, le nombre de commentaires positifs concernant l'apport cognitif du guidage est légèrement plus élevée chez les sujets du groupe haptique que chez les sujets du groupe visuel. En effet, on compte 4 commentaires positifs chez les sujets du groupe haptique contre 3 chez les sujets du groupe visuel. Par contre, la moyenne des commentaires négatifs des sujets est de 3 pour les deux groupes expérimentaux. L'équilibre qui existe entre le nombre de commentaires positifs et négatifs nous permet donc de penser que les sujets ne sont pas convaincus de l'apport positif du guidage au niveau cognitif.

Les critiques principales des sujets sont liées à la superficialité des messages explicatifs ainsi qu'à la vitesse à laquelle ils sont présentés. Afin de préciser leur pensée, nous relevons quelques uns des commentaires formulés à cet effet :

"J'aurais aimé que vous alliez un peu plus loin dans les explications."  
(Marie- Christine, 00:58:00)

"J'aimerais que le message dure plus longtemps car je n'ai pas toujours le temps de comprendre les explications." (Andréanne, 00:45:11)

### **7.6.1.3 Niveau de stress occasionné par le guidage**

De façon générale, on remarque que le guidage haptique occasionne plus de stress que le guidage visuel. Les sujets du groupe haptique ont en effet formulé une moyenne de 2 commentaires négatifs à ce propos alors que les sujets du groupe visuel n'en ont formulé aucun. Aucun commentaire positif n'a été formulé par les sujets. Malgré ces résultats, nous croyons que le nombre restreint de commentaires formulés par les sujets est un indicateur de la faible probabilité que le guidage ait réellement causé un stress aux usagers. Néanmoins, il serait pertinent d'imaginer des façons plus subtiles d'introduire le guidage pour de futures expérimentations.

Précisément, les commentaires négatifs formulés par les sujets du groupe haptique concernent la présentation du guidage et l'apparition subite et violente de la force. Voici quelques uns de ces commentaires :

"Quand le guidage commence, on se demande ce qui se passe. Est-ce que c'est le truc qui fonctionne? On est alors très stressé par ça. C'est juste qu'il faut s'y habituer mais ça va!" (Miki, 01:13:33)

"Je trouvais que c'était fort. Ça surprend. C'est surtout fort au démarrage." (Stéphanie, 00:56:02)

#### 7.6.1.4 Contrôle du guidage

Globalement, les sujets des deux groupes expérimentaux semblent être affectés par leur manque de contrôle sur le système de guidage. On remarque en effet qu'aucun commentaire positif n'a été formulé à ce propos. On remarque également que les sujets du groupe haptique sont légèrement plus embarrassés par le manque de contrôle sur le guidage que les sujets du groupe visuel.

La plupart des commentaires négatifs des sujets font référence au manque de support occasionné par l'incapacité de faire répéter le guidage une fois que celui-ci est terminé. Le fait de présenter le guidage systématiquement à intervalles réguliers ne semble donc pas avoir été une bonne idée. Voici quelques commentaires permettant de mieux illustrer la situation :

"J'arrive pas à retrouver les endroits où il y a du guidage... Je manque de guidage! J'arrive pas à me repérer. Je sais pas ce que je dois faire."  
(Stéphanie, 00:47:27)

"J'aimerais pouvoir le faire répéter si j'ai pas compris les explications."  
(Andréanne, 00:45:11)

"Je cherche une façon de faire répéter l'aide. C'est pas qu'il y avait trop d'informations mais quand l'agent virtuel parlait, je pensais à autre chose et j'ai perdu le fil." (Marie-Christine, 00:30:12)

## **Discussion**

L'objectif de ce chapitre est de revoir les différentes hypothèses spécifiques décrites dans notre problématique et de voir, à la lumière des résultats de l'expérimentation, celles qui sont vérifiées. En réalisant cet exercice, nous serons amené à discuter des facteurs ayant pu influencer les données de la recherche. Ces différents éléments nous conduiront à formuler, à la fin de ce chapitre, certaines recommandations permettant d'améliorer l'efficacité du guidage haptique dans les interfaces. Nous tenons à préciser que ces recommandations ne peuvent être considérées comme exhaustives. Tout au plus, elles serviront à alimenter les recherches sur la conception de systèmes de guidage haptique plus performants.

## **8.1 Vérification des hypothèses**

La présente section vise essentiellement à revoir les différents résultats obtenus lors de l'analyse des données afin de vérifier s'ils sont en conformité avec les hypothèses spécifiques formulées au chapitre problématique.

### **8.1.1 Hypothèse 1**

Les sujets du groupe haptique commandent un nombre total d'ouvertures de graphe plus élevé que les sujets du groupe visuel

Nous pensions au départ que le guidage haptique réduirait la charge cognitive des usagers pendant l'exploration de l'interface, et, de ce fait, favoriserait une exploration plus approfondie de l'environnement de formation. Toutefois, l'analyse de la trace révèle que les sujets ayant expérimenté le guidage haptique n'ont commandé que 25 ouvertures de graphes de plus que les sujets guidés visuellement. Comme la différence observée entre les deux groupes est plutôt faible, nous ne croyons pas que le guidage haptique ait effectivement eu un impact sur le nombre de graphes consultés.

Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que le guidage haptique a été effectué uniquement sur certaines fonctionnalités de l'interface et non pas sur l'ensemble de l'environnement de formation, ce qui réduit considérablement son impact sur les sujets.

### **8.1.2 Hypothèse 2**

Les sujets du groupe haptique utilisent plus fréquemment les fonctionnalités de l'interface que les sujets du groupe visuel

L'analyse de la trace indique que les sujets du groupe haptique ont utilisé plus fréquemment les fonctionnalités qui leur ont été enseignées par le guidage que les sujets ayant expérimenté le guidage visuel. On observe en effet un total de 267 utilisations chez les sujets haptiques contre 119 chez les sujets visuels. Les sujets du groupe haptique ont donc utilisé les fonctionnalités de l'interface environ deux fois plus que les sujets du groupe visuel.

À la lumière de ces résultats, nous croyons que le fait de guider la main des usagers sur les fonctionnalités de l'interface a effectivement encouragé leur réutilisation. Bien que cette hypothèse semble être vérifiée, il nous est impossible de nous prononcer avec certitude à cause de la petite taille de notre échantillon expérimental. Il serait donc intéressant de tester à nouveau cette hypothèse avec un nombre plus élevé de sujets.

### **8.1.3 Hypothèse 3**

Les sujets du groupe haptique se souviennent mieux des fonctionnalités sur lesquelles ils ont été guidés que les sujets du groupe visuel

L'analyse du test de rappel démontre que les sujets des deux groupes expérimentaux ne se souviennent généralement pas des fonctionnalités sur lesquelles ils ont été guidés. En effet, les sujets du groupe haptique ont obtenu

une moyenne de rappel de 0.5 fonction alors que les sujets du groupe visuel ont obtenu une moyenne de 0.25. Ces résultats suggèrent que ni l'une ni l'autre des formes de guidage expérimentées n'a permis de favoriser le rappel des fonctionnalités de l'interface.

