



L'accessibilité des interfaces informatiques riches pour les déficients visuels

Stéphanie Giraud

► **To cite this version:**

Stéphanie Giraud. L'accessibilité des interfaces informatiques riches pour les déficients visuels. Psychologie. Université Nice Sophia Antipolis, 2014. Français. <NNT : 2014NICE2035>. <tel-01154444>

HAL Id: tel-01154444

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01154444>

Submitted on 22 May 2015

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

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

Thèse pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université de Nice Sophia Antipolis

Discipline : PSYCHOLOGIE

L'accessibilité des interfaces informatiques riches pour les déficients visuels

Présentée et soutenue publiquement par : **Stéphanie Giraud**

Le 24 octobre 2014

Sous la direction de :
Dirk Steiner et Pierre Thérouanne

Composition du Jury :

Rapporteur : Aline Chevalier, Professeur, Université de Toulouse - Jean Jaurès

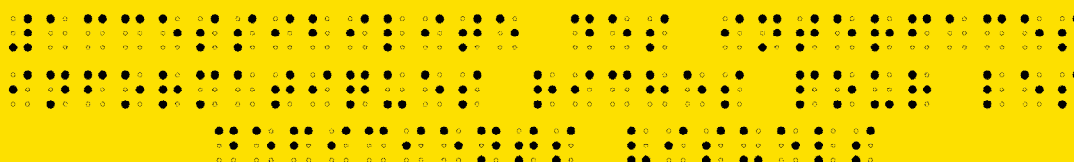
Rapporteur : Eric Brangier, Professeur, Université de Lorraine

Examineur : Jean-François Rouet, Directeur de recherche CNRS, Université de Poitiers

Examineur : Gérard Uzan, Ingénieur de recherche, Université Paris 8

Directeur de Thèse : Dirk Steiner, Professeur, Université de Nice Sophia Antipolis

Directeur de Thèse : Pierre Thérouanne, Maître de Conférences, Université de Nice Sophia Antipolis



« Je suis dans l'état d'un atome réduit à sa force d'inertie et qu'un globe immense animé par lui-même d'une vitesse prodigieuse invite à la collision ».

Voltaire¹

¹ Réponse de Voltaire à Diderot suite à son manuscrit « Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient » (1749)

Remerciements

A l'écoute, les yeux bandés, prête à arrêter le ballon de Torball lancé par une autre joueuse de l'autre côté du terrain de jeu, me disant que je devrais remercier François pour m'avoir fait découvrir ce beau sport, qui m'a permis de comprendre bien plus sur ce que vivent au quotidien les déficients visuels que je n'aurai pu apprendre dans ma pratique professionnelle. De ce fait, je remercie tous les joueurs de Torball, coéquipiers et adversaires, qui m'ont apporté beaucoup sans le savoir.

Me voilà ainsi ergonome en thèse à LudoTIC, merci à toute cette équipe pour m'avoir apporté les compétences pratiques en me formant sur le terrain dans divers projets plus passionnants les uns que les autres (quel beau souvenir dans ce sous-marin) mais également doctorante au LAPCOS soutenue par mes deux directeurs de Thèse, Dirk Steiner et Pierre Thérouanne, toujours de bon conseil, disponibles et qui ont su apaiser mes doutes et inquiétudes, oh combien nombreuses, tout au long de cette aventure, et quelle aventure !

Elle fut des plus enrichissantes et passionnantes que j'ai pu vivre dans ma vie professionnelle, certes, pas tous les jours facile, mais remplie de belles rencontres que ce soit au quotidien ou durant les expérimentations pour lesquelles j'ai parcouru la France de ville en ville. Je suis tellement reconnaissante à tous ces participants qui ont donné de leur temps et de leur disponibilité. Je ne remercierai jamais assez tous ceux qui m'ont accueilli dans leur demeure pour m'offrir le gîte et le couvert sans même me connaître. Vous avez tous été si généreux et bienveillants avec moi que je ne trouve pas de mots pour exprimer ma gratitude.

J'espère que le résultat de ces longues années de travail sera à la hauteur de toute la passion et du cœur que j'y ai mis. Une pensée particulière à Manu, Audrey et Cédric qui ne finiront jamais de m'impressionner par leur bienveillance et leur persévérance face aux obstacles.

Vous vous en rendez compte tout au long de la thèse, je n'écrirai jamais à la première personne du singulier car ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans l'aide, ni le soutien d'une équipe, qu'ils s'agissent des participants, de mes amis déficients visuels ou non (merci mille fois Ananda pour ces moments d'évasion), des doctorants et post-doctorants (et oui, je ne t'ai pas oublié Alex) qui m'ont encouragée dans les moments difficiles, de mes directeurs de thèse et toute l'équipe du LAPCOS, de Maria-Fernanda qui a toujours fait en sorte d'alléger ma tâche de représentante des doctorants autant qu'elle pouvait, sans oublier, ma famille et celle de mon conjoint qui m'ont apporté le réconfort dont j'avais besoin.

Un merci spécial aux membres du jury, Aline Chevalier, Eric Brangier, Jean-François Rouet et Gérard Uzan, d'avoir accepté d'évaluer ce travail de thèse en y apportant leurs expertises respectives.

Je finirai par remercier celui qui occupe une place importante dans ce travail, que ce soit pour le temps, la patience et l'énergie qu'il a consacré ainsi que le cœur et l'ardeur qu'il a mis à l'ouvrage : Romain qui m'a supportée (c'est le terme, malheureusement pour lui) tout au long de cette épreuve.

Un grand merci à tous !

Résumé

Les déficients visuels rencontrent de nombreuses difficultés lors de leur navigation web avec un lecteur d'écran, d'autant plus que les interfaces web deviennent de plus en plus riches de par leurs interactions dynamiques et leur densité et diversité informationnelles. C'est pourquoi cette thèse vise à comprendre les interactions de ces utilisateurs avec les interfaces riches dans le but de les améliorer. Pour cela, elle confronte 2 approches de l'accessibilité : l'approche courante dite « exhaustive » qui vise à assurer l'accessibilité normative - garantissant l'accès à l'information par l'application de normes - et l'approche dite « holistique » qui vise à assurer l'accessibilité normative mais également l'accessibilité effective - garantissant l'utilisabilité de l'interface - par la prise en compte du contexte d'utilisation des utilisateurs (difficultés, stratégies, besoins, etc.).

Les 2 premières études ont analysé l'activité des utilisateurs déficients visuels afin de connaître comment ils naviguent sur les interfaces riches avec un lecteur d'écran (partie observable) au moyen d'une observation armée et d'identifier leurs besoins et motifs (partie non observable) au moyen d'une enquête contextuelle. Suite à cette analyse, un modèle de la navigation web de ces utilisateurs a été élaboré. Ce modèle permet de concevoir une interface suivant l'approche holistique par la prise en compte de ces besoins, notamment celui de filtrage des informations non pertinentes et redondantes. Lors de 3 expériences, les utilisateurs déficients visuels ont réalisé des tâches dans 2 versions de sites web : une version suivant l'approche holistique qui donne l'accès directement au contenu associé à l'action réalisée par les utilisateurs et une version suivant l'approche exhaustive qui retranscrit exhaustivement toutes les informations présentes à l'écran. Les résultats montrent un bénéfice substantiel apporté par la version holistique concernant l'allègement de la charge cognitive et l'utilisabilité de l'interface selon les 3 critères : efficacité, efficacité et satisfaction. Ainsi, cette thèse fournit des arguments probants pour promouvoir l'approche holistique pour guider la conception d'interfaces et l'élaboration de solutions d'assistance à destination des utilisateurs de lecteur d'écran.

Mots-clés : ergonomie cognitive, handicap, accessibilité, cécité, navigation web, interfaces riches, charge cognitive, approche holistique

Abstract

Visually impaired people face many difficulties when navigating on the web with a screen reader, especially as web interfaces become increasingly rich because of their dynamic interactions and their informational density and diversity. This is why this thesis aims to understand the interactions of these users with rich interfaces in order to improve them. For this, it compares two approaches to accessibility: the current approach called "exhaustive" which aims to ensure normative accessibility - guaranteeing access to information through the application of standards - and the approach called "holistic" which aims to ensure both normative and effective accessibility - guaranteeing the usability of the interface - by taking into account the context of its use (difficulties, strategies, needs, etc.).

The first 2 studies analysed the activity of visually impaired users in order to know how they navigate on rich interfaces with a screen reader (observable part) in an experimental observation and identify their needs and motives (unobservable part) in a contextual inquiry. Following this analysis, a model of the web navigation of these users was elaborated. This model allows for designing interfaces following the holistic approach by taking into account these needs, especially the filtering of irrelevant and redundant information. In 3 experiments, visually impaired users performed tasks in two versions of websites: a version based on the holistic approach that gives access directly to content associated with the user's action and a version using the exhaustive approach that transcribes exhaustively all the information present on the screen. The results show substantial benefit provided by the holistic version as regards the cognitive load and the usability of the interface according to 3 criteria: effectiveness, efficiency and satisfaction. Thus, this thesis provides cogent arguments promoting the holistic approach in order to guide the design of interfaces and the development of assistance solutions for screen reader users.

Keywords: cognitive ergonomics, disability, accessibility, blindness, web navigation, rich interfaces, cognitive load, holistic approach

Table des matières

Introduction	1
Partie 1 : Théorie	6
1. Enjeux	6
1.1. Les enjeux de l'accessibilité numérique pour les personnes déficientes visuelles	6
1.2. Législation et standardisation	9
2. La déficience visuelle et les technologies de l'information et de la communication	13
2.1. Les différents troubles de la vue	14
2.2. Les interfaces d'assistance pour les déficients visuels	17
2.3. L'évolution des interfaces web	19
3. La charge cognitive	28
3.1. Les modèles de la mémoire et de l'attention	28
3.2. La théorie de la charge cognitive	35
3.3. L'influence du nombre, de la redondance et de la pertinence de l'information, et de l'expertise de l'individu sur la charge cognitive	38
3.4. L'évaluation de la charge cognitive	42
3.4.1. Les mesures physiologiques	42
3.4.2. Les mesures subjectives	43
3.4.3. Les mesures comportementales	45
4. Le fonctionnement cognitif des personnes aveugles	49
5. Une approche centrée sur l'utilisateur pour l'accessibilité des interfaces web	55
5.1. L'analyse de l'activité au cœur de l'approche centrée sur l'utilisateur	56
5.2. La recherche d'information dans les hypertextes	57
5.3. La navigation web des utilisateurs de lecteur d'écran déficients visuels	62
5.3.1. Les difficultés rencontrées par les utilisateurs de lecteur d'écran déficients visuels	62
5.3.2. Les stratégies de navigation web des utilisateurs de lecteur d'écran déficients visuels	66
5.3.3. Les besoins de navigation web des utilisateurs de lecteur d'écran déficients visuels	68
5.4. Les règles d'accessibilité et les recommandations ergonomiques	74
5.5. L'approche holistique de l'accessibilité des interfaces web	79
6. Problématique générale	81
Partie 2 : Etudes	86
7. L'observation armée	86
7.1. Hypothèse	86
7.2. Méthodologie	87
7.2.1. Matériel	87
7.2.2. Procédure	88
7.2.3. Participants	90
7.3. Résultats	91
7.3.1. Codage des vidéos	91
7.3.2. La navigation web des ULEDV	93
7.3.3. Les performances aux tâches	99
7.3.4. Chemins de navigation web	104
7.4. Discussion	115
8. L'enquête contextuelle	121
8.1. Méthodologie	122
8.1.1. Matériel	122
8.1.2. Procédure	122
8.1.3. Participants	123
8.2. Résultats	124
8.2.1. Codage des vidéos	124
8.2.2. Les types de tâches	126
8.2.3. Les catégories de méthodes d'utilisation de raccourcis	127

8.2.4. Les catégories de motifs	132
8.2.5. Les catégories de besoins.....	135
8.3. Discussion	136
9. Les études expérimentales.....	143
9.1. Problématique et hypothèses des expériences 1 et 2.....	143
9.2. Méthodologie des expériences 1 et 2	148
9.2.1. Matériel	148
9.2.2. Procédure	149
9.2.3. Participants.....	154
9.3. Résultats des expériences 1 et 2.....	154
9.3.1. Résultats de l'expérience 1	155
9.3.2. Résultats de l'expérience 2	159
9.4. Discussion des expériences 1 & 2.....	163
9.5. Problématique et hypothèses de l'expérience 3	169
9.6. Méthodologie de l'expérience 3	171
9.6.1. Matériel	171
9.6.2. Procédure	171
9.6.3. Participants.....	172
9.7. Résultats de l'expérience 3	172
9.7.1. Score au questionnaire NASA-RTLX	173
9.7.2. Pourcentage d'abandons	174
9.7.3. Pourcentage d'échecs	174
9.7.4. Temps d'exécution des tâches.....	174
9.7.5. Nombre de pages visitées	174
9.7.6. Distance de Levenshtein	175
9.7.7. Nombre de boucles	175
9.7.8. Taux de satisfaction.....	175
9.8. Discussion de l'expérience 3	175
Conclusion générale.....	179
Synthèse et perspectives de recherche	179
Acceptabilité de l'approche holistique et perspectives d'application	187
Références bibliographiques	195
Annexes de l'observation armée	204
Annexe 1. Questionnaire de sélection des participants	204
Annexe 2. Pré-questionnaire	206
Annexe 3. Questionnaire de satisfaction « System Usability Scale ».....	210
Annexe 4. Consignes des scénarios	211
Annexe 5. Codage des vidéos d'un des participants déficients visuels.....	212
Annexe 6. Résultats des participants au questionnaire de satisfaction.....	215
Annexes de l'enquête contextuelle	219
Annexe 7. Questionnaire de sélection des participants	219
Annexe 8. Pré-questionnaire	222
Annexe 9. Post-questionnaire	223
Annexe 10. Les consignes données et le discours tenu par l'enquêtrice.....	225
Annexe 11. Codage des vidéos d'un des participants	226
Annexes des 3 expériences	228
Annexe 12. Arborescence des 3 sites web des 3 expériences.....	228
Annexe 13. Questionnaire de sélection des participants	230
Annexe 14. Questionnaire d'évaluation de la charge cognitive « NASA-RTLX »	232
Annexe 15. Les consignes données et le discours tenu par l'expérimentatrice.....	234
Annexe 16. Chemin de navigation aboutissant à la réussite de la tâche selon l'arborescence du site web	240
Annexe 17. Tableau de contrebalancement des listes	244