Il est cependant important de mentionner que le test de rappel était beaucoup plus difficile qu'un simple test de rétention car pour réussir, les sujets devaient mémoriser le nom des fonctionnalités et non pas uniquement leur position dans les menus de l'interface. Nous croyons que c'est principalement ce qui a influencé nos résultats. En effet, comme le nombre total d'utilisations des fonctionnalités est plutôt élevé chez les sujets des deux groupes, il est illogique d'avoir obtenu de si faibles taux de rappel.

#### **8.1.4 Hypothèse 4**

Le nombre de demandes d'aide effectuées par les sujets du groupe haptique est plus faible que celui des sujets du groupe visuel

De façon générale, les sujets des deux groupes n'ont presque pas utilisé l'aide de l'environnement. En effet, on compte un total de 13 demandes d'aide chez les sujets du groupe haptique contre 16 chez les sujets du groupe visuel. Comme la différence entre les deux groupes est faible, nous ne croyons pas que le guidage haptique ait eu un impact réel sur le nombre de demandes d'aide formulées par les sujets.

Le faible nombre de demandes d'aide formulées peut s'expliquer par deux facteurs. Premièrement, comme les sujets ont été pris en charge par le guidage lors de l'exploration de l'environnement, il est possible que ces derniers n'aient pas ressenti le besoin de demander de l'aide supplémentaire. Deuxièmement, étant donné que l'environnement de formation est dense en informations, il est probable que les sujets n'aient pas pris le temps d'aller chercher les réponses à

leurs questions, préférant plutôt explorer les différents contenus du cours et attendre que le guidage commence.

### **8.1.5 Hypothèse 5**

Les sujets du groupe haptique sont plus positifs face au système de guidage que les sujets du groupe visuel

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons dû nous référer d'une part, aux résultats des questionnaires et d'autre part, à l'analyse du verbatim de l'observation des sujets.

#### **8.1.5.1 Questionnaires**

En moyenne, l'attitude des sujets à l'égard du système de guidage est plutôt modérée dans les questionnaires. Malgré la faible tendance des deux groupes expérimentaux vers le qualificatif "plutôt d'accord", on remarque que les sujets n'ont pas vraiment d'opinion claire en ce qui concerne l'appréciation générale du système de guidage.

Par contre, l'analyse détaillée des questionnaires démontre que les sujets des deux groupes expérimentaux ont apprécié la durée du guidage (Figure 18). Sur le plan cognitif, les résultats indiquent que les sujets du groupe haptique ont mieux reconnu l'apport du guidage au niveau de la compréhension des explications que les sujets du groupe visuel (Figure 22). Nous avons également observé une différence marquée entre les sujets des groupes haptique et visuel au niveau de l'appréciation de la liberté laissée par le guidage. On remarque en effet que les sujets du groupe haptique se sont sentis beaucoup moins contraints par le guidage que les sujets du groupe visuel (Figure 21).

Ce résultat est particulièrement intéressant car malgré la contrainte physique inhérente au guidage haptique, ce sont quand même les sujets du groupe visuel

qui se sont sentis les plus contraints par le guidage. Il semble donc que les sujets du groupe haptique aient appris à apprécier le guidage malgré ses inconvénients. Comme le guidage haptique fournit un support qui implique physiquement l'utilisateur, il est probable que les sujets l'aient perçu comme étant moins exigeant cognitivement, ce qui expliquerait ce résultat.

#### **8.1.5.2 Observation des sujets en situation de guidage**

De façon générale, les commentaires formulés par les sujets lors de l'observation s'équivalent au point de vue de l'apport cognitif du guidage, du stress qu'il occasionne et du niveau de contrôle qu'il permet. La principale différence entre les groupes haptique et visuel se situe plutôt au niveau du déroulement technique du guidage. On remarque en effet que les sujets du groupe haptique ont exprimé en moyenne 9 commentaires négatifs par rapport au guidage contre 3 chez les sujets du groupe visuel. Étant donné ces résultats, nous pouvons penser que les sujets du groupe haptique ont moins apprécié le guidage que les sujets du groupe visuel.

Ce résultat peut s'expliquer par le fait que dans plusieurs cas le rythme du guidage était trop lent et l'intensité de la force trop faible. En effet, l'un des comportements négatifs fréquemment observé chez les sujets du groupe haptique est de devancer le guidage, c'est-à-dire ne pas attendre la fin du message d'introduction de l'agent et consulter directement le menu sans l'aide de la force. Un tel comportement occasionne généralement de l'incompréhension chez les usagers. Afin d'améliorer l'efficacité du guidage, nous croyons qu'il aurait été préférable d'augmenter la vitesse du guidage et de raccourcir les explications de l'agent.

Un autre comportement négatif régulièrement observé chez les sujets du groupe haptique est de voir un sujet se retrouver accidentellement dans le menu voisin et ne plus être en mesure de retrouver la fonctionnalité sur laquelle le guidage est effectué. Ainsi, lorsqu'ils cherchent le menu dont parle le guidage, les sujets

ne portent plus attention aux explications de l'agent, ce qui nuit considérablement à la compréhension de ces dernières. Il aurait probablement été plus approprié d'utiliser le profil de force mixte afin d'éviter ce problème puisque celui-ci est composé d'une force restrictive qui garde l'utilisateur sur la cible pendant le guidage.

### **8.1.6 Hypothèse 6**

Les sujets du groupe haptique sont plus satisfaits de l'environnement de formation que les sujets du groupe visuel

En moyenne, les opinions des sujets des deux groupes expérimentaux à l'égard de l'environnement de formation sont plutôt modérées. On remarque en effet que les sujets n'ont pas été en mesure de se faire une idée précise de leur appréciation de l'environnement. Néanmoins, il est intéressant de souligner que les sujets avec guidage haptique sont légèrement plus satisfaits de celui-ci que les sujets du groupe visuel.

Ainsi, contrairement à ce que nous pensions, le guidage haptique ne semble pas avoir influencé l'appréciation de l'environnement de formation. Nous avons probablement surestimé l'impact du guidage lors de la formulation de nos hypothèses de recherche. Nous nous attendions en effet à ce que le guidage haptique réduise la charge cognitive des usagers lors de l'exploration et, de ce fait, entraîne une plus grande satisfaction de l'environnement de formation. Cela ne semble pas être le cas. Le choix des paramètres du guidage peut également être responsable de ce résultat.

## **8.2 Recommandations pour une future expérience**

À la lumière de la discussion des résultats, nous formulons certaines recommandations qui, à notre avis, pourraient être utiles lors de la conception et de l'expérimentation de futurs systèmes de guidage haptique.

### **8.2.1 Favoriser la motivation des sujets**

La durée d'une expérimentation ainsi que le moment où celle-ci est effectuée dans le temps sont autant de facteurs susceptibles d'influencer les résultats d'une recherche car ils agissent directement sur la motivation des sujets. Avec huit semaines d'expérimentation et l'augmentation de la charge de travail des étudiants due à l'approche de la fin de session, nous n'avons probablement pas mis toutes les chances de notre côté. Fort est à parier que les résultats auraient été différents dans un autre contexte expérimental. Nous suggérons donc de choisir un moment moins occupé pour expérimenter afin de favoriser un meilleur climat expérimental et éviter d'influencer négativement les données.