Liste des figures

Figure 1. Les 4 grandes familles d'usages des interfaces riches selon Cavazza (2011).	22
Figure 2. Les familles de modules marchands enrichis selon Cavazza (2009).	23
Figure 3. Fonctionnement du protocole des pages web statiques (codées uniquement en HTML).	24
Figure 4. Fonctionnement du protocole des interfaces riches.	25
Figure 5. Modèle de la mémoire MNESIS (adapté d'Eustache et Desgranges, 2008).	29
Figure 6. Modèle de la MDT (adapté de Baddeley, 2003).	32
Figure 7. Les facteurs déterminant le niveau de charge cognitive (adapté de Kirschner, 2002).	37
Figure 8. Le cycle Evaluation-Sélection-Traitement (adapté de Rouet & Tricot, 1998).	60
Figure 9. Exemple de codage d'une partie d'une tâche.	93
Figure 10. Représentation des 4 zones de la page d'accueil du site web Facebook.	95
Figure 11. Représentation de la navigation des déficients visuels selon les zones des pages du site web Facebook pour la consultation des messages privés.	97
Figure 12. Chemins de navigation des participants sur le site web Fnac (tâche 1).	106
Figure 13. Chemins de navigation des participants sur le site web Fnac (tâche 2).	107
Figure 14. Chemins de navigation des participants sur le site web Fnac (tâche 3).	108
Figure 15. Chemins de navigation des participants sur le site web Facebook (tâche 1).	109
Figure 16. Chemins de navigation des participants sur le site web Facebook (tâche 2).	110
Figure 17. Chemins de navigation des participants sur le site web Facebook (tâche 3).	111
Figure 18. Chemins de navigation des participants sur le site web Facebook (tâche 4).	112
Figure 19. Chemins de navigation des participants sur le site web Facebook (tâche 5).	113
Figure 20. Exemple de codage d'une partie d'une tâche.	126
Figure 21. Le modèle de la navigation web des ULEDV : SOLIN.	138
Figure 22. Programme de présentation des sites web et d'enregistrement des données.	150
Figure 23. Démonstration d'un participant effectuant la procédure expérimentale (Expérience 1).	153
Figure 24. Proposition d'un filtrage des informations redondantes et non pertinentes grâce à une solution technique.	192

Liste des tableaux

Tableau 1. Différents troubles de la vue	16
Tableau 2. Exemples de correspondances entre les types de tâches lors de la navigation physique (modèle SOLID) et ceux lors de la navigation web.....	72
Tableau 3. Exemples de correspondances entre les besoins lors de la navigation physique (modèle SOLID) et ceux lors de la navigation web.	73
Tableau 4. Exemples de correspondances entre les motifs lors de la navigation physique (modèle SOLID) et ceux lors de la navigation web.	73
Tableau 5. Les critères ergonomiques de Bastien et Scapin (1993) et les 10 heuristiques de Nielsen (1994).....	75
Tableau 6. Exemples de problèmes rencontrés par les ULEDV résolus par les règles d'accessibilité WCAG 2.0, les critères de Bastien et Scapin (1993) et les heuristiques de Nielsen (1994).	76
Tableau 7. Pourcentage de participants en fonction de l'utilisation des 5 moyens de navigation observés.	94
Tableau 8. Moyenne et écart-type (entre parenthèses) des temps d'exécution pour chaque tâche (en secondes) des participants déficients visuels et voyants pour les sites web Fnac et Facebook.	101
Tableau 9. Moyenne et écart-type (entre parenthèses) du nombre d'opérations effectuées pour chaque tâche des participants déficients visuels et voyants pour les sites web Fnac et Facebook.	102
Tableau 10. Moyenne et écart-type (entre parenthèses) du nombre de pages visitées pour chaque tâche des participants déficients visuels et voyants pour les sites web Fnac et Facebook.	103
Tableau 11. Moyenne et écart-type (entre parenthèses) du taux de satisfaction des participants déficients visuels et voyants pour les sites web Fnac et Facebook.....	104
Tableau 12. Raccourcis utilisés par les participants en fonction des méthodes et des touches utilisées.	128
Tableau 13. Pourcentage des participants selon les méthodes utilisées.	132
Tableau 14. Les 5 catégories de motifs de navigation web.	133
Tableau 15. Pourcentage des participants utilisant les différentes technologies numériques selon les 5 catégories de motifs.	134
Tableau 16. Répartition des besoins exprimés par les participants en fonction des 5 catégories de besoins.	135
Tableau 17. Les 5 catégories de besoins et le pourcentage des participants ayant exprimé chacun des besoins.....	136
Tableau 18. Moyenne et écart-type (entre parenthèses) du score au questionnaire NASA-RTLX et des variables dépendantes relatives à la tâche principale, et coefficient de corrélation entre ces variables et le niveau d'expertise des participants.	157
Tableau 19. Moyenne, écart-type (entre parenthèses) et t de Student des variables dépendantes relatives à la tâche principale, et coefficient de corrélation entre ces variables et le niveau d'expertise des participants.	161
Tableau 20. Moyenne, écart-type (entre parenthèses) et t de Student du score au questionnaire NASA-RTLX, des variables dépendantes relatives à la tâche principale et du taux de satisfaction, et coefficient de corrélation entre ces variables et le niveau d'expertise des participants.	173
Tableau 21. Récapitulatif des résultats des 3 expériences comparant l'approche holistique à l'approche exhaustive pour chaque variable dépendante.	182
Tableau 22. Récapitulatif des résultats des 3 expériences portant sur le bénéfice apporté par l'approche holistique en fonction du niveau d'expertise des participants.	186

Liste des Annexes du CD

Annexes de l'observation armée

Annexe A. Caractéristiques des participants.....	1
Annexe B. Codage des vidéos des participants.....	5
Annexe C. Tableau complet des analyses statistiques.....	48
Annexe D. Stratégies de navigation des participants.....	49

Annexes de l'enquête contextuelle

Annexe E. Caractéristiques des participants.....	65
Annexe F. Codage des vidéos des participants.....	68
Annexe G. Réponses des participants au post-questionnaire.....	91

Annexes des 3 expériences

Annexe H. Caractéristiques des participants de l'expérience 1.....	96
Annexe I. Caractéristiques des participants de l'expérience 2.....	99
Annexe J. Tableaux complets des analyses statistiques de l'expérience 1.....	102
Annexe K. Tableaux complets des analyses statistiques de l'expérience 2.....	109
Annexe L. Caractéristiques des participants de l'expérience 3.....	118
Annexe M. Tableaux complets des analyses statistiques de l'expérience 3.....	121

Acronymes

AC	Acuité Visuelle
ACT-IF	Adaptive Control of Thought in Information Foraging
CoLiDeS	Comprehension based Linked model of Deliberate Search
CV	Champ Visuel
DMLA	Dégénérescence Maculaire Lié à l'Age
MERS	Mental Effort Rating Scale
MCT	Mémoire à Court Terme
MDT	Mémoire De Travail
MLT	Mémoire à Long Terme
MNESIS	Modèle NEO-Structural Inter-Systemique
NASA-TLX	NASA-Task Load index
NASA-RTLX	NASA-Raw Task Load index
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
RDA	Rich Desktop Application
RI	Recherche d'Information
RIA	Rich Internet Application
SAS	Supervisory Attentional System
SSM	Signaux Sonores Manqués
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
TR	Temps de Réaction
ULEDV	Utilisateur de Lecteur d'Ecran Déficiant Visuel
W3C	World Wide Web Consortium
WAI	Web Accessibility Initiative
WAI-ARIA	Web Accessibility Initiative - Accessible Rich Interactive Applications
WCAG	Web Content Accessibility Guidelines

Introduction

La problématique du handicap visuel intéresse de nombreuses disciplines, notamment l'histoire, la littérature, la psychologie, les neurosciences, l'anthropologie, la sociologie, la philosophie, l'informatique et l'ergonomie. Chaque discipline l'étudie de façon différente, apportant sa pierre à l'édifice de la connaissance sur la déficience visuelle. L'histoire rend compte d'une succession de représentations assez variées, du mendiant à celui de clairvoyant, du pauvre à celui de bouffon. La représentation de la cécité a toujours été mitigée, perçue soit comme un signe positif, soit comme un signe négatif selon l'origine sociale. L'histoire et la littérature sont liées, elles retracent notamment l'évolution sémantique du terme « aveugle ». D'un point de vue étymologique, le terme cécité vient du mot latin « caecus » qui veut dire aveugle. Il désigne « l'état d'une personne aveugle ». Jusque dans les années 1970-1980, le terme « aveugle » a été employé pour désigner celui qui n'a pas d'œil (du latin « ab oculis » = « sans œil ») (Weygand, 2003). A l'heure actuelle, l'usage populaire du terme « aveugle » a été remplacé par celui de « non-voyant » pour en atténuer la valeur négative. Cependant, cela ne fait pas l'unanimité auprès de la population déficiente visuelle car le terme de « non-voyant » souligne encore plus la notion de manque. La psychologie clinique tente d'aider et d'accompagner les déficients visuels de manière cohérente selon leur histoire et les difficultés éprouvées. La psychologie cognitive cherche à comprendre le fonctionnement cognitif des déficients visuels, tout comme les neurosciences qui étudient plus précisément leur fonctionnement cérébral. L'anthropologie aborde la déficience visuelle avec le point de vue de la représentation populaire et du sort accordé aux handicapés. Le cas de l'albinisme est notamment un sujet privilégié. La sociologie et la psychologie sociale traitent de l'impact des stéréotypes du handicap visuel. La philosophie s'intéresse au problème de la place des aveugles

dans la société et surtout au rapport entre cécité et connaissances. L'informatique tente d'offrir aux déficients visuels l'accès à une quantité innombrable d'informations et de possibilités d'interaction. L'ergonomie, quant à elle, se préoccupe des besoins des déficients visuels dans leur activité, que ce soit au travail ou dans la vie quotidienne. Dans une démarche centrée sur l'utilisateur, elle place la personne déficiente visuelle au centre de son analyse afin de comprendre son fonctionnement et comportement en interaction avec son environnement, ses besoins et les problèmes rencontrés pour y répondre de manière adaptée selon le contexte. Ainsi, ces disciplines permettent de mieux appréhender les différentes facettes du handicap visuel dont les enjeux sont primordiaux. En effet, la population déficiente visuelle s'élève à plus de 285 millions de personnes dans le monde (World Health Organisation, 2012) et à presque 2 millions en France (Sander, Bournot, Lelièvre, & Tallec, 2005), et ce nombre ne cesse de s'accroître. Il est même attendu que le nombre de personnes aveugles double d'ici l'an 2030 (Levesque, 2005). Or, ce public utilise plus fréquemment Internet que la moyenne des français et présente un taux d'équipement informatique plus important (Montagné, 2007). En effet, les technologies de l'information et de la communication (TIC) leur permettent de réaliser des activités jusqu'alors impossibles telles que faire leurs courses de manière autonome au travers de sites web d'achats en ligne. Elles sont alors devenues indispensables dans la vie quotidienne du plus grand nombre. C'est pourquoi, dans le cadre de cette thèse, nous avons porté notre attention sur les interactions des déficients visuels avec ces technologies, qui sont en perpétuelle évolution.

De nos jours, à peine exprimons-nous un besoin que la réponse se trouve déjà sur le Web. En effet, les sites web subissent une croissance fulgurante. En 1995, nous ne comptons que 19 000 sites web alors que nous en recensons plus de 996 millions en 2014 (Netcraft, 2014). Cette augmentation exponentielle s'explique en partie par le fait qu'aujourd'hui, concevoir un site web n'est plus une activité réservée aux ingénieurs informaticiens mais à tout un chacun qui possède quelques notions de base en informatique, grâce aux éditeurs qui génèrent des pages

web automatiquement tels que les éditeurs WYSIWYG (What You See Is What You Get) (Chevalier, 2013), ce qui aggrave les problèmes d'accessibilité rencontrés par les déficients visuels. Les interfaces web peuvent alors être une source d'exclusion si elles ne sont pas rendues accessibles. A l'heure actuelle, l'accessibilité normative est prédominante. Ce type d'accessibilité consiste à appliquer un ensemble de règles de conception pour permettre la bonne retranscription des informations visuelles en informations auditives par un lecteur d'écran qui lit oralement et séquentiellement toutes les informations présentes à l'écran². Cette accessibilité répond à la question d'existence (tel objet est-il présent ? Telle règle est-elle respectée ?). Cependant, elle n'offre pas pleinement satisfaction à la population déficiente visuelle. C'est pourquoi il est important de la distinguer de l'accessibilité effective. Cette dernière consiste à observer que les tâches ou activités prévues à travers la conception du logiciel ou site web puissent être effectivement réalisées et que l'utilisateur puisse obtenir un résultat ou atteindre son but. L'accessibilité des interfaces web dépend alors du respect de ces 2 types d'accessibilité afin de répondre aux besoins des utilisateurs déficients visuels, qui se sont transformés avec l'évolution des interfaces web. Cette évolution ne fait qu'aggraver le problème de l'accès à l'information. En effet, les interfaces web deviennent de plus en plus riches et offrent des possibilités d'interaction de plus en plus complexes avec des accessoires de plus en plus nombreux. La souris devient alors un matériel incontournable pour l'utilisation des interfaces web. L'utilisateur déficient visuel ne pouvant s'en servir se retrouve alors bloqué et ne peut plus se servir de certaines stratégies telles que la mémorisation de repères dans l'interface puisque la lecture séquentielle du lecteur d'écran est perturbée par ces nouvelles fonctionnalités dynamiques. Ainsi, les besoins en accessibilité dépassent aujourd'hui ceux du

² Le lecteur peu familier de l'usage d'un lecteur d'écran peut trouver des exemples de cet outil d'assistance en vidéo à l'adresse url suivante : <http://unice.fr/access-key/videos>

Web historique. Pour répondre à ces besoins, notre objectif est de comprendre les interactions entre les utilisateurs déficients visuels et ces interfaces informatiques riches lorsqu'ils utilisent un lecteur d'écran dans le but de faire émerger les besoins effectifs des déficients visuels qui serviront à l'élaboration d'une solution adaptée à leur utilisation pour une meilleure adaptation des interfaces riches.

Dans une approche ergonomique, nous souhaitons nous nourrir des différents domaines qui ont étudié le fonctionnement des déficients visuels, qu'il soit cognitif, comportemental ou en termes d'interactions avec l'environnement afin d'atteindre notre objectif. De ce fait, cette approche pluridisciplinaire s'appuie alors sur des théories et modèles de domaines variés : l'informatique qui permet de comprendre la difficulté à rendre les interfaces informatiques accessibles selon la technologie ou le langage informatique utilisé ; les sciences des TIC qui mettent en lumière les problèmes d'accessibilité rencontrés par les utilisateurs déficients visuels et tentent de trouver des solutions ; les neurosciences et la psychologie cognitive qui permettent de comprendre le fonctionnement cognitif des personnes aveugles ; et enfin, l'ergonomie qui fournit une approche centrée sur les utilisateurs à partir d'une analyse de l'activité de ces derniers et d'une méthodologie pour répondre à leurs besoins.

Dans la première partie de la thèse, nous discuterons des différents modèles et postulats qui alimentent notre théorie. Dans le chapitre 1, nous expliciterons clairement les enjeux de l'usage des TIC par les déficients visuels, en traitant des questions de législation et de standardisation. Dans le chapitre 2, nous décrirons les différents troubles de la vue des personnes déficientes visuelles et les recours aux TIC pour combler leur cécité en se focalisant sur les interfaces riches du Web. Dans le chapitre 3, nous présenterons les modèles de l'attention et de la mémoire dans le cadre de la charge cognitive, définirons cette dernière, discuterons de l'influence de la présentation d'information et de l'expertise de l'individu qu'elle subit et énumérerons les différents moyens de l'évaluer. Dans le chapitre 4, nous aborderons plus

précisément le fonctionnement cognitif des personnes aveugles. Dans le chapitre 5, nous définirons l'approche centrée sur l'utilisateur basée sur l'analyse de l'activité, expliquerons la recherche d'information dans les hypertextes et traiterons des difficultés rencontrées, des stratégies et des besoins des déficients visuels lors de leur navigation web en prônant l'approche holistique où l'accessibilité n'est autre que l'utilisabilité pour ces personnes. Dans le chapitre 6, nous présenterons notre problématique.

Dans la seconde partie de la thèse, nous listerons les différentes méthodes pour répondre à notre problématique en déterminant la méthodologie et en discutant les résultats de chacune : l'observation armée pour mieux comprendre comment naviguent les déficients visuels (chapitre 7), l'enquête contextuelle à partir de laquelle nous avons élaboré un modèle de la navigation web des utilisateurs déficients visuels (chapitre 8) et les expériences 1, 2 et 3 où nous proposons et mettons à l'épreuve une nouvelle façon de présenter l'information sur les interfaces web (chapitre 9). Pour finir, nous concluons sur nos résultats qui découleront sur une nouvelle approche de conception des interfaces web, et nous l'espérons, contribueront au développement de solutions informatiques d'assistance pour les déficients visuels.

Partie 1 : Théorie

1. Enjeux

1.1. Les enjeux de l'accessibilité numérique pour les personnes déficientes visuelles

A l'heure actuelle, collecter des données statistiques sur la population déficiente visuelle est difficile. Les associations et organismes ne sont pas enclins à donner accès à leur population, ne souhaitant pas la mettre en situation d'évaluation, souvent mal vécue. Ainsi, la dernière étude officielle recensant les déficients visuels en France date de 2005 (Sander et al., 2005). Selon cette étude, le nombre de déficients visuels s'élève à 1 700 000, valeur en constante croissance. L'allongement de la vie est notamment l'un des facteurs importants de l'accroissement de cette population, certes contrebalancé par les progrès thérapeutiques, tel que l'implant ou le laser. Plus précisément, 207 000 personnes (12%) sont des aveugles ou malvoyants profonds, parmi lesquels 61 000 sont aveugles complets ; 932 000 personnes (55%) sont malvoyants moyens et environ 560 000 personnes (33%) sont malvoyants légers (Sander et al., 2005). Les différentes études s'accordent sur la proportion d'un aveugle pour mille de la population française et 1,5% de malvoyants (Gendron, 2010).

Dans le développement de l'individu, on distingue 3 phases : une phase de développement et de formation, une phase de vie adulte, d'activité et de responsabilité et une phase de vieillissement et de retraite (Giraud, Uzan & Théroouanne, 2011). Ces phases sont constituées de diverses contraintes pour l'utilisabilité et l'acceptabilité des interfaces à destination des déficients visuels. Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes concentrés sur les adultes, actifs ou non, correspondants à la deuxième phase, les deux autres phases (développement/formation et vieillissement/retraite) nécessitant un approfondissement

spécifique. Pour un adulte professionnellement actif, les questions du handicap temporel (problème d'efficience) sont également à considérer au-delà des handicaps de blocage (problème d'efficacité) (Uzan, 2005). De plus, que ce soit au domicile ou au travail, les ordinateurs, et plus largement les équipements numériques, envahissent le quotidien des personnes et accroissent la nécessité de leur maîtrise. L'enquête réalisée par l'association HandiCapZero (2005) confirme cette croissance importante de l'utilisation d'Internet. Parmi les personnes déficientes visuelles possédant un équipement informatique, la proportion à avoir accès à Internet à domicile est passée de 9% en 1999 à 41% en 2000, puis à 71% en 2005. Pourtant, 81% des utilisateurs d'Internet déficients visuels ont jugé son accès difficile, voire impossible (HandiCapZero, 2005). En effet, pour la plupart des interfaces informatiques et tout particulièrement lors de l'utilisation d'interfaces web, nombreuses de ces informations sont difficilement accessibles à la population déficiente visuelle pour sept raisons (cf. Giraud et al., 2011, p. 282-283) : « *Premièrement, certaines de ces informations sont par nature difficiles à présenter de façon autre que visuelle. Deuxièmement, le développement d'un espace relatif recherché dans une logique multi-application, multitâche, multi-objet s'écarte chaque jour davantage d'une disposition absolue des éléments de l'écran qui jusqu'à présent facilitait la mémorisation des états et des procédures. En effet, les déficients visuels mémorisaient la localisation exacte de tel élément à tel moment et dans tel contexte. Aujourd'hui, ceci n'est quasiment plus possible. Troisièmement, l'actualisation permanente en ligne déstabilise également la possibilité de mémorisation et accroît l'incertitude de compatibilité entre les outils du déficient visuel et les contenus. Une incertitude temporelle dans l'usage des contenus et des fonctions est alors générée. Quatrièmement, les concepteurs utilisent des outils pouvant rendre les contenus partiellement ou totalement inaccessibles. Par exemple, la technologie Flash est fréquemment utilisée par les créateurs de sites web pour produire des contenus esthétiquement riches. Initialement, le Flash n'était pas recommandé pour la création de contenus accessibles,*

car opaque aux logiciels de lecture d'écran et utilisé, sans précaution particulière, pour accéder à des contenus essentiels. Or, l'ajout d'options d'accessibilité fait qu'il est désormais « compatible avec l'accessibilité », sous réserve qu'il soit employé de façon adéquate pour garantir l'accès aux informations essentielles ou que soit proposée une solution alternative utilisant une technologie pleinement accessible³. Cinquièmement, les concepteurs ne sont pas forcément formés et sensibilisés au respect des principes d'accessibilité. Par exemple, un décideur sur trois ne sait pas qu'une simple mise à jour des connaissances de leurs webmasters suffirait pour assurer l'accessibilité de leurs sites web (Smartlines Systemes, 2005). Sixièmement, les relations entre la maîtrise d'œuvre (développeurs, agences web) et la maîtrise d'ouvrage (éditeurs de logiciels, propriétaires de sites web), dans lesquelles les contenus sont en permanence négociés, et les exigences de délai marginalisent l'accessibilité des logiciels et des sites web. Septièmement, il existe beaucoup d'idées reçues, que ce soit sur l'aspect esthétique (un site accessible est moche et peu original), sur l'aspect technique (un site accessible est difficile à réaliser) ou sur l'aspect économique (un site accessible coûte cher et est peu rentable) ».

Il est vrai que l'obligation d'application de normes lors de la conception de sites web impacte sous forme de contraintes l'activité des développeurs et de leurs éditeurs web. Cependant, elle peut être intégrée dans des politiques commerciales ou institutionnelles d'image s'appuyant notamment sur l'amélioration du confort de navigation et des gains de temps résultant d'une meilleure utilisabilité pour les déficients visuels. Leporini et Paterno (2008) ont d'ailleurs mis en évidence les bénéfices apportés par l'application de 15 critères de conception⁴ pour faciliter l'utilisation et l'accessibilité du web en faveur des déficients visuels

³ tel que le confirment Loranger, Schade et Nielsen (2002).

⁴ Ces 15 critères de conception regroupent 4 ensembles de critères : Structure et organisation du site web, Lisibilité du contenu, Retours multimodaux et Cohérence de la présentation de l'information.

avec un gain moyen de 37% du temps de navigation. Ce chiffre monte jusqu'à 43% lorsque la population concerne uniquement les aveugles. De surcroît, le respect des principes ergonomiques généraux tels que les critères de Bastien et Scapin (1993) réduit le coût de la maintenance (séparation du fond et de la forme, par exemple), contredisant les préjugés sur le manque de rentabilité d'un site web accessible. Un exemple flagrant est celui de la société d'édition de sites web d'information en Australie « Fairfax » en 2003 et 2004, qui après avoir réaménagé leur site web pour être accessible, a économisé environ 700 000 euros par an en coûts de maintenance (Nevile, 2005). Ainsi, rendre accessible une interface informatique est un investissement largement gagnant qui augmente l'utilisabilité pour tous. Le rapport de la « Disability Rights Commission » (2004) a notamment mis en relief la réduction d'un tiers du temps d'achat sur un site accessible par rapport à un site non accessible, non seulement pour les utilisateurs aveugles mais également pour les voyants. Kern (2008) appuie ce postulat en soutenant l'idée qu'appliquer les règles d'accessibilité permet de rendre le site plus utilisable pour tous et non pas uniquement pour les personnes handicapées. Une législation et standardisation ont donc été mises en place pour faire respecter l'application de règles d'accessibilité.

1.2. Législation et standardisation⁵

En France, les lois et les décrets déclarent que les sites web doivent être accessibles pour tous, notamment par l'article 47 de la loi du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées. La France tend aujourd'hui de plus en plus vers la législation américaine où l'amendement de réhabilitation

⁵ Cette section reprend notre travail réalisé lors de l'ouvrage « l'ergonomie des objets et des environnements physiques et numériques » en 2011 (Giraud et al., 2011) mais réactualisé à la lumière des nouvelles réglementations et législations.