### **8.2.2 Solidifier le système**

Pendant l'expérimentation, nous avons été périodiquement confrontés à deux types de problèmes informatiques, à savoir, les arrêts subits du système et les interruptions du guidage. En effet, pour des raisons encore inconnues, il est arrivé quelques fois durant l'expérimentation que l'environnement de formation ne réponde plus aux requêtes des usagers et que le guidage soit interrompu par des apparitions imprévisibles des agents virtuels d'information. Ces problèmes ont probablement été causés par le trop grand nombre de manipulations effectuées par les usagers dans un court intervalle de temps. Bien qu'il ait été difficile de prévoir une telle situation, il n'en demeure pas moins que ces problèmes ont pu influencer de près ou de loin les données de notre recherche. Ainsi, pour augmenter l'efficacité d'une prochaine expérimentation, nous suggérons de solidifier le système afin de réduire les risques de rencontrer à nouveau ce genre de problèmes.

### **8.2.3 Recommandations pour la conception du guidage haptique**

En regard des différents résultats de cette recherche, un certain nombre de recommandations peuvent être formulées afin de produire des systèmes de guidage haptique mieux adaptés à la nature complexe de l'interaction humain-

ordinateur. Bien qu'elles constituent un bon point de départ pour les chercheurs intéressés par le guidage haptique dans les interfaces, ces recommandations devront éventuellement être complétées ou précisées car elles ne sont pas représentatives de l'ensemble des problématiques entourant ce sujet.

1. Nous suggérons l'utilisation du profil de force mixte pour le guidage afin de diminuer les risques que l'utilisateur glisse sur le menu voisin de l'interface. Bien que l'utilisation d'une telle force ne soit pas une garantie de succès, il est probable qu'elle améliore les performances de l'utilisateur lors de la sélection. Il a en effet été trouvé lors de notre expérimentation préliminaire que la force mixte permet, grâce à une force restrictive qui garde le mouvement de l'utilisateur près de la cible, d'améliorer la précision de celui-ci.
2. Il pourrait également être intéressant de développer un algorithme permettant de diffuser la force plus graduellement lors du guidage afin de diminuer le niveau de stress que subit l'utilisateur lors de la prise en charge de ses mouvements par le dispositif haptique. Cela pourrait éventuellement permettre à celui-ci de mieux s'habituer au guidage (Holding & Macrae, 1966 ; Von Wright, 1957).
3. Nous recommandons d'intégrer le guidage haptique à l'ensemble des composantes de l'environnement hypermédia (nœuds et menus). Cela contribuerait probablement à rendre le guidage plus efficace dans les structures de navigation complexes. Toujours dans un souci d'amélioration de la qualité du support à l'utilisateur, il pourrait également être intéressant de concevoir un guidage qui serait accessible même après la période d'exploration de l'interface (Carr, 1930 ; Waters, 1930).
4. Nous croyons que le guidage aurait probablement intérêt à être contrôlé par l'utilisateur. En fait, il serait intéressant que ce dernier puisse commander

lui-même le départ du guidage, l'interrompre au besoin et le reprendre au moment qui lui convient. Cela pourrait potentiellement permettre d'améliorer l'efficacité du guidage au niveau de la compréhension et de la rétention des explications.

5. Nous suggérons de diminuer la longueur des explications qui accompagnent le guidage. En effet, nous avons constaté lors de l'observation des sujets que la longueur des explications décourage parfois les usagers, qui, par conséquent, vont consulter directement le menu dont il est question sans attendre que la force ne les y conduise.
6. Il serait souhaitable que l'utilisateur puisse ajuster la vitesse et l'intensité du guidage en fonction de ses compétences. Nous croyons que cela pourrait probablement contribuer à augmenter l'impact du guidage au niveau de la compréhension et de la rétention des explications (Holding & Macrae, 1966 ; Holding, 1970).
7. Finalement, si la technologie le permet, il pourrait être intéressant de développer un système de guidage haptique dont l'intensité et la vitesse s'adaptent automatiquement à l'utilisateur selon un ensemble de paramètres évalués par le système (degré de résistance à la force, vitesse du mouvement, etc.). L'adaptabilité du système de guidage permettrait probablement d'améliorer son efficacité relative.

## **Conclusion**

Cette étude a permis d'observer comment le guidage haptique influence certains comportements des apprenants lors de la consultation d'un environnement hypermédia de formation. Bien que les différents résultats expérimentaux obtenus ne soient pas aussi marqués que nous l'aurions cru, ceux-ci nous ont quand même permis de voir en quoi l'implication physique de l'utilisateur lors de l'exploration de l'interface a conditionné la réutilisation des fonctionnalités de l'interface, le nombre de graphes consultés dans l'environnement ainsi que le nombre de demandes d'aide formulées par les usagers.

Spécifiquement, les résultats de la présente recherche nous ont fait prendre conscience de l'importance primordiale du choix du profil et de l'intensité de la force utilisée pour le guidage lors de la conception du système. En effet, comme démontré dans notre expérimentation préliminaire, le choix d'un profil de force au détriment d'un autre a tout avantage à être fait en considérant le type de tâche impliqué dans l'interaction humain-ordinateur. Ainsi, en procédant à une analyse spécifique des besoins des usagers, il y a de fortes chances que le guidage soit plus supportant et par conséquent, qu'il influence de façon plus marquée les différentes mesures se rapportant à la consultation de l'environnement de formation.

Au-delà des considérations liées à la force du guidage, nous avons également constaté que les limites physiques imposées par l'interface et par le dispositif haptique constituent des obstacles importants à l'efficacité du guidage haptique. Une des façons de solutionner ces problèmes serait selon nous de rendre la rétroaction haptique continue dans l'environnement de formation. Le système pourrait ainsi guider les mouvements de l'utilisateur au moment opportun, sans que celui-ci n'ait à le demander. Un tel concept permettrait de solutionner le problème de l'accessibilité du guidage haptique dans les environnements hypermédiés ainsi que de diminuer considérablement les risques de désorientation spatiale chez les usagers débutants.

De façon générale, nous pouvons dire que cette recherche constitue un noyau important d'informations sur la conception de systèmes de guidage mieux adaptés aux environnements hypermédias de formation. Bien qu'elle ne soit pas complète, celle-ci nous a tout de même permis de voir comment certains principes de conception des systèmes d'aide peuvent être développés et appliqués dans le but d'améliorer la qualité du support à l'utilisateur dans les environnements hypermédias de formation.

Évidemment, plusieurs autres aspects pourraient être expérimentés subséquemment. Par exemple, il serait intéressant de réaliser une étude où le guidage serait effectué contextuellement, à la demande de l'utilisateur, non seulement au niveau des fonctionnalités de l'interface, mais aussi des graphes et des contenus théoriques qui composent l'environnement de formation. Il serait également intéressant d'expérimenter notre système de guidage dans un environnement moins complexe qu'*ExploraGraph* afin de diminuer la charge cognitive des utilisateurs lors de l'exploration et de mieux isoler l'effet du guidage sur les comportements d'utilisation.

En définitive, nous espérons que cette étude permettra à d'autres chercheurs de se sensibiliser à l'importance du support à l'utilisateur en informatique et de développer des systèmes de guidage haptique encore plus performants dans le but de continuer d'alimenter la réflexion théorique sur le guidage haptique dans les interfaces.

## **Références bibliographiques**

**Akamatsu, M. & MacKenzie, I.S.** (1996) Movements Characteristics Using a Mouse With Tactile and Force Feedback. *International Journal of Human-Computer Studies*, 45, 483-493.