« Section 508 » impose que tous les sites fédéraux et les documents électroniques gouvernementaux soient disponibles pour les déficients visuels. Pour qu'une telle loi soit appliquée en France, des décrets d'applications et/ou des arrêtés doivent préciser la loi et des sanctions doivent être également prévues en cas de manquement. Néanmoins, l'application de la loi et des sanctions sont moins rigoureuses en France. Déjà en 2009, le décret 546 du 14 mai reporte un certain nombre de modalités d'application dans le référentiel technique des recommandations en faveur de l'accessibilité du web. Puis en 2013, le gouvernement se rend à l'évidence que le délai accordé jusqu'en 2015 par l'article 47 de la loi du 11 février 2005 ne sera pas tenu. Pour pallier ce retard, il propose des agendas d'accessibilité programmée qui permettent aux acteurs publics et privés, qui ne seraient pas en conformité avec les règles d'accessibilité au 1^{er} janvier 2015, de s'engager sur un calendrier précis et resserré de travaux d'accessibilité d'une durée de 3 à 9 ans selon l'institution concernée. En juin 2014, ce projet de loi est voté par l'Assemblée nationale. Cependant, le non-respect de l'échéance prévue au 1^{er} janvier 2015 en l'absence de dérogation validée, c'est-à-dire en l'absence d'ordonnance du gouvernement, reste passible de sanctions pénales. C'est pourquoi la prise de conscience envers le besoin d'accessibilité pour les personnes handicapées ne suffit plus. Les institutions françaises, qu'elles soient publiques ou privées, doivent dès aujourd'hui se mettre en action pour respecter la législation. Dans ce sens, la France a déjà ratifié le 18 février 2010 la convention relative aux droits des personnes handicapées adoptée par l'Assemblée Générale des Nations Unies en 2006. Ainsi, selon l'article 9 de cette convention, ces pays doivent prendre les mesures appropriées pour respecter les obligations d'accessibilité pour les personnes handicapées, afin d'assurer l'égalité d'accès à l'infrastructure des bâtiments, des transports mais aussi aux systèmes d'information et de communication. Par conséquent, plusieurs devoirs en faveur de l'accessibilité numérique découlent de cette convention. Quelques exemples sont énumérés ci-après :

- les informations destinées au grand public doivent être accessibles aux personnes handicapées, sans tarder et sans frais supplémentaires pour celles-ci, au moyen de technologies adaptées aux différents types de handicap ;
- les démarches officielles doivent être facilitées au moyen d'utilisation du braille et de tous les autres modes de communication du choix des personnes handicapées ;
- il sera demandé aux organismes privés de fournir des informations et des services sous forme accessible aux personnes handicapées (y compris lorsque ce sont des services en ligne) ;
- les médias seront encouragés à rendre leurs services accessibles aux personnes handicapées (y compris pour les informations en ligne).

Pour parvenir à l'accessibilité des interfaces informatiques, qu'elle soit exigée ou non par la législation, il est apparu nécessaire d'établir des standards de conception. Les recommandations du « Web Accessibility Initiative » (WAI) sont la tentative la plus aboutie d'établissement de tels standards. Le WAI a été mis en place en 1997 par le « World Wide Web Consortium » (W3C), organisme assurant la définition et l'amélioration des protocoles et des recommandations portant sur les outils et contenus du Web. Le WAI a conçu les spécifications techniques « Web Content Accessibility Guidelines » (WCAG) et a défini 3 niveaux de conformité d'un site web énonçant des recommandations avec une exigence progressive. Le premier niveau (A) liste les recommandations à respecter indispensablement pour assurer l'accès aux informations. Le deuxième niveau (AA) notifie les recommandations importantes à respecter pour éviter les difficultés d'accès aux informations. Le troisième niveau (AAA) concerne l'ajout de moyens optionnels augmentant le confort d'utilisation. Le respect de ces recommandations garantit l'accessibilité normative des sites web quel que soit le terminal. Par exemple, une image doit toujours être accompagnée d'un texte la décrivant (niveau A) ou

encore mieux, du texte est utilisé pour délivrer de l'information plutôt que des images de texte (niveau AA). Ces standards sont reconnus et pris en exemple dans le monde entier. En 2014, des organisations européennes de standardisation, CEN (comité européen de standardisation), Cenelec (comité européen pour la standardisation électrotechnique) et Etsi (institut européen des standards de télécommunications), ont développé pour la première fois une norme européenne sur les exigences d'accessibilité des TIC, conforme aux exigences d'accessibilité du W3C. Il s'agit de la norme EN 301 549, destinée notamment aux organismes publics afin de s'assurer que les produits et services des TIC sont accessibles directement ou à partir d'un ajout supplémentaire d'une interface d'assistance compatible, telle que l'oralisation du texte pour un public déficient visuel. Il est donc possible aujourd'hui d'obtenir une certification européenne mais pas encore une certification nationale. La labellisation constitue alors le meilleur moyen de mesurer la conformité d'un site web avec les recommandations du W3C. Le label de qualité « accessiWeb », co-développé par BrailleNet et publié en 2004 par l'Agence pour le Développement de l'Administration Electronique, propose une telle méthode d'évaluation. Cette agence gouvernementale a établi en outre le Référentiel Général d'Accessibilité pour les Administrations qui est destiné à définir, en France, les modalités techniques d'accessibilité des services en ligne de l'État, des collectivités territoriales et des établissements publics qui en dépendent, pour les trois canaux : le Web, la télévision et la téléphonie. Récemment, BrailleNet (2014) a mis au point une étude pour connaître l'impact de la loi de février 2005 concernant la conformité des services publics en ligne avec l'accessibilité. L'étude confirme le manque de respect des obligations légales d'affichage soulignant le fait que les sites web des administrations françaises sont peu accessibles.

En somme, le chantier français de l'accessibilité porte aussi bien sur les sites physiques que numériques. Dans ces 2 domaines, la volonté politique se confronte à différents intérêts (agence web, architectes, opérateurs de communication, opérateurs de transport, associations

de personnes handicapées, etc.) qui produisent des effets tantôt de renforcement des exigences d'accès, et donc de règles d'accessibilité, et tantôt d'affaiblissement produisant soit des processus dérogatifs, soit des limites dans les sanctions, voire des absences, ou des prolongations de délais. Ce ballotement entre l'amélioration de navigation physique ou numérique pour les déficients visuels, la réduction supposée de coûts et la flexibilité économique persistera tant que la relation triangulaire entre les caractéristiques des personnes, leur activité et leur environnement et contexte ne sera pas prise en compte, comme incite à le faire la classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (Organisation Mondiale de la Santé, 2001). Cette classification s'appuie sur le modèle de Fougeyrollas (1998) mettant en avant l'importance de la prise en compte des facteurs environnementaux physiques et sociaux. Néanmoins, l'ancienne classification de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) basée sur la classification de Wood (1980), et présentée dans le chapitre suivant, reste encore profondément dans les esprits.

2. La déficience visuelle et les technologies de l'information et de la communication

Selon la classification de Wood (1980), l'OMS a distingué 3 concepts : la déficience, l'incapacité et le handicap, qui se situent respectivement au niveau organique, fonctionnel et du désavantage social. Uzan (2005) définit très clairement et précisément ces 3 concepts :

- La déficience désigne la nature de l'atteinte, de la lésion ou de l'altération d'une structure ou fonction psychologique, physiologique ou anatomique, temporaire ou permanente. C'est l'aspect lésionnel du handicap.
- L'incapacité désigne les conséquences de la déficience par les limitations des capacités à exécuter une activité. C'est l'aspect fonctionnel du handicap.

- Le handicap à proprement parler désigne le désavantage social, c'est-à-dire les conséquences de l'incapacité dans l'accomplissement des activités sociales, en termes de difficultés, de dépendance physique, de mobilité réduite, de scolarité assistée ou impossible, de travail impossible ou devant être protégé ou spécialement aménagé, de dépendance économique ou d'intégration sociale difficile, partielle et limitée. C'est l'aspect situationnel du handicap.

Dans les contextes de la santé et de l'accessibilité, beaucoup d'acteurs ont intégré le modèle de Fougeyrollas (1998) sous l'angle des caractéristiques de la personne et du contexte environnemental mais peu, voire pas, les tâches et les activités. Plus précisément, les caractéristiques de la personne sont le plus souvent approchées avec le concept de Wood exposé précédemment. Ce concept constitue effectivement un bon moyen d'entrer dans notre problématique à condition de remettre les tâches et l'activité dans une seconde étape et de se concentrer sur le handicap à travers la notion de trouble. Cette notion nous paraît plus pertinente pour se concentrer sur le handicap situationnel tout en ne perdant pas de vue les origines éventuellement organiques ou fonctionnelles du handicap.

2.1. Les différents troubles de la vue

Les troubles visuels forment un continuum allant de la malvoyance légère à la cécité complète. Le champ visuel peut-être affecté partiellement ou totalement, voire par parties disjointes. Les causes peuvent être génétiques (anomalie de chromosomes ou de gènes) qu'elles soient héréditaires ou non ; congénitales dues à la présence d'une anomalie qui survient chez le fœtus ; périnatales dues à la présence d'une anomalie à la naissance par affection ou par accident ; toxiques (absorption de substances toxiques, chimiques ou radioactifs) ou encore traumatiques dues à des raisons accidentelles ou à des interventions médicales. La perte de vision peut être brutale ou progressive et peut arriver à n'importe quel âge malgré qu'un âge

avancé favorise la perte d'acuité visuelle, comme c'est le cas pour la cataracte. En effet, la cataracte constitue la première cause de cécité dans le monde, suivie de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) et du glaucome. Ces différents troubles allant de la malvoyance légère à des pathologies plus graves sont présentés dans le Tableau 1 ci-après en fonction des causes, de l'impact organique, de l'impact perceptif et des traitements existants.

Dans la Classification Internationale des Maladies (Organisation Mondiale de la Santé, 2008), l'OMS définit la cécité par une acuité visuelle (AV) du meilleur œil après correction ne dépassant pas $1/20^{\circ}$ de la normale ou un champ visuel (CV) inférieur à 10° , correspondant à la catégorie III. Au total, 5 catégories ont été établies pour représenter cette progression de la malvoyance légère à la cécité totale. La catégorie I est déterminée par une AV binoculaire corrigée inférieure à $3/10^{\circ}$ et supérieur ou égale à $1/10^{\circ}$ avec un CV d'au moins 20° . La catégorie II est définie par une AV binoculaire corrigée inférieure à $1/10^{\circ}$ et supérieure ou égale à $1/20^{\circ}$. La catégorie III est déterminée par une AV binoculaire corrigée inférieure à $1/20^{\circ}$ et supérieure ou égale à $1/50^{\circ}$ ou un CV inférieur entre 5° et 10° . La catégorie IV est définie par une AV binoculaire corrigée inférieure à $1/50^{\circ}$ avec perception lumineuse préservée ou un CV inférieur à 5° . La catégorie V est déterminée par une cécité sans perception lumineuse. La catégorie I et II englobent la malvoyance ou l'amblyopie alors que les catégories III, IV et V concernent la cécité.

Selon le type de trouble visuel, les interfaces comportent des composants appropriés (grossissement, renforcement des contrastes, inversion noir et blanc, point chaud de la souris à l'intersection de 2 barres verticale et horizontale, synthèse vocale et lecture orale de contenu d'écran ou de fichier, etc.) permettant de réduire le handicap, appelées des interfaces d'assistance.

Tableau 1. Différents troubles de la vue

Type du trouble	Causes	Impact organique	Impact perceptif	Traitements
Presbytie	Liées à l'âge	Sclérotisation du cristallin	Vision diminuée de près	Port de lunettes ou de lentilles Chirurgie correctrice par le laser ou pose d'implants
Myopie	Génétiques, environnementales	Le cristallin trop bombé ou l'œil trop long entraîne une focalisation de l'image en avant de la rétine	Vision floue de loin mais net de près	
Hypermétropie	Liées à l'âge, luxation du cristallin ou post-opératoires	Inadéquation de la puissance de l'œil par rapport à sa longueur entraînant une focalisation de l'image en arrière de la rétine	Fatigue visuelle de près mais bonne vision de loin	
Astigmatisme	Post-opératoires, traumatiques ou tendance héréditaire	Transformation de la forme sphérique du cristallin ou de la cornée en forme elliptique	Vision déformée et imprécise de loin comme de près Sensibilisation à la lumière	
Cataracte	Congénitales, liées à l'âge, traumatiques, toxiques ou diabétiques	Opacification partielle ou totale du cristallin	Perte progressive de la totalité du champ visuel	Pose d'implants intraoculaires
DMLA	Tabagisme, hypertension artérielle, surpoids mais surtout liées à l'âge	Atteinte sélective du centre de la rétine (détérioration de la macula)	Perte progressive de la vision centrale	Injection de produits et traitements médicamenteux uniquement pour la forme humide de la DMLA
Glaucome	Génétiques mais pas forcément héréditaires, post-opératoires ou sans causes précises identifiées	Augmentation de la pression oculaire qui détruit les fibres du nerf optique	Vision tubulaire, halo éblouissant et brouillard pouvant aboutir à la perte totale de la vue	Actions chirurgicales Injection de produits
Rétinite pigmentaire	Génétiques (mutation de gènes) héréditaires ou non	Lésions des bâtonnets et des cônes de la rétine sensibles à la lumière	Perte de la vision nocturne et perte progressive de la totalité du champ visuel	Incurable
Daltonisme	Génétiques, héréditaires, traumatiques, toxiques ou pathologiques (maladie de la rétine ou du nerf optique)	Lésion nerveuse, oculaire ou cérébrale ou allèle déficient sur le chromosome X	Difficultés pour différencier les couleurs	Port de verres correcteurs pour les couleurs
Nystagmus	Congénitales, pathologiques, traumatiques ou toxiques (drogues)	Perturbation de la coordination des muscles de l'œil entraînant des mouvements involontaires et saccadés de l'œil	Acuité visuelle et fixation oculaire perturbée pouvant aller jusqu'à la perte totale de la vue	Opération chirurgicale