**Apple Computer, INC.** (1987) Human Interface Guidelines : The Apple Desktop Interface. Addison-Wesley, 419 pages.

**Baggett, P.** (1984). Role of Temporal Overlap of Visual and Auditory Material in Forming Dual Media Associations. *Journal of Educational Psychology*, 76 (3), 408-417.

**Baker, C.H.** (1968) An Evaluation of Guidance in Learning A Motor Skill. *Canadian Journal of Psychology*, 22 (3), 217-227.

**Blattner, M.M., Sumikawa, D.A. & Greenberg, R.M.** (1989) Earcons and Icons: Their Structure and Common Design Principles. *Human-Computer Interaction*, vol.4, 11-44.

**Bovair, S. & Kieras, D.E.** (1991) Towards a Model of Acquiring Procedures for Text dans R.Barr, M.L. Kamil, P.B. Mosenthal & P.D. Pearson (Eds.), *Handbook of Reading Research* : vol.2, 206-229. White Plains, NY : Longman.

**Cantin, G. & Robineault, P.** (1984) Aide à l'Apprentissage. Section d'Andragogie, Faculté des Sciences de l'Éducation, Université de Montréal. La Librairie de l'Université de Montréal, 102 pages.

**Caroll, J.M. & Mazur, S.A.** (1986) LisaLearning. *IEEE Computer*, November, 35-49.

**Carr, H.** (1930) Teaching and learning. *Journal of Genetic Psychology*, 3, 189-219.

**Chute, A.G., Sayers, P.K. & Gardner, R.P.** (1997) Networked Learning Environments dans Teaching and Learning at a Distance : What it Takes to effectively Design, Deliver, and Evaluate Programs, Editions Thomas E. Cyr, 75-83.

**Cohill, A. M. & Williges, R. C.** (1985) Retrieval of HELP Information for Novice Users of Interactive Computer Systems. *Human Factors*, 27 (3), 335-43.

**Conklin, J.** (1987) Hypertext : An Introduction and Survey. *IEEE Computer*, 20 (9), 17-41.

**Coutaz, J.** (1990) Interfaces Homme-Ordinateur : Conception et Réalisation. Thèse présentée à l'Université Joseph Fourier, 402 pages.

**Czaja, S.J., Hammond, K & Blascovitch, J.J.** (1986) Learning to Use a Word-Processing System as a Function of Training Strategy. *Behaviour and Information Technology*, 5 (3), 203-216.

**Czaja, S.J., Hammond, K. & Blascovitch, J.J.** (1989) Age Related Differences dans Learning to Use a Text-Editing System. *Behaviour and Information Technology*, 8(4), 309-319.

**Decker, L.R., & Rogers, C.A. Jr.** (1973) Forced Guidance and Distribution of Practice in Sequential Information Processing. *Perceptual and Motor Skills*, 36, 415-419.

**Dixon, P.** (1987) The Processing of Organizational and Component Step Information in Written Directions. *Journal of Memory and Language*, 26 (1), 24-35.

**Dixon, P., Faries, J. & Gabrys, G.** (1988) The Role of Explicit Action Statements in Understanding and Using Written Directions. *Journal of Memory and Language*, 27 (6), 649-667.

**Dufresne, A.** (1997a) Conception d'Interfaces pour l'Apprentissage à Distance. *Journal of Distance Education*, Vol.7, No.1/2, 201-220.

**Dufresne, A.** (1997b) Proposition pour l'infrastructure du Campus Virtuel. Licef et Université de Montréal. Document interne.

**Dufresne, A., Cosmuta, V., Letran, T. & Ramstein, C.** (1999) Explora : An Interface to Support the Learner with Dynamic Graphs and Multimodal Goal Driven Explanations. In S.P. Lajoie & M.Vivet (Ed.), *Artificail Intelligence in Education* (pp.660-662). Amsterdam : IOS Press.

**Dunsmore, H.E.** (1980) Designing an Interactive Facility for Non-Programers dans *Proceedings of the 1980 Annual Conference of the Association for Computing Machinery*, 475-483. Nashville, TN : Association for Computing Machinery.

**Fitts, P.M.** (1954) The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement. *Experimental Psychology* (47), 381-391.

**Fleury, L., Filliatre, E. & Léger, A.** (1994) Approche Expérimentale des Interactions Sensori-Motrices et Cognitives dans le Dialogue Multimodal. Conférence sur l'Interface des Mondes Réels et Virtuels, Montpellier 94, 107-115.

**Gates, B.** (Fall 1996) Linked Up for Learning, *Education Record*, 34-41

**Gibson, J.J.** (1962) Observations on Active Touch. *Psychological Review*, 69, 477-491.

**Gibson, E.J.** (1988) Explatory Behaviour in the Development of Perceiving, Acting and the Acquiring of Knowledge. *Annual Review of Psychology*, 39, 1-41.

**Gordon, N.D.** (1968) Guidance Versus Augmented Feedback and Motor Skills. *Journal of Experimental Psychology*, 77 (1), 24-30.

**Hatwell, Y.** (1959) Perception Tactile des Formes et Organisation Spatiale Tactile. *Journal de Psychologie*, 56, 187-204.

**Hicks, Jr., J.O., Hicks, S.A. & Sen, T.K.** (1990) Learning Spreadsheets : Human Instructions vs Computer-Based Instructions. *Behaviour and Information Technology*, 10 (6), 491-500.

**Heller, M.A.** (1982) Visual and Tactual Texture Perception : Intersensory Cooperation. *Perception & Psychophysics*, 31, 339-344.

**Holding D.H. & Macrae, A.W.** (1966) Rate and Force Guidance in Perceptual-Motor Tasks with Reversed or Random Spatial Correspondance. *Ergonomics*, 9 (4), 289-296.

**Holding, D.H.** (1970) Learning Without Errors. In Leon E. Smith (ed.). *Psychology of Motor Learning*, 59-81, Chicago : The Athletic Institute, 1970.

**Holding, D.H.** (1987) Concept of Training dans Gavriel Salvendy (Ed.) Handbook of Human Factors, New York : JohnWiley and Sons, 939-962.

**Howe, R.D. & Lederman, S.J.** (1996) Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. *Proceedings of ASME* 1996, 395-398.

**Johnson, J., Roberts, L. T., Verplank, W., Smith, D.C., Irby, C., Beard, M., & Mackey, K.** (1989) The Xerox Star : A Retrospective. *IEEE Computer*,22 (9), 11-29.

**Jonassen, D.H.** (1988) Designing Structured Hypertext and Structuring Access to Hypertext. *Educational Technologies*, November, 1-15.

**Larochelle, S. & Giroux, L.** (1987) L'Ergonomie Cognitive des Systèmes Informatiques: État de la Question et Pistes de Recherche. Montréal : Université de Montréal et Centre canadien de Recherche sur l'Informatisation du Travail, 154 pages.

**Lederman, S.J.** (1990) The Perception of Texture by Touch in W. Schiff & E. Foulke (eds.) : Tactual Perception. Cambridge University Press, 142-155.

**LeFevre, J.A. & Dixon, P.** (1986) Do Written Instructions Need Examples? *Cognition and Instruction*, 3(1), 1-30.

**Mack, R.L., Lewis, C.H. & Carroll, J.M.** (1983) Learning to Use Word Processor: Problems and Prospects. *ACM Transactions on Office Information Systems*, 1 (3), 254-271.

**Mackenzie, S.** (1989) A Note on the Information-Theoretic Basis for Fitts' Law. *Journal of Motor Behaviour* (21), 323-330.

**Mackenzie, S. & Buxton, W.** (1994) Prediction of Pointing and Dragging Times in Graphical User Interfaces. *Interacting with Computers*,6(2), 213-227

**Moran, T.P.** (1981) An applied Psychology of the User. *Computing Surveys* (13), 1, 1-11.

**Neerincx, M. & De Greef, P.** (1993) How to Aid Non-Experts. *Proceedings of INTERCHI 1993*, 165-171, ACM, 1993.

**Nielsen, J.** (1990a) The Art of Navigating Through Hypertext. *Communications of the ACM*. 33 (3), 296-310.

**Nielsen, J.** (1990b) Traditional Dialogue Design Applied to Modern User Interfaces. *Communications*, 33(10), 109-118.

**Nielsen, J.** (1994) Guerrilla HCI: Using Discount Usability Engineering to Penetrate the Intimidation Barrier dans Bias, R. G., and Mayhew, D. J. (Eds.), *Cost-Justifying Usability*. Academic Press, Boston, MA, 245-272.

**Paivio, A.** (1971) *Imagery and Verbal Processes*. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum Associates, 596 pages.

**Palmiter, S. & Elkerton, J.** (1991) An Evaluation of Animated Demonstrations for Learning Computer-based Tasks dans S.P. Robertson, G.M.Olson and J.S. Olson (Eds.), *Proceedings of CHI 1991 Human Factors in Computing Systems*, 257-263. New Orleans, LA:Association for Computing Machinery.

**Palmiter, S., Elkerton, J. & Baggett, P.** (1991) Animated Demonstrations vs Written Instructions for Learning Procedural Tasks: A Preliminary Investigation. *International Journal of Man-Machine Studies*, 34, 687-701.

**Payette, J., Hayward, V., Ramstein, C. & Bergeron, D.** (1996) Evaluation of a Force Feedback (Haptic) Computer Pointing Device in Zero Gravity. *Proceedings of ASME 1996*, 547-553.

**Ramstein, C. & Hayward, V.** (1994) The Pantograph : A Large Work Space Haptic Device for a Multimodal Human-Computer Interaction dans *CHI 1994*,

Conference on Human Factors in Computing Systems. INTERACTIVE EXPERIENCE, vol. 2, 57-58.

**Ramstein, C., Szilas, N. & Arcand, J.F.** (1996) On-Line Haptic Guidance for Mastery of User Interfaces: a Preliminary Study. *ACM International Conference on Human Factors and Computing Systems, CHI 1997*, Atlanta, April 1997, 302-312.

**Révész G.** (1950) *Psychology and Art of the Blind*. New York : Longmans, Green, 338 pages.

**Rieber, L.P.** (1991) Animationm Incidental Learning, and Continuing Motivation. *Journal of Educational Psychology*, 83(3), 318-328.

**Ruelland, D.** (à paraître). Conception et Évaluation d'un Modèle du Processus d'Autogestion dans un Environnement de Télé-Apprentissage. Thèse de Doctorat. Université de Montréal.

**Schmitt, T.L.** (1978) Early experience and Spatial Functioning in the Blind dans *Cognitive Aspects of Haptics Form Recognition by Blind and Sighted Subjects*. *British Journal of Psychology* (1986), 77, 451-458.

**Sellen, A., & Nicol, A.** (1990) Building User-Centered On-line Help dans B. Laurel (Ed), *The Art of Human-Computer Interface Design*, 143-153. Reading, MA : Addison-Wesley.

**Shneiderman, B.** (1982) The Future of Interactive Systems and the Emergence of Direct Manipulation. *Behaviour and Information Thechnology*,1 (3), 237-256.

**Shneiderman, B.** (1983) Direct Manipulation : A Step Beyond Programming Languages. *IEEE Computer*, 16 (8), 57-69.

**Shneiderman, B. & Kearsley, G.** (1989). *Hypertext Hands-On! An Introduction to a New Way of Organizing and Accessing Information*. Addison-Wesley, 165 pages.

**Simpson, A.** (1990) *Lost in Hyperspace : How Can Designers Help? Intelligent Tutoring Media*, Vol 1.1, no.1, 31-40.

**Spangenberg, R.W.** (1973) *The Motion Variable in Procedural Learning*. *Audio Visual Communication Review*, 21 (4), 419-436.

**Spérandio, J.-C.** (1988) *L'ergonomie du Travail Mental*. Deuxième édition. Masson, Paris, Milan, Barcelone, Mexico, 137 pages.

**Spérandio, J.-C.** (1991) *Problèmes Ergonomiques Liés à l'Utilisation des Technologies Hypermédias, Multimédias et Multimodales*. *Séminaire INSERM/CNEFEI, Technologies hypermédias*, juin 1991, 43-51.

**Sukaviriya, P., Isaacs, E., & Bharat, K.** (1992) *Multimedia Help : A Prototype and an Experiment* dans P. Bauersfeld, J. Bennett, and G. Lynch (Eds.), *Proceedings of CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 433-434, Monterey, CA : Association for Computing Machinery.

**Szilas, N. & Ramstein, C.** (1996) *Haptic Assistance for Graphical User Interfaces : Theoretical Foundations*, ms, non-publié.

**Toole, T. & Arink, E.A.** (1982) *Movement Education : Its Effect on Motor Skill Performance*. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, vol.53, No.2, 156-162.

**Von Wright, J.M.** (1957) *A Note on the Role of Guidance in Learning*. *British Journal of Psychology*. 48, 133-137.

**Warren, D.H., Anooshian, L.J. & Bollinger, J.G.** (1973) Early vs Late Blindness: The Role of Early Vision in Spatial Behaviour. *Research bulletin*, 26, 151-170.

**Waters, R.H.** (1930). The Effect of Incorrect Guidance Upon Human Maze Learning. *Comparative Psychology*, vol. 12 (3), 293-301.

**Welford, A.T.** (1960). The Measurement of Sensory-Motor Performance : Survey and Reappraisal of twelve Years Progress. *Ergonomics* (3), 189-230.