2.2. Les interfaces d'assistance pour les déficients visuels

La (ou les) période(s) d'apparition et d'évolution des troubles de la vue sont des facteurs hétérogènes et importants qui orientent la préférence d'utilisation de certaines interfaces d'assistance. De ce fait, l'agrandissement ou la synthèse vocale sont privilégiés aux dépens du braille comme mode de communication avec la machine. Selon l'étude de Sander et al. (2005), seulement 1 % des déficients visuels ont appris le braille et l'Association Valentin Haüy estime les aveugles brailistes à environ 10% (Association Valentin Haüy, 2009). C'est pourquoi, l'interaction des déficients visuels avec ce type de technologies d'assistance ne sera pas étudiée dans le cadre de cette thèse. En outre, même si lorsqu'ils sont évalués accessibles selon les normes du WAI, les sites web ne sont pas nécessairement utilisables par des déficients visuels (Leuthold, Bargas-Avila, & Opwis, 2008). L'adaptation de ces interfaces est en effet plus orientée sur la possibilité de communiquer l'information contenue dans les pages web par des logiciels de lecture vocale d'écran (JAWS, NVDA, VoiceOver) ou des logiciels d'agrandissement (ZoomText). Sans parler des tâches de réservation ou d'achat que nous faisons habituellement dans un site web, les seules tâches de navigation ne peuvent pas être totalement réalisées. Petrie, Fraser et Neil (2004, cités par Leuthold et al., 2008) montrent que seulement 53 % des aveugles et 75% des malvoyants réussissent leurs tâches de navigation sur un site web. Même lorsqu'ils parviennent à réaliser leurs tâches sur un site web avec un lecteur d'écran, il leur faut en moyenne au minimum 5 fois plus de temps que des personnes voyantes (Sperandio, Uzan & Jobard, 2002). En effet, les lecteurs d'écran imposent une séquentialisation d'exploration de la page web qui ralentit la réalisation des tâches et qui peut, conjuguée à des « time out »⁶ de certains sites web ou à des processus d'authentification et plus largement de

⁶ Les « time out » sont des délais forcés d'utilisation qui peuvent arrêter les utilisateurs en cours de session, les obligeant à tout recommencer.

sécurité, provoquer un cercle vicieux d'allongement du temps, voire de blocage. A cela s'ajoute la peur de la lecture des informations inutiles ou redondantes présentes dans la page web qui rallongerait d'autant plus le temps de navigation, expliquant la sélection attentive, presque minutieuse, du contenu souhaité par les déficients visuels ne pouvant filtrer automatiquement ces informations comme le ferait une personne voyante. Néanmoins, les synthétiseurs vocaux possèdent des caractéristiques personnalisables permettant de rendre la lecture plus agréable. En effet, qu'ils veuillent ou non simuler la voix humaine, sa prosodie, ses effets oratoires, les synthétiseurs vocaux comportent des réglages de volume (« volume »), de débit verbal (« rate »), de timbre (« pitch ») et parfois d'emphase (« emphase ») de la voix. Certains aveugles habitués à ses synthétiseurs vocaux les utilisent avec des débits verbaux très élevés, voire avec le niveau le plus élevé que la machine le permet, qui les rendent incompréhensibles à tout un chacun. Cette technologie apporte une potentialité d'informations importante mais ne lit que le texte, qui plus est de manière plus lente que la lecture visuelle. Par défaut, le débit normal correspond au tiers de la vitesse d'une lecture oculaire silencieuse (Uzan, 2005). De surcroît, une fatigue auditive apparaît après une longue écoute, d'une part, à travers les écarts de prononciation dus à l'application trop rigide ou non contextualisée de règles francophones de parole, et d'autre part, à des rythmiques incorrectes dues au synthétiseur lui-même (par exemple, lorsqu'il n'est pas d'origine française ou européenne) ou à une confusion des sauts de ligne ou des sauts de paragraphes ou encore à des mauvais découpages de texte issus d'un logiciel de reconnaissance optique de caractère. Or, la prosodie est un facteur important dans la lecture puisqu'elle permet d'attirer l'attention sur les éléments importants et de faciliter l'identification et le traitement de ces éléments. Ainsi, les synthétiseurs vocaux respectant la prosodie du texte surchargent moins la mémoire des personnes aveugles. De plus, se plaçant au niveau syllabique, un mot incorrectement prononcé paraît plus incompréhensible que lorsqu'il est lu avec les yeux. Une erreur sur un caractère peut modifier toute la prononciation du mot. C'est pourquoi les

aveugles braille aiment utiliser leur terminal braille pour vérifier l'orthographe de certains mots (Giraud et al., 2011).

Au-delà des synthétiseurs vocaux et terminaux de braille qui ne prennent en compte que du texte, des travaux ont été réalisés pour appréhender des images par des aveugles de manière tactile (Bach-y-Rita & Kercel, 2003) et vocale, notamment avec le système « the vOICe » (Auvray & O'Regan, 2003). D'autres auteurs ont montré les bénéfices d'un navigateur web tactile qui permettait aux déficients visuels d'avoir accès à des propriétés graphiques telles que la mise en page du navigateur et à des objets 3D (Magnusson, Tan, & Yu, 2006). Cependant, la modalité tactile engendre une exploration complexe. C'est pourquoi l'oralisation est souvent préférée. Maurel (2004) a souligné l'importance de l'oralisation par rapport à la simple vocalisation. En effet, au-delà du texte, il tente de l'enrichir soit par la description explicite des marqueurs morpho-dispositionnels du texte, soit par l'interprétation des intentions architecturantes du rédacteur. En cela, il rejoint Uzan (1997) où cet auteur va jusqu'à préconiser la théâtralisation du texte (par exemple, avec des commentaires ou des pauses-reprises). Ainsi, de nombreux travaux existent afin de pallier les incapacités liées à la déficience visuelle en vue d'améliorer les technologies d'assistance pour que les déficients visuels puissent naviguer sur les interfaces web.

2.3. L'évolution des interfaces web

Dans le cadre de cette thèse, les interfaces informatiques sur lesquelles nous portons notre attention en particulier sont les interfaces web, et plus précisément les interfaces riches. Avant toute chose, il est donc utile de définir ce qu'est le Web. Le Web est un système hypertexte⁷ supporté par un réseau informatique mondial qui permet de transporter une quantité

⁷ Un hypertexte est un système d'information qui relie à partir de liens plusieurs documents ensemble ou plusieurs parties du document en lui-même permettant au lecteur de passer d'un texte à un autre.

considérable d'informations, appelé Internet. Le Web n'est alors qu'un des services d'Internet. Les interfaces permettant d'utiliser le Web sont source de problèmes pour les déficients visuels puisqu'elles sollicitent majoritairement la vision. C'est pourquoi le fondateur du Web « Tim Berners-Lee » avait préconisé de « *mettre le Web et ses services à la disposition de tous les individus, quel que soit leur matériel ou logiciel, leur infrastructure réseau, leur langue maternelle, leur culture, leur localisation géographique, ou leurs aptitudes physiques ou mentales* » (Dardailler, 2008). Autrement dit, il souhaitait que le Web soit accessible à tous.

L'accessibilité du Web est un sous-ensemble de l'accessibilité électronique qui se limite à des sites web et des applications web (Kern, 2008). L'accessibilité électronique permet de surmonter les obstacles techniques et les problèmes que les personnes handicapées rencontrent lorsqu'ils tentent d'interagir sur un pied d'égalité avec le reste de la société. Selon la norme ISO 92141-171 (2008), l'accessibilité peut être définie comme la facilité d'utilisation d'un produit, d'un service, de l'environnement ou de l'installation, peu importe les capacités des personnes. La tâche est d'autant plus ardue que les interfaces web évoluent sans cesse. En effet, ces interfaces étaient conçues auparavant de manière basique, sans originalité, se préoccupant uniquement du contenu de chaque page plutôt que de la mise en forme de celui-ci. Or, les interfaces d'aujourd'hui, pour une part croissante, se préoccupent davantage de cette mise en forme du site web et de son utilisation sans pour autant négliger le fond. Elles permettent une multitude d'Interactions Homme-Machine mais également d'Interactions Homme-Machine-Homme telle que discuter en ligne, échanger des documents en ligne ou travailler en ligne sur un même document, etc. Elles deviennent alors de plus en plus riches, que ce soit par leur interaction ou par leur contenu informationnel, d'où leur nom d'« interfaces riches ».

La définition d'une interface riche est un sujet de controverse. En effet, les interfaces riches ne sont pas apparues à un moment défini mais elles ont été élaborées au fur et à mesure de l'évolution du Web. Une interface riche offre une interaction orientée utilisateur et des

supports multimédia variés : contenus multimédia homogène, commandes personnalisées (fenêtre modale⁸, accordéon⁹, etc.) et standardisées (liste déroulante, zone de saisie de texte, etc.), animations, effets de transitions, supports d'interaction avancés à travers les accessoires web (glisser-déposer, etc.). La richesse de l'interface est également décrite par le concept de connexion ouverte différent d'une application du Web traditionnel où la réponse est attendue après l'envoi de l'information. Le partage d'informations (vidéos, sons, etc.) est réalisé en temps réel. La densité et la diversité informationnelles s'en trouvent affectées. En effet, une interface riche offre une quantité et une variété d'informations plus importantes qu'auparavant. L'interface et ses fonctionnalités sont créées en fonction de l'interaction avec l'utilisateur allant au-delà du clic traditionnel. Il s'agit alors d'une interface où l'utilisateur n'est plus un simple spectateur mais l'acteur principal qui interagit activement et dynamiquement avec l'interface. Les supports et services riches facilitent l'ajout de composants personnalisables avec différents contenus que l'utilisateur aura créé lui-même ou non. Ainsi, il devient co-rédacteur du contenu, voire co-concepteur de l'interface. L'asymétrie du Web traditionnel, où les développeurs créent les sites web et les utilisateurs consultent ces sites en simple visiteur, n'existe donc plus. A l'aspect de personnalisation peut s'ajouter l'aspect communautaire, où l'utilisateur peut partager avec plus d'interactivité tous les contenus qu'il a créés ou que d'autres utilisateurs ont créés et les commenter dans des forums, blogs, etc. Ces concepts trouvent alors un axe commun dans la volonté de changer les usages et de rendre la navigation toujours plus simple et intuitive. Cela commence par un simple glisser-déposer à la manipulation de contenu riche (élément 3D, par exemple) en passant par la présentation d'informations de type graphique ou document avec

⁸ Une fenêtre modale est une fenêtre qui prend le contrôle total du clavier et de l'écran bloquant toute activité de l'utilisateur. Pour que l'utilisateur puisse continuer sa tâche, il doit exécuter ce que lui demande cette fenêtre ou la fermer.

⁹ Un accordéon est un système d'optimisation d'affichage en pliant et dépliant du contenu à partir de la sélection du titre ou du lien surplombant le bloc de ce contenu.

une réelle interactivité. Cavazza (2011) classifie 4 grandes familles d'usages des interfaces riches. La Figure 1 ci-après représente ces 4 familles.

Panorama des usages des interfaces riches			
Rich Media	Rich Commerce	Application en ligne	Jeux et 3D
Bannière	Recherche visuelle	Rédaction / Edition	Casual Game
Vidéo	Recherche assistée	Création graphique / sonore	Social Game
Son	Zoom	Communication	MMO
Animation	Vue 360° et 3D	Visioconférence	Univers virtuel
Cartographie	Sélecteur	Tableau de bord	3D temps réel
Cinématique	Assistant au choix	Visualisation de données	
Univers immersif	Comparateur	Tutoriels	
Réalité augmentée	Démonstrateur	E-learning	
	Emulateur	V-learning	
	Configurateur		
	Mannequin virtuel		

Figure 1. Les 4 grandes familles d'usages des interfaces riches selon Cavazza (2011).

Ces 4 familles dépendent du type de contenus du site web. Par exemple, dans le cas d'un site web d'achat en ligne, appelé plus communément un site web e-commerce, les fonctionnalités des interfaces riches peuvent être catégorisées en 5 familles selon le type d'actions de l'utilisateur. Cavazza (2009) les nomme « les familles de modules de marchands enrichis » (cf. Figure 2). Les fonctionnalités de la famille « Accès » permettent d'amener l'internaute jusqu'à la fiche produit. Les fonctionnalités de la famille « aide au choix » permettent de guider l'utilisateur dans sa décision. Les fonctionnalités de la famille « Mise en scène » permettent d'afficher de manière dynamique les produits et services du site web. Les fonctionnalités de la famille « Manipulation » et « Transaction » permettent de réaliser l'achat d'un produit.

Accès	Aide au choix	Mise en scène	Manipulation	Transaction
Bannière	Sélecteur	Vue immersive	Démonstrateur	Moteur de
Carrousel	Assistant	Cinématique	Emulateur	réservation
Visualisateur	Comparateur	Vue 360°	Configurateur	
Recherche assistée		Vue 3D	Advergame	
		Démonstration vidéo		
		Vidéo interactive		
		Zoom		

Figure 2. Les familles de modules marchands enrichis selon Cavazza (2009).

Les interfaces riches peuvent être développées sur 2 types de plateformes : système d'exploitation¹⁰ directement pour « Rich Desktop Application » (RDA) et navigateur Internet pour « Rich Internet Applications » (RIA). Les RDA sont des applications possédant les mêmes fonctionnalités que celles du web tout en étant des applications exécutées directement par le système d'exploitation pour une meilleure expérience utilisateur. Ce type d'applications permet une plus grande liberté en s'affranchissant du navigateur web (stockage en local de données et fonctionnement en mode déconnecté). Par abus de langage, les interfaces riches sont généralement identifiées aux RIA. Ce sont principalement sur celles-ci que notre champ d'étude se focalisera puisqu'il porte sur les interfaces web. Les RIA offrent de nouvelles possibilités aux utilisateurs grâce aux nouvelles technologies utilisées. Ces interfaces riches sont créées à partir des différentes technologies mettant notamment en jeu les nouvelles technologies d'affichage et d'interaction dynamique telles qu'Ajax, JavaScript, Silverlight (Microsoft), Flash, Flex (Adobe), etc. Une navigation de page web statique en page web statique, codée uniquement en langage informatique HTML (HyperText Markup Language), n'existe pratiquement plus (cf. Figure 3). En effet, chaque action sur un bouton ne va pas forcément recharger toute la page. Elle peut avoir une influence sur une partie de la page ou charger une

¹⁰ Le système d'exploitation est le programme initial qui permet le fonctionnement de l'ordinateur et l'exécution des logiciels.

image à partir de la partie de la page web codée en un langage informatique permettant des fonctionnalités dynamiques (JavaScript, par exemple). L'activation de cette partie fait appel à un serveur¹¹ qui donne le code nécessaire afin d'afficher le nouveau contenu à insérer dans la page web sans la rafraîchir (cf. Figure 4).