## **Annexes**

## Annexe 1

## Exemple des données obtenues lors de l'expérience préliminaire

Microsoft Excel - exp1234													
File Edit View Insert Format Tools Data Window Help													
Arial 10 B I U													
A1	ExpID												
1	ExpID	Name	Batch	Trial	Button size	Distance	Angle	Force	Damping	Stopped time	Error	ClickedOutside	Banda Passante
2	1	Marc	1	1	20	120	180	0	100	995	0	FALSE	2.85010652
3	1	Marc	1	2	15	80	270	0	100	924.1	0	FALSE	2.881684896
4	1	Marc	1	3	25	200	270	0	100	843.1	0	FALSE	3.759844623
5	1	Marc	1	4	10	120	90	0	100	743.2	0	FALSE	4.97906313
6	1	Marc	1	5	25	160	90	0	100	673.6	0	FALSE	4.266706162
7	1	Marc	1	6	25	160	0	0	100	756.5	0	FALSE	3.816953431
8	1	Marc	1	7	15	160	180	0	100	805.6	0	FALSE	4.399603421
9	1	Marc	1	8	10	160	180	0	100	886.1	0	FALSE	4.612668572
10	1	Marc	1	9	15	80	180	0	100	591.7	0	FALSE	4.500532396
11	1	Marc	1	10	15	120	90	0	100	702.4	0	FALSE	4.512991175
12	1	Marc	1	11	25	160	180	0	100	978.5	0	FALSE	2.95097115
13	1	Marc	1	12	25	160	0	0	100	767.2	0	FALSE	3.76371907
14	1	Marc	1	13	25	120	0	0	100	753.4	0	FALSE	3.366144014
15	1	Marc	1	14	10	120	270	0	100	837.4	0	FALSE	4.418963122
16	1	Marc	1	15	10	120	180	0	100	1434.4	0	FALSE	2.579782291
17	1	Marc	1	16	10	200	270	0	100	866.5	0	FALSE	5.069033379
18	1	Marc	1	17	10	80	90	0	100	1056.5	0	FALSE	3.000402273
19	1	Marc	1	18	15	80	270	0	100	925.7	0	FALSE	2.87670413
20	1	Marc	1	19	15	160	90	0	100	1212.7	0	FALSE	2.922668852
21	1	Marc	1	20	10	200	180	0	100	1031.3	0	FALSE	4.259010397
22	1	Marc	1	21	15	80	180	0	100	706	0	FALSE	3.771905117
23	1	Marc	1	22	20	80	0	0	100	688.9	0	FALSE	3.37048642
24	1	Marc	1	23	20	200	0	0	100	1163.3	0	FALSE	2.973808664
25	1	Marc	1	24	25	80	90	0	100	858	0	FALSE	2.413041175
26	1	Marc	1	25	15	160	90	0	100	971.2	0	FALSE	3.649423925
27	1	Marc	1	26	20	160	180	0	100	850.3	0	FALSE	3.728007764
28	1	Marc	1	27	10	80	180	0	100	719.1	0	FALSE	4.408183843
29	1	Marc	1	28	25	120	270	0	100	661.6	0	FALSE	3.83321176
30	1	Marc	1	29	20	200	270	0	100	1122.2	0	FALSE	3.082722882
31	1	Marc	1	30	20	80	180	0	100	910.3	0	FALSE	2.550728436
32	1	Marc	1	31	15	120	90	0	100	1057.2	0	FALSE	2.998415628
33	1	Marc	1	32	15	80	0	0	100	759.3	0	FALSE	3.507131585
34	1	Marc	1	33	25	200	0	0	100	869.3	0	FALSE	3.646525942
35	1	Marc	1	34	15	80	90	0	100	938.6	0	FALSE	2.837167071

## Annexe 2

### Questionnaire de l'expérience préliminaire

1. Avez-vous apprécié le guidage haptique?
2. Aimeriez-vous expérimenter à nouveau le guidage haptique?
3. Dans la première application (force hyperbolique), j'ai préféré
  - a) la force nulle
  - b) la force moyenne
  - c) la plus forte
4. Toujours dans cette expérience, est-ce que vous avez ressenti une augmentation de votre précision? Si oui, grâce à quelle force?
  - a) la force nulle
  - b) la force moyenne
  - c) la plus forte
5. Dans la deuxième application (force élastique), j'ai préféré
  - a) la force nulle
  - b) la force moyenne
  - c) la plus forte
6. Toujours dans cette expérience, est-ce que vous avez ressenti une augmentation de votre précision? Si oui, grâce à quelle force?
  - a) la force nulle
  - b) la force moyenne
  - c) la plus forte
7. Dans la troisième expérience (force mixte), j'ai préféré
  - a) la force nulle
  - b) la force moyenne
  - c) la plus forte
8. Toujours dans cette expérience, est-ce que vous avez ressenti une augmentation de votre précision? Si oui, grâce à quelle force?
  - a) la force nulle
  - b) la force moyenne
  - c) la plus forte
9. Dans la quatrième expérience (assistance), j'ai préféré
  - a) la force nulle
  - b) la force moyenne
  - c) la plus forte

10. Toujours dans cette expérience, est-ce que vous avez ressenti une augmentation de votre précision? Si oui, grâce à quelle force?

- a) la force nulle
- b) la force moyenne
- c) la plus forte

11. Quelle expérience avez-vous le plus apprécié?

- a) la première (force hyperbolique)
- b) la deuxième (force élastique)
- c) la troisième (force mixte)
- d) la quatrième (assistance)

12. Avez-vous parfois trouvé la force contraignante? Si oui, dans quelle expérience?

- a) la première (force hyperbolique)
- b) la deuxième (force élastique)
- c) la troisième (force mixte)
- d) la quatrième (assistance)
- e) Ne s'applique pas