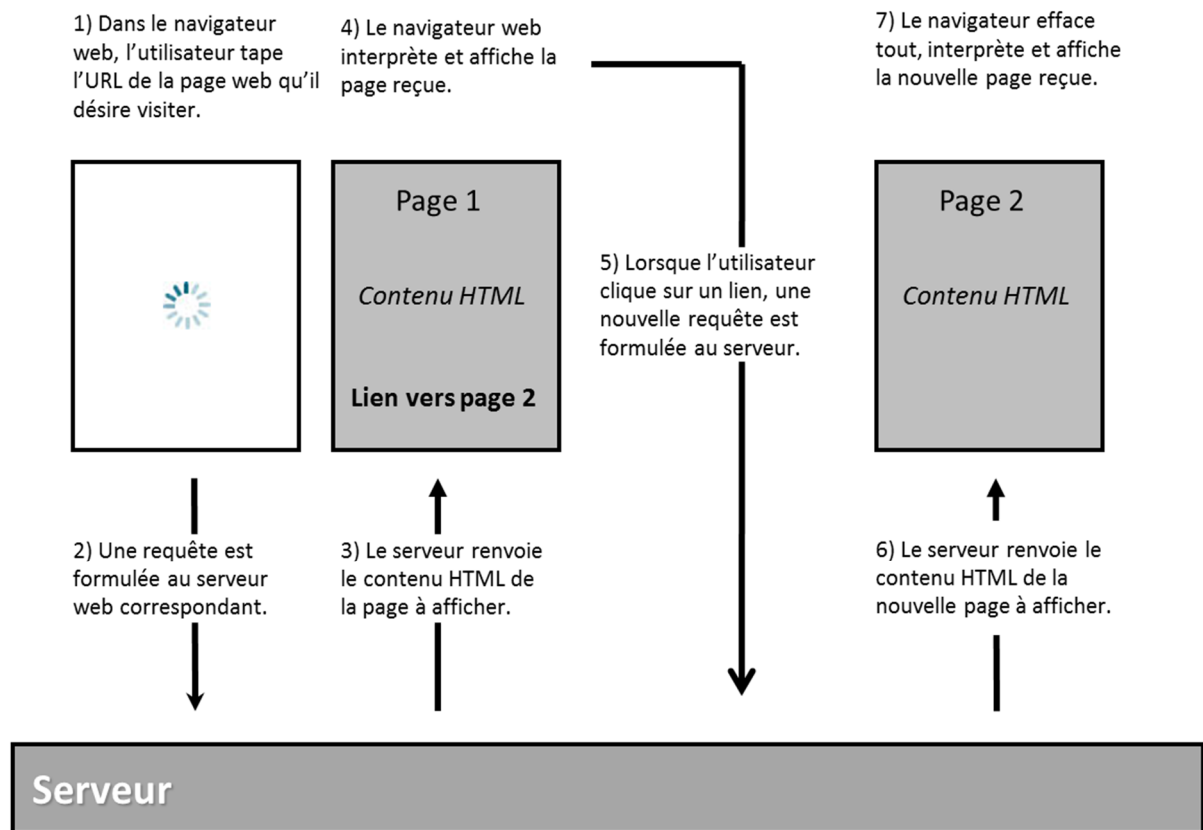


Figure 3. Fonctionnement du protocole des pages web statiques (codées uniquement en HTML).

¹¹ Un serveur est un ordinateur chargé de renvoyer du contenu à afficher sur les pages web.

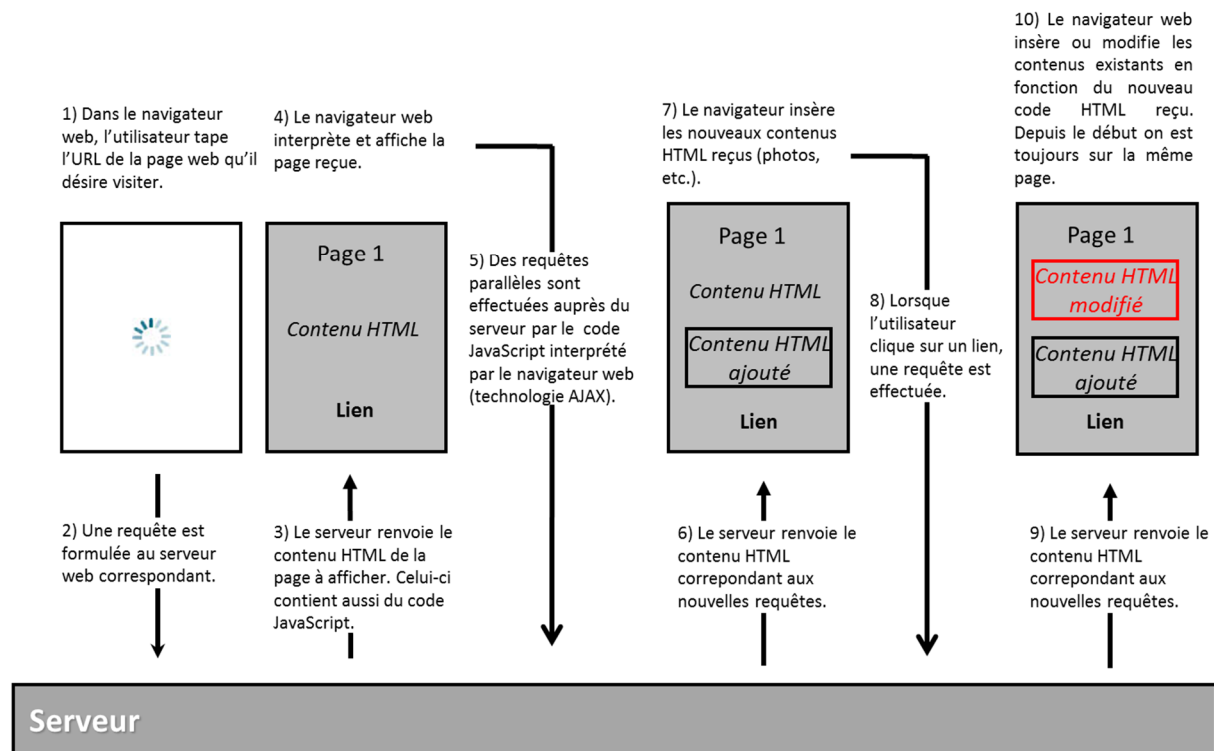


Figure 4. Fonctionnement du protocole des interfaces riches.

Cependant, le langage JavaScript ne se substitue pas au langage HTML mais le complète pour rendre l'interface plus dynamique. Ces nouvelles interfaces sont donc surchargées d'éléments interactifs et dynamiques, d'où la difficulté de naviguer avec un lecteur d'écran. En effet, la plupart des lecteurs d'écran ne se rendent pas compte des modifications du HTML. Les déficients visuels n'ont alors pas accès aux nouvelles informations ou aux informations modifiées des pages asynchrones ou dynamiques. Kern (2008) corrobore le fait que l'apparition des interfaces riches a engendré des problèmes d'accessibilité qui n'existaient pas autrefois. Les sites web ne sont alors plus stables et évoluent de façon perpétuelle. Les déficients visuels n'ont donc plus de repères comme auparavant lorsqu'ils pouvaient s'aider de leurs connaissances préalables du site web et mémoriser les éléments du site. Ils ne peuvent alors plus compenser ce manque avec leur mémoire comme le font les voyants avec leurs yeux en consultant l'environnement visuel quand ils le souhaitent. Buzzi, Buzzi, Leporini, Mori et

Penichet (2010) en montrant un exemple représentatif avec l'interface riche « Google docs »¹² où les principales fonctions, via le clavier, sont inaccessibles. Ces auteurs identifient un manque d'orientation efficace de l'interface (les principales fonctions, telles que créer ou accéder à un document, sont proposées après de nombreux éléments non pertinents), une impossibilité d'accéder aux différentes fonctionnalités, les libellés des éléments sont imprécis et confus pour la bonne compréhension de leur signification et de leur usage, le travail dans un document est pratiquement impossible via le clavier, les boîtes de dialogue de l'interface ne sont pas accessibles et bien d'autres problèmes liés à la mise en page de l'interface. Il est regrettable de constater que des outils, qui seraient des plus utiles aux personnes déficientes visuelles pour collaborer à distance, soient inaccessibles. Afin d'obtenir un équivalent de l'interface par rapport à un utilisateur voyant, il faudrait que l'utilisateur déficient visuel sache où il est dans l'interface et ce qu'il peut faire à partir de ce point. Par exemple, la page d'accueil de l'interface « Google Docs » pourrait être organisée en 4 groupes de fonctionnalités : les applications et les réglages, la recherche, la gestion de fichier et enfin, les documents et propriétés. D'autres travaux ont été réalisés relevant le même type de problèmes sur une interface riche telle que la page d'édition de « Wikipedia »¹³ (Senette, Buzzi, Buzzi, & Leporini, 2009). Pour résoudre ces problèmes, ces auteurs ont proposé de remplacer le langage informatique JavaScript par le langage XHTML¹⁴, de renommer les libellés de façon claire et de permettre d'activer le mode « formulaire »¹⁵ facilement et continuer à naviguer quand l'utilisateur le souhaite. Le résultat

¹² « Google Docs » est une suite bureautique créée par la société multinationale Google permettant de créer et modifier des documents en ligne en collaboration avec d'autres utilisateurs.

¹³ « Wikipedia » est une encyclopédie sur Internet éditée de manière collaborative par le tout-venant.

¹⁴ Le langage XHTML (eXtensible HyperText Markup Language) est le successeur du langage HTML pour créer des hypertextes plus simplement en permettant des fonctionnalités dynamiques.

¹⁵ Le mode « formulaire » est un mode spécifique à l'utilisation d'un lecteur d'écran qui permet d'écrire dans les champs de texte. Ainsi, lorsque l'utilisateur arrive sur un champ de texte, le mode « formulaire » s'active, pouvant empêcher la lecture de la suite de la page web dans le cas où l'utilisateur ne souhaite pas taper du texte et continuer son exploration de la page web.

est concluant puisque le taux de réussite à la tâche des participants aveugles passe de 47% à 80% avec l'interface modifiée.

Ainsi, la demande en accessibilité pour les personnes déficientes visuelles ne cesse de croître avec l'évolution des interfaces web. En effet, il s'agit aujourd'hui de rendre accessibles les applications web, les outils de gestion de contenus (système de gestion de configuration, blog, etc.), les formats propriétaires (Word, PDF), les animations riches et les vidéos, les supports de consultation autres que l'ordinateur classique tels que les téléphones mobiles ou la télévision numérique. Par exemple, il est impossible à l'heure actuelle de gérer tous les accessoires tels que les listes déroulantes ou les menus à différents niveaux arborescents. C'est pourquoi de nouvelles normes d'accessibilité sont apparues. En effet, le W3C a créé la spécification technique « Web Accessibility Initiative - Accessible Rich Interactive Applications » (WAI-ARIA), devenue officiellement en 2014 un standard du W3C. Ce nouveau standard crée un pont entre l'accessibilité des interfaces d'autrefois plus stables et celles d'aujourd'hui où les fonctionnalités dynamiques sont omniprésentes. Il explique comment ajouter de la sémantique et des métadonnées¹⁶ aux contenus du langage informatique HTML afin de rendre les contrôles d'interface et les contenus dynamiques plus accessibles. Autrement dit, il permet de définir une description des rôles, des états et des propriétés pour les accessoires personnalisés, de manière à ce qu'ils soient reconnaissables et utilisables par les utilisateurs de technologies d'assistance. Les états et propriétés des applications permettent de décrire des informations supplémentaires sur les accessoires web et de les mettre à la disposition des technologies d'assistance. Ainsi, l'utilisateur déficient visuel pourra interagir avec l'application. Néanmoins, ce standard permet l'accès à l'information assurant alors l'accessibilité normative mais ne garantissant pas forcément l'accessibilité effective, c'est-à-

¹⁶ Par exemple, le développeur précise dans le code informatique qu'il s'agit du titre de la page web.

dire permettre l'utilisation de l'interface avec un temps et une charge cognitive raisonnables pour l'individu. Pour satisfaire cette accessibilité, il faut alors comprendre ce qu'est et comment fonctionne la charge cognitive subie par les déficients visuels lors de leurs interactions avec les interfaces web.

3. La charge cognitive

La charge cognitive est un concept fonctionnel fréquemment invoqué pour expliquer de nombreux comportements particuliers relevés en laboratoire ou dans des situations naturelles par des psychologues et ergonomes. Pour être au clair avec cette notion, il faut avant toute chose connaître les modèles de la mémoire humaine et de l'attention.

3.1. Les modèles de la mémoire et de l'attention

Au vu des nombreux modèles de la mémoire humaine qui sont apparus au fil du temps (Atkinson & Shiffrin, 1968; Baddeley, 1993, 2003; Conway, Singer & Tagini, 2004; Schacter, 1999, 2003; Tulving, 2001, 2002), nous présenterons les modèles les plus communément admis. Pour cela, nous nous référons au Modèle NEo-Structural Inter-Systémique (MNESIS) d'Eustache et Desgranges (2008) qui intègre certains de ces modèles permettant d'expliquer un large spectre des données empiriques, qu'elles soient expérimentales ou cliniques, tout en intégrant des interactions nouvelles entre les systèmes. La Figure 5 présente ce modèle ci-dessous :

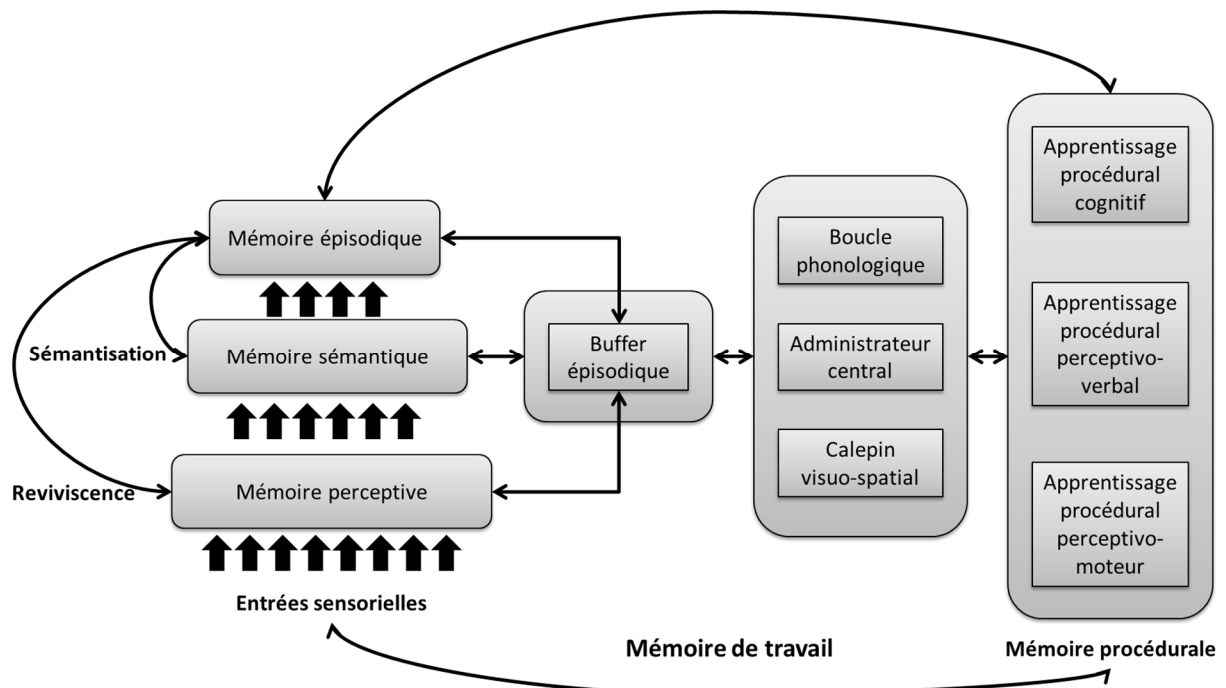


Figure 5. Modèle de la mémoire MNESIS (adapté d'Eustache et Desgranges, 2008).

Tout d'abord, les auteurs s'inspirent du modèle SPI (Sériel, Parallèle et Indépendant) de Tulving (2001, 2002) selon lequel les informations sont encodées de manière sérielle, stockées en parallèle dans les différents systèmes de la mémoire emboîtés, les systèmes de niveau supérieur étant dépendants de ceux de niveau inférieur, et récupérées de manière indépendante. Dans ce modèle, il existe 5 systèmes de mémoire : le système de représentations perceptives, la mémoire sémantique, la mémoire épisodique, la mémoire de travail (MDT) et la mémoire procédurale. Le système de représentations perceptives permet d'identifier les objets. La mémoire sémantique est la mémoire des faits et des concepts. Elle ne concerne pas seulement la compréhension et l'utilisation du langage (mémoire des mots et des concepts) mais aussi la mémoire des faits généraux du monde incluant d'autres sortes de stimulus (visuel, spatial, etc.). La mémoire épisodique est la mémoire des événements antérieurs liés au contexte dans lequel ils ont été vécus (encodage temporel et spatial). La MDT est un système de représentation avec une place bien moins spécifiée dans ce modèle. C'est pourquoi nous expliquerons

ultérieurement la notion de MDT selon le modèle de Baddeley (2003). La mémoire procédurale est un système d'action, permettant d'acquérir des habiletés progressivement avec l'entraînement en les stockant et les reconstruisant, qui n'est pas mis en relation avec les autres systèmes, ce qui constitue une limitation de ce modèle (Eustache, Faure & Desgranges, 2013). Dans le modèle d'Eustache et Desgranges (2008), à gauche de la Figure 5, le système de représentations perceptives est remplacé par la mémoire perceptive qui inclut les opérations conscientes comme inconscientes. Ainsi, les liens bidirectionnels entre la mémoire perceptuelle et épisodique sont possibles. Ces liens rétroactifs reflètent les phénomènes de reviviscence indispensables à la consolidation mnésique. Des liens rétroactifs existent également entre la mémoire épisodique et sémantique traduisant le processus de sémantisation des souvenirs. Puis, à droite de la Figure 5, la mémoire procédurale est intégrée dans cette organisation structuro-fonctionnelle, à l'inverse du modèle SPI. Le modèle d'Eustache et Desgranges (2008) présente alors la hiérarchie de cette mémoire procédurale allant du support d'habiletés motrices et perceptivo-motrices à celui d'habiletés perceptivo-cognitives et cognitives, ces systèmes interagissant avec les types de mémoires citées précédemment. Pour finir, au centre de la Figure 5, la mémoire à court terme (MCT) du modèle sériel d'Atkinson et Shiffrin (1968) a laissé place à la MDT. En effet, Shallice et Warrington (1970) ont mis en exergue qu'il n'y a pas d'altération de la mémoire à long terme (MLT) dans le cas d'une altération de la MCT, ce qui remet en cause l'organisation sérielle d'Atkinson et Shiffrin (1968). En outre, Baddeley et Hitch (1974) ont montré qu'en situation de double tâche, lors d'une augmentation de la charge mnésique verbale, le taux de réussite à une tâche visuo-spatiale n'était pas dégradé. Ainsi, une mémoire où un seul espace de stockage à capacité limitée existe ne permettait pas d'expliquer ces résultats. C'est pourquoi la notion de MCT a été supplantée par la notion de MDT de Baddeley (2003) composée d'un calepin visuo-spatial, d'une boucle phonologique, d'un buffer épisodique et d'un administrateur central. Le modèle d'Eustache et Desgranges (2008) offre

une place stratégique au buffer épisodique en le plaçant au carrefour entre les systèmes de la MDT et la MLT, clarifiant ainsi les liens entre ces 2 registres. La MDT est définie par Baddeley (1993) comme un système de mémoire transitoire qui a pour fonction d'encoder, d'activer, de stocker et de manipuler temporairement une petite quantité d'information pendant la réalisation de tâches cognitives diverses (de raisonnement, de compréhension, de résolution de problèmes, etc.). Le calepin visuo-spatial est un sous-système esclave possédant 2 sous-composants, un visuel et un spatial, qui stockent, maintiennent et manipulent les informations visuelles et spatiales (patterns, images). La boucle phonologique est un sous-système esclave stockant des informations verbales (nombres, mots). Elle est composée d'un stock phonologique et d'une boucle articulatoire. Le stock se limite à l'empan mnésique, soit la quantité d'informations conservée en mémoire après une seule présentation (5 à 8 éléments). L'écoute de la parole étant une perception vocale simulant la production vocale, la répétition subvocale est alors une boucle articulaire chargée de rafraîchir les informations contenues dans la boucle phonologique pour les y maintenir plus longtemps. Le buffer épisodique a été rajouté pour transformer le modèle initial en modèle multimodal (Baddeley, 2003). Ce sous-système esclave est une mémoire tampon intégrant des informations multimodales entre les sous-systèmes de la MDT mais également entre la MDT et la MLT de façon temporaire et limitée. L'administrateur central est un système de contrôle attentionnel à capacité limitée coordonnant les informations supportées par les 3 sous-systèmes esclaves et supervisant le transfert des informations en MLT. La Figure 6 représente le modèle de la MDT selon Baddeley (2003).

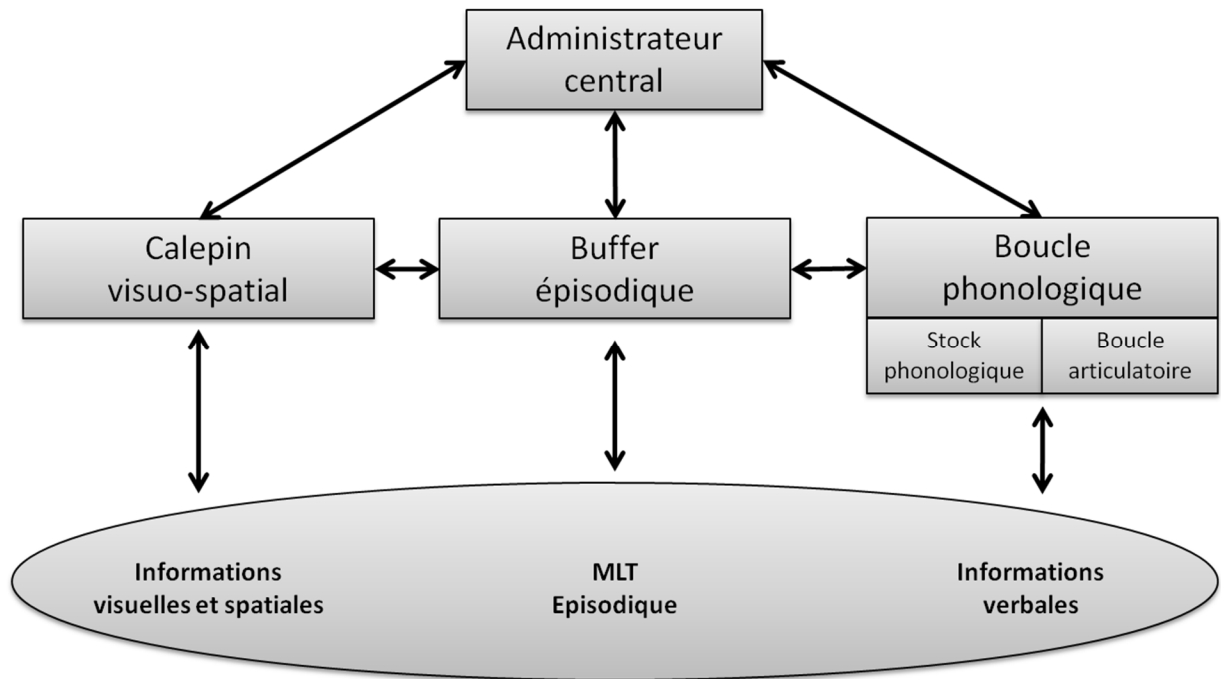


Figure 6. Modèle de la MDT (adapté de Baddeley, 2003).

Par analogie, les fonctions de l'administrateur central peuvent être associées à celles du système de supervision attentionnel (SAS) de Shallice (1988). En effet, le SAS est un super système cognitif chargé de surveillance et de contrôle pour le bon déroulement des fonctions exécutives. Il permet de faire face à de nouvelles situations en utilisant des connaissances antérieures, d'élaborer des stratégies, de planifier différentes étapes d'une action et d'inhiber les réponses non pertinentes. Il joue donc un rôle clé dans la MDT en permettant le maintien et la manipulation d'informations pendant la réalisation de tâches cognitives. Désormais, Baddeley (2012) rejoint le modèle de Logie (2011) en considérant l'administrateur central comme une collection de fonctions exécutives, c'est-à-dire des opérations cognitives stratégiques requises dans les situations nouvelles, qui incluent la flexibilité mentale, la mise à jour de l'information et l'inhibition des réponses dominantes. Miyake, Friedman, Emerson, Witzki et Howerter (2000) formalisent ces 3 fonctions exécutives et décrivent les liens qu'elles entretiennent avec la MDT. La flexibilité mentale (« Shifting ») est la capacité de passer d'un

ensemble cognitif à un autre à partir du désengagement d'une tâche qui est devenue non pertinente et l'engagement immédiat dans une autre tâche devenue pertinente. La mise à jour de l'information (« Updating ») est la capacité à encoder et maintenir une information pertinente pour une tâche donnée puis à l'effacer et à encoder de nouvelles informations plus pertinentes. Cette fonction est alors intimement liée à la MDT. L'inhibition des réponses dominantes (« Inhibition ») est la capacité d'inhiber délibérément les réponses dominantes ou automatiques. Sur la base d'analyses statistiques structurales, ces auteurs clarifient alors le fonctionnement de l'administrateur central en mettant en évidence que ces 3 fonctions sont dissociables tout en possédant des caractéristiques communes traduisant ainsi l'unité dans la diversité de ces fonctions.