### Annexe 3

## Exemple des données de la trace de l'expérimentation sur le guidage haptique dans une interface

Microsoft Excel - hapticvisuel												
File Edit View Insert Format Tools Data Window Help												
MS Sans Serif 10												
L1	Sujet											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	Sujet	ld.ses	ld.pas	Temps	M.act	Action	Env.act	But	Aide	Modalité	Agents	Sujet
2	1	1	1445	3/26/99 15:13:05		OuvreExplora	Explora	Default	Default	Visuel	Véga=10	Myriame
3	1	1	1446	3/26/99 15:15:27		Mess_Tableau	Explora	Explorer	Message introduction Orex	Visuel	Véga=10	Myriame
4	1	1	1447	3/26/99 15:15:31		OuvreScénario	Scenario	Explorer	Message introduction Orex	Visuel	Véga=10	Myriame
5	1	1	1448	3/26/99 15:16:30		Mess_Orex_scenario	Scenario	Default	VegaPrésenteScénario	Visuel	Véga=10	Myriame
6	1	1	1449	3/26/99 15:16:59		Explorer scénario	Scenario	Default	VegaPrésenteScénario	Visuel	Véga=10	Myriame
7	1	1	1450	3/26/99 15:17:02		OuvreScénario	Scenario	Default	T_ExplorerScenario1	Visuel	Véga=10	Myriame
8	1	1	1451	3/26/99 15:17:02		Explorer scénario	Scenario	Default	T_ExplorerScenario1	Visuel	Véga=10	Myriame
9	1	1	1452	3/26/99 15:17:05		OuvreScénario	Scenario	Default	T_ExplorerScenario	Visuel	Véga=10	Myriame
10	1	1	1453	3/26/99 15:17:05		Explorer scénario	Scenario	Default	GuidlegLiensFV1	Visuel	Véga=10	Myriame
11	1	1	1454	3/26/99 15:17:08		OuvreScénario	Scenario	Default	T_ExplorerScenario	Visuel	Véga=10	Myriame
12	1	1	1455	3/26/99 15:17:09		Explorer scénario	Scenario	Default	T_ExplorerScenario	Visuel	Véga=10	Myriame
13	1	1	1456	3/26/99 15:17:11		OuvreScénario	Scenario	Default	T_ExplorerScenario	Visuel	Véga=10	Myriame
14	1	1	1457	3/26/99 15:17:23		MessDemoLiensFV1	Scenario	Default	T_ExplorerScenario	Visuel	Véga=10	Myriame
15	1	1	1458	3/26/99 15:17:45		MenuVueLiens	Scenario	Default	GuidlegLiensFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
16	1	1	1459	3/26/99 15:18:03	1057	OuvreScénario	Scenario	Default	GuidlegLiensFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
17	1	1	1460	3/26/99 15:18:22	1057	1	Scenario	Default	GuidPlanTravFV1	Visuel	Véga=10	Myriame
18	1	1	1461	3/26/99 15:18:53	1057	MenuVueAFaire	Scenario	Default	GuidPlanTravFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
19	1	1	1462	3/26/99 15:19:02	625	OuvreScénario	Scenario	Default	GuidPlanTravFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
20	1	2	1463	3/26/99 15:19:23		OuvreExplora	Explora	Default	Default	Visuel	Véga=10	Myriame
21	1	2	1464	3/26/99 15:19:29		OuvreScénario	Scenario	Default	Default	Visuel	Véga=10	Myriame
22	1	2	1465	3/26/99 15:19:30		OuvreScénario	Scenario	Default	Accueil ergonomie	Visuel	Véga=10	Myriame
23	1	2	1466	3/26/99 15:20:21		MessDemoZoomInFV1	Scenario	Default	GuidZoomInFV1	Visuel	Véga=10	Myriame
24	1	2	1467	3/26/99 15:20:28		MenuOutilsZoomIn	Scenario	Default	GuidZoomInFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
25	1	2	1468	3/26/99 15:21:02	626	OuvreScénario	Scenario	Default	GuidZoomInFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
26	1	2	1469	3/26/99 15:22:26		OuvreScénario	Scenario	Default	GuidZoomInFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
27	1	2	1470	3/26/99 15:23:01	1089	OuvreScénario	Scenario	Default	GuidZoomInFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
28	1	2	1471	3/26/99 15:24:17	1115	MenuAideTrouver	Scenario	Default	GuidZoomInFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
29	1	2	1472	3/26/99 15:24:42	623	OuvreScénario	Scenario	Default	GuidZoomInFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
30	1	2	1473	3/26/99 15:25:03	623	MenuVueAnimer	Scenario	Default	GuidStabGrapheFV1	Visuel	Véga=10	Myriame
31	1	2	1474	3/26/99 15:25:04	623	eFV1	Scenario	Default	GuidStabGrapheFV1	Visuel	Véga=10	Myriame
32	1	2	1475	3/26/99 15:26:12	625	MenuVueAnimer	Scenario	Default	GuidStabGrapheFV2	Visuel	Véga=10	Myriame
33	1	2	1476	3/26/99 15:26:27	1246	MenuVueAnimer	Scenario	Default	GuidStabGrapheFV2	Visuel	Véga=10	Myriame

## Annexe 4

### Questionnaire 1 de l'expérience sur le guidage haptique dans une interface

1. Depuis combien d'années utilisez-vous un ordinateur?
2. Environ combien d'heures par semaine consacrez-vous à l'informatique en général?
3. À quel degré estimez-vous votre niveau d'expertise avec les ordinateurs?  
Débutant    1    2    3    4    5    Expert
4. Voici différentes fonctions qui se rapportent à Internet. Indiquez à quelle fréquence vous utilisez ces fonctions :
  - 4.1 Messagerie électronique  
Jamais    1    2    3    4    5    Plusieurs fois par jour
  - 4.2 Naviguer sur l'Internet  
Jamais    1    2    3    4    5    Plusieurs fois par jour
  - 4.3 Forums de discussion  
Jamais    1    2    3    4    5    Plusieurs fois par jour
  - 4.4 Bavardage  
Jamais    1    2    3    4    5    Plusieurs fois par jour
5. Êtes-vous familier avec le système d'exploitation *Windows*?  
Pas du tout    1    2    3    4    5    Très
6. Dans quelle mesure utilisez-vous les logiciels suivants :
  - 6.1 Microsoft Word  
Jamais    1    2    3    4    5    Très souvent
  - 6.2 Claris HomePage  
Jamais    1    2    3    4    5    Très souvent
  - 6.3 Netscape ou Microsoft Internet Explorer  
Jamais    1    2    3    4    5    Très souvent
  - 6.4 Microsoft Outlook  
Jamais    1    2    3    4    5    Très souvent
  - 6.5 Photoshop Illustrator  
Jamais    1    2    3    4    5    Très souvent
  - 6.6 GifBuilder  
Jamais    1    2    3    4    5    Très souvent
  - 6.7 Logiciels de messagerie électronique  
Jamais    1    2    3    4    5    Très souvent
  - 6.8 Logiciels de transfert de fichiers - FTP  
Jamais    1    2    3    4    5    Très souvent

## 7. Quels autres logiciels utilisez-vous?

## 8. Déterminez le comportement qui vous ressemble le plus lorsque vous utilisez un nouveau logiciel :

8.1 Je n'ose rien faire de peur de tout briser	1	2	3	4	5	Je fais des tentatives pour essayer de comprendre
8.2 Je ne consulte pas la documentation	1	2	3	4	5	Je consulte toute la documentation
8.3 Je préfère apprendre le logiciel seul	1	2	3	4	5	Je préfère me faire expliquer
8.4 Je me décourage facilement	1	2	3	4	5	Il m'en faut beaucoup pour me décourager

## 9. Dans quelle mesure utilisez-vous chacun des systèmes d'aide suivants lors de l'utilisation de logiciels :

9.1 Manuel	Jamais	1	2	3	4	5	Très souvent
9.2 Documentation imprimée	Jamais	1	2	3	4	5	Très souvent
9.3 Menu d'aide du logiciel	Jamais	1	2	3	4	5	Très souvent
9.4 Aide d'un expert	Jamais	1	2	3	4	5	Très souvent
9.5 Aide en ligne	Jamais	1	2	3	4	5	Très souvent
9.6 Forum de discussion technique	Jamais	1	2	3	4	5	Très souvent
9.7 Tutoriel du logiciel	Jamais	1	2	3	4	5	Très souvent
9.8 Support technique de la compagnie	Jamais	1	2	3	4	5	Très souvent

## Annexe 5

### Questionnaire 2 de l'expérience sur le guidage haptique dans une interface

#### Partie 1 – L'environnement en général

- 1.1 L'environnement est agréable à utiliser.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.2 Il est difficile de se retrouver dans l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.3 Après ce premier contact, je me sens habile à accomplir des tâches dans l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.4 Il est facile de comprendre comment naviguer dans l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.5 Je n'ai pas aimé naviguer dans les activités par le biais des réseaux mobiles.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.6 Je crois que le tableau de bord va m'être très utile.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord

#### Partie 2 – Les animations

- 2.1 Les explications d'Orex m'ont aidé à comprendre l'environnement  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 2.2 Les animations étaient amusantes  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 2.3 La présence des animations n'était pas appropriée  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 2.4 J'avais de la difficulté à suivre les explications d'Orex  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 2.5 Je n'écoutais pas vraiment les animations  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 2.6 Je lisais les explications des personnages animés  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord

### Partie 3 – Le guidage

- 3.1 J'ai apprécié le guidage.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.2 Les explications m'ont semblé difficiles à suivre avec le guidage.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.3 Le guidage m'a permis de mieux comprendre le fonctionnement de l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.4 Je retenais plus facilement les explications lorsqu'elles étaient accompagnées de guidage.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.5 Le guidage était trop contraignant.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.6 Le guidage durait trop longtemps  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.7 Le guidage était utile.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.8 J'ai préféré avoir du guidage plutôt que des documents explicatifs sur papier.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.9 La force du guidage était adéquate.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord

### Partie 4 – La documentation

- 4.1 J'ai consulté la documentation  
Pas du tout 1 2 3 4 5 Complètement
- 4.2 La documentation était trop longue.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 4.3 La documentation était utile  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord

4.4 La documentation m'a permis de mieux comprendre le fonctionnement de l'environnement.

Entièrement en désaccord    1    2    3    4    5    Entièrement d'accord

4.5 J'aurais aimé avoir de la documentation sur papier.

Entièrement en désaccord    1    2    3    4    5    Entièrement d'accord

4.6 Une seule lecture de la documentation était suffisante.

Entièrement en désaccord    1    2    3    4    5    Entièrement d'accord

4.7 Le langage utilisé dans la documentation n'était pas clair.

Entièrement en désaccord    1    2    3    4    5    Entièrement d'accord

4.8 Les explications de la documentation m'ont semblé difficiles à comprendre.

Entièrement en désaccord    1    2    3    4    5    Entièrement d'accord

## **Partie 5 – En conclusion**

5.1 En général, je dirais que ce premier contact avec l'environnement de formation a été

Plutôt négatif    1    2    3    4    5    Plutôt positif

## **Questions de l'entrevue individuelle**

1. Est-ce que le guidage a été une bonne expérience pour vous?
2. Auriez-vous aimé que le guidage soit autrement?
3. Avez-vous trouvé le guidage trop contraignant?
4. Qu'avez-vous pensé de la force du dispositif?

## Annexe 6

## Exemple du verbatim de l'observation individuelle des sujets

Time code	Contexte	Verbatim
00 11 15	G. Liens	Elle suit les explications Elle dépasse le menu sur lequel elle est guidée Elle parcourt finalement le menu de façon autonome.
00 11 25		"Ahhh! C'est bizarre" (ton amusé)
00 11 40		"Qu'est-ce qui se passe?"(elle n'a pas cliqué)
00 13 00		Elle ne comprend rien à l'explication sur la légende des liens proposée.
00 17 45		"C'est pas évident car quand elle va quelque part, à un moment, on a peur de la casser." "On tient pas la souris si fort que ça et puis si on la tient trop fort, elle ne fait pas exactement son travail parce que notre force c'est trop."
00 21 16	Guid. À Faire	Elle suit les explications Elle dépasse la cible et manque le menu proposé. Le guidage se passe bien. Elle suit bien physiquement le guidage.
00 23 33	Guid. Zoom	Elle suit les explications correctement Elle dépasse le menu Elle suit finalement le guidage Elle écoute bien les explications mais il semble que celles-ci soient trop rapides, ce qui affecte grandement la compréhension du sujet. Elle reste donc passive et attend que le guidage recommence.
00 37 42	Guid. Animer	Elle suit les explications Elle dépasse le menu Le guidage se passe bien Elle suit physiquement le guidage La force ne semble pas assez forte car elle glisse et se retrouve dans le menu voisin.
00 39 46	Guid. À Compl.	Le guidage se passe bien Elle dépasse le menu Elle a cependant compris les explications car elle conclut " Je n'ai rien complété donc rien ne se passe... c'est normal."

## Annexe 7

### Questionnaire 3 de l'expérience sur le guidage haptique dans une interface

#### Partie 1 – L'environnement en général

- 1.1 L'environnement était agréable à utiliser.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.2 J'ai navigué sans problème dans l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.3 L'environnement était propice à l'accomplissement rapide des tâches demandées dans le cours.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.4 L'environnement était complexe à utiliser.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.5 J'aimerais suivre d'autres cours dans cet environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.6 J'aurais eu besoin de plus d'explications pour bien m'initier à l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.7 J'ai utilisé le tableau de bord.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.8 J'ai aimé naviguer dans les activités par le biais des réseaux mobiles.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.9 J'ai pris beaucoup de temps à comprendre l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.10 J'avais peur de faire des erreurs de manipulation dans l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 1.11 J'ai modifié les réseaux mobiles de bulles.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord

## Partie 2 – Les animations

2.1 Les explications d'Orex ont été suffisantes pour une bonne compréhension de l'environnement.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

2.2 Les animations étaient amusantes

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

2.3 Les apparitions des animations étaient trop fréquentes.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

2.4 Je n'écoutais pas vraiment les explications d'Orex et Véga.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

2.5 Les rappels de Véga étaient utiles.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

2.6 Je lisais les explications d'Orex et Véga.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

2.7 J'aurais aimé pouvoir revoir les explications d'Orex.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

2.8 Les rappels de Véga ont supporté ma motivation pour le cours.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

2.9 J'ai apprécié les interventions d'Orex et Véga.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

2.10 J'ai fermé les animations.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

## Partie 3 – La documentation

3.1 J'ai consulté la documentation.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

3.2 La documentation était suffisamment détaillée.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

3.3 La documentation était utile.

Entièrement en désaccord	1	2	3	4	5	Entièrement d'accord
--------------------------	---	---	---	---	---	----------------------

- 3.4 Les informations fournies dans la documentation m'ont permis de mieux utiliser l'interface.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.5 J'ai imprimé la documentation.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.6 Dans la documentation, une seule lecture était suffisante pour répondre à mes questions.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.7 Le langage utilisé dans la documentation était complexe.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.8 J'ai eu de la difficulté à comprendre l'organisation de la documentation.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.9 Je n'ai pas trouvé réponses à mes questions dans la documentation.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 3.10 La documentation est nécessaire à mon apprentissage de l'interface.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord

#### **Partie 4 – Le guidage**

- 4.1 Le guidage m'a donné plus d'assurance dans l'apprentissage des fonctionnalités de l'interface.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 4.2 Le guidage a contribué à diminuer mon sentiment de désorientation dans l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 4.3 Le guidage m'a permis de comprendre plus rapidement la structure de l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 4.4 Il était facile de suivre le guidage dans l'environnement.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord
- 4.5 J'aimerais expérimenter encore le guidage.  
Entièrement en désaccord 1 2 3 4 5 Entièrement d'accord

## Partie 5 – Questions ouvertes

**Veillez s.v.p. remplir cette section au meilleur de vos connaissances**

1. De mémoire, pouvez-vous nommer les titres des menus offerts dans *ExploraGraph* et les fonctions offertes dans chacun de ces menus?
2. Quels problèmes techniques avez-vous rencontrés dans *ExploraGraph*?
3. Qu'avez-vous le plus aimé dans *ExploraGraph*?
4. Qu'avez-vous le moins aimé dans *ExploraGraph*?
5. Qu'est-ce qui vous a le plus aidé pour l'apprentissage de l'environnement *ExploraGraph*?
6. Quelles seraient vos suggestions pour améliorer l'environnement *ExploraGraph*?
7. Qu'avez-vous le plus aimé dans le cours *COM 3561*?
8. Qu'avez-vous le moins aimé dans le cours *COM 356* ?
9. Qu'est-ce qui vous a le plus aidé pour l'apprentissage des contenus du cours *COM 3561*?
10. Quelles seraient vos suggestions pour améliorer le cours *COM 3561*?