Ces fonctions, considérées comme attentionnelles, mettent en lumière que l'attention est une composante de l'administrateur central nécessaire pour contrôler l'accès de l'information à la MDT (Camus, 2003). Baddeley (1993) précisait déjà que la MDT pouvait tout aussi bien se nommer l'attention de travail. Van Der Linden et Colette (2002) considèrent même que la MDT a pour fonction essentielle : le contrôle attentionnel de l'action. Ces différentes notions contribuent alors à l'effacement de la distinction entre la MDT et l'attention, et rejoignent le modèle de Cowan (1995, 1999) qui fournit un cadre intégré de la mémoire et de l'attention. Cet auteur considère la MDT comme une partie active de la MLT. Cette partie active, soit la mémoire activée, consiste en une soupe fragmentée des fonctions activées de toutes sortes (sensorielle, phonologique, orthographique, spatiale et sémantique) où le focus attentionnel contient un petit sous-ensemble d'éléments bien intégrés au nombre de 4 environ (entre 3 à 5 éléments) qu'il a sélectionné en MLT puis activés (Cowan, 2010). Dans son modèle révisé, Baddeley (2012) se rallie au concept de Cowan (1995, 1999). En effet, Baddeley (2012) est d'accord pour dire que la MDT active certaines zones du cerveau qui implique la MLT. Ainsi, Baddeley, qui revendiquait déjà la capacité limitée de la MDT dans ces précédents travaux, finit

par rejoindre totalement la métaphore énergétique qui considère l'attention comme une énergie mentale nécessaire pour la réalisation de la plupart des activités cognitives, tel que le décrivait déjà Kahneman (1973). Ce modèle fut le premier à utiliser cette métaphore afin de clarifier l'articulation entre l'attention et la MDT. Cet auteur considère l'attention comme un simple gestionnaire de priorité des informations susceptibles d'accéder à la MDT. Selon lui, l'attention est un ensemble de ressources attentionnelles en quantité limitée avec un régulateur gérant ces ressources. Ce régulateur, portant différents noms selon le modèle (administrateur central pour le modèle de Baddeley, SAS pour le modèle de Shallice), a pour rôle de déterminer les propriétés de traitement afin d'alimenter régulièrement la ou les tâche(s) d'une quantité satisfaisante de ressources attentionnelles. Ces ressources sont indispensables à la plupart des processus de traitement de l'information, notamment lors des étapes de sélection et d'exécution de la réponse réalisées par le régulateur. Ces ressources attentionnelles sont mobilisées de manière volontaire par un processus que Kahneman (1973) nomme l'effort mental. L'effort mental est équivalent à la quantité de ressources attentionnelles allouées pour réaliser une tâche. Du moment où le stock de ressources attentionnelles disponibles est suffisant, les individus sont capables de réaliser plusieurs tâches simultanément. Cependant, plus la tâche prioritaire mobilisera des ressources attentionnelles, moins de ressources seront disponibles pour la tâche secondaire. Les performances de l'individu diminueront alors pour cette tâche si la quantité de ressources attentionnelles restantes ne permettent pas de fournir l'effort mental nécessaire pour la réaliser. Ainsi, il est possible d'évaluer l'effort mental en situation de double tâche, correspondant à la charge cognitive selon la définition des psychologues et ergonomes présentée dans la section suivante. Le modèle de Kahneman (1973) combiné à celui de Baddeley (2003), postulant un système cognitif à capacité limitée, nous semblent alors les plus appropriés pour la compréhension et la mise en évaluation de la notion de charge cognitive.

3.2. La théorie de la charge cognitive

La charge cognitive correspond au niveau d'effort mental requis par un sujet pour la planification et la mise en œuvre d'une procédure de résolution d'une tâche donnée (Barouillet, 1996). Elle est donc fonction de difficultés de traitement imposées par la tâche et des ressources mentales que le sujet alloue à la réalisation de cette tâche (Tricot & Chanquoy, 1996). Sperandio (1980) rejoint cette définition avec celle de la charge de travail en ergonomie. Cette dernière se fonde sur la distinction entre la contrainte et l'astreinte. La contrainte (ou niveau d'exigence) regroupe à la fois les exigences de la tâche (les facteurs liés à la charge d'entrée tels : les moyens, la quantité et la qualité des informations à traiter) et les exigences de performance auxquelles sont soumis les opérateurs (résultats attendus, qualité à obtenir, délai à respecter). L'astreinte représente le degré de mobilisation, ou l'effort de l'opérateur, en référence à l'activité réelle. Elle sera donc fonction de caractéristiques propres aux individus comme la compétence, l'expertise, la motivation, etc. (Cuvelier, 2012). Sperandio (1980) ne prend en compte que l'astreinte dans le cas de la charge cognitive. De surcroît, selon Sweller (2010), la charge cognitive se décompose en 3 types de charges. Premièrement, la charge intrinsèque correspond à la complexité intrinsèque de l'information, c'est-à-dire à la difficulté de la tâche par rapport au nombre total d'éléments et à leur interactivité mais aussi par rapport au degré de connaissances préalables de l'individu. Deuxièmement, la charge inutile ou extrinsèque correspond aux procédures instructionnelles, c'est-à-dire à la manière de présenter l'information. Troisièmement, la charge utile ou pertinente correspond à l'automatisation des schémas pertinents par l'intégration de connaissances. Un schéma est l'ensemble de plusieurs connaissances considéré comme une unité. Par exemple, les lettres s, o, l, e, i et l forme le schéma « soleil ». La charge intrinsèque et la charge extrinsèque sont déterminées par la combinaison des caractéristiques de l'utilisateur et des caractéristiques de la tâche alors que la dernière charge est uniquement déterminée par les caractéristiques de l'utilisateur. Cette théorie

de la charge cognitive est en accord avec les modèles d'architectures classiques du système cognitif précédemment expliqués, soit une architecture composée d'une MDT à capacité limitée dans laquelle ont lieu tous les apprentissages et les pensées conscientes et une mémoire à long terme à capacité quasi-illimitée, possédant entre autres un nombre important de schémas automatisés (Tricot, 1998). Le modèle de Kirschner (2002) se base également sur ce postulat. Selon cet auteur, la charge cognitive est affectée par la nature du matériel (correspondant à la charge intrinsèque) et par la manière de présenter le matériel (correspondant à la charge extrinsèque et pertinente). La charge cognitive dépend alors des caractéristiques de l'individu (expertise), de la tâche (complexité de celle-ci) et de l'environnement (bruit) ainsi que des interactions entre ces facteurs causaux telles que présentées dans la Figure 7. Les facteurs d'évaluation de la charge cognitive incluent la charge mentale, l'effort mental et la performance. La charge mentale est la partie de la charge cognitive imposée uniquement par la tâche et l'environnement. L'effort mental réfère à la capacité cognitive actuelle allouée à la tâche. Cet effort mental varie en fonction de 2 types de traitement : automatique ou contrôlé. Le traitement automatique est irrépressible, exécuté rapidement sans intervention de la conscience, permet d'être réalisé en parallèle de d'autres traitements et ne nécessite pas la consommation de ressources cognitives. Le traitement contrôlé est un traitement sériel exécuté relativement lentement, contrôlé consciemment que ce soit pour son déclenchement, son exécution ou son interruption et nécessite la consommation de ressources cognitives (Schneider & Shiffrin, 1977). Ces traitements dépendent de l'expertise comme nous l'expliquerons plus précisément dans la section suivante. La performance reflète la charge mentale, l'effort mental et les facteurs causaux mentionnés précédemment. La Figure 7 ci-dessous présente les facteurs déterminant le niveau de la charge cognitive selon Kirschner (2002).

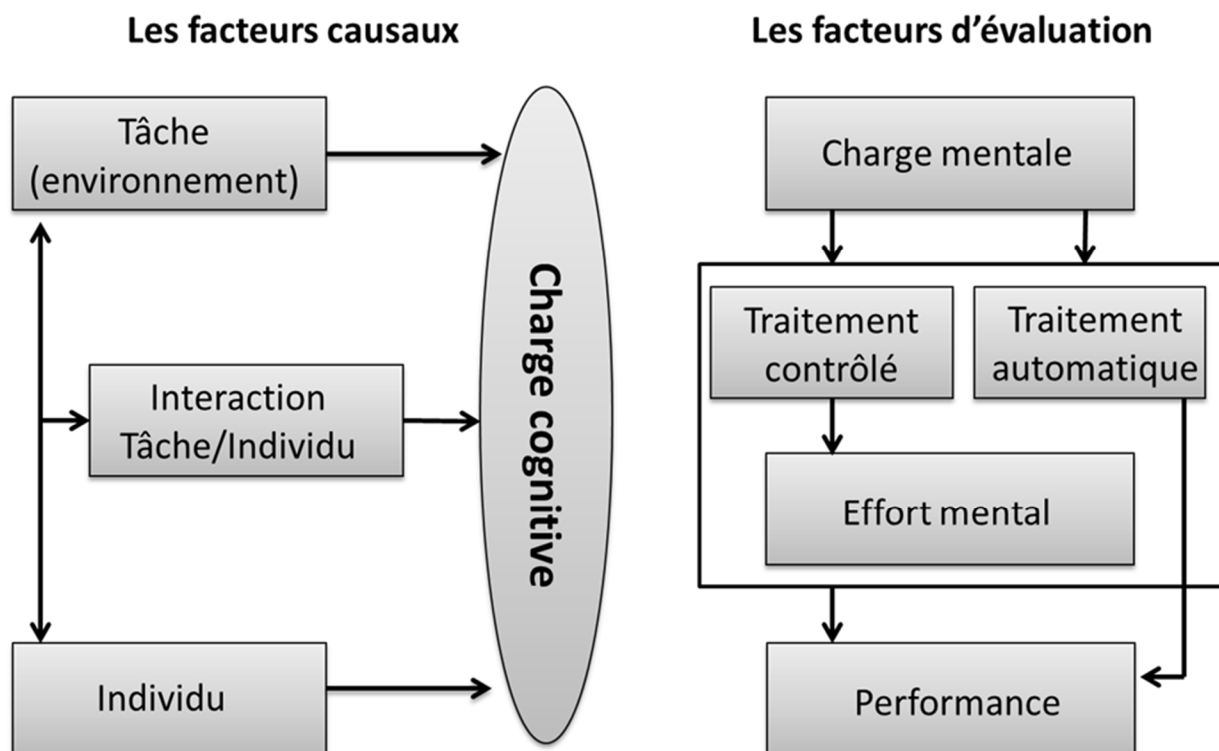


Figure 7. Les facteurs déterminant le niveau de charge cognitive (adapté de Kirschner, 2002).

Dans cette thèse, nous adopterons ainsi la conception de la charge cognitive selon laquelle la charge cognitive correspond à la quantité de ressources cognitives allouées à la réalisation d'une tâche par l'individu, ce que Kirschner (2002) et Kahneman (1973) appellent l'effort mental ou ce que Sperandio (1980) nomme l'astreinte, et selon laquelle elle dépend des 3 facteurs causaux : tâche, individu et interaction tâche/individu (Kirschner, 2002). Dans la section suivante, nous discuterons de l'influence de ces facteurs sur la charge cognitive, en particulier l'influence du nombre, de la redondance et de la pertinence de l'information ainsi que l'expertise de l'individu.

3.3. L'influence du nombre, de la redondance et de la pertinence de l'information, et de l'expertise de l'individu sur la charge cognitive

La charge cognitive peut subir différents types d'effets tels que l'effet du nombre d'informations à traiter, de redondance telle que l'ont définie Le Bohec et Jamet (2005)¹⁷ ou de la pertinence¹⁸ de l'information à traiter avec la tâche. Bastien (1997) a montré que le nombre d'informations à traiter augmentait la charge cognitive, et plus précisément la charge intrinsèque. En effet, lorsque le nombre d'informations est réduit, la charge intrinsèque est plus faible. Dans ce sens, Sperandio (1980) avait déjà constaté que les opérateurs utilisent des stratégies pour diminuer le nombre d'informations à traiter afin d'alléger leur charge cognitive. De plus, lors d'une navigation dans un hypertexte, DeStefano et LeFevre (2007) ont constaté de meilleures performances quand le nombre de liens étaient réduits. Selon ces auteurs, le traitement de chaque lien requiert des ressources cognitives. Ainsi, le nombre important de liens complique la prise de décision car à chaque nouveau lien s'ajoute une prise de décision supplémentaire augmentant la charge cognitive.

En outre, Sweller (2010) a montré que le traitement d'informations redondantes et non pertinentes avec l'objectif augmente massivement la charge cognitive en MDT. En effet, la redondance et la non-pertinence des informations nécessitent des ressources en mémoire, notamment pour sélectionner sur quelles informations il convient de porter son attention, pour fixer jusqu'où établir des interconnexions entre les éléments d'informations sélectionnés et pour fixer jusqu'où intégrer ces éléments sélectionnés à la base de connaissances préalables contenues en MLT. Ces différentes étapes alourdissent alors la charge cognitive, notamment la

¹⁷ La redondance d'une information renvoie soit à son caractère superflu, soit à sa duplication (Le Bohec & Jamet, 2005).

¹⁸ Une entité est pertinente si elle fournit les informations nécessaires pour répondre à la requête de l'utilisateur (Soergel, 1994) et si elle est facilement exploitable (utilisable avec un effort minimum) par l'utilisateur (Wilson, Sperber, Kant, & Foucault, 1979).

charge extrinsèque. Le Bohec et al. (2005) ont également mis en évidence que les informations superflues peuvent activer inutilement des schémas non pertinents en MLT (phase d'intégration), ce qui peut favoriser de mauvaises décisions quant au choix des éléments essentiels à traiter lors de la phase de sélection dans des hypertextes. Rouet et Tricot (1998) rejoignent ces auteurs sur ce point. En effet, dans leur modèle « Evaluation, Sélection et Traitement », ils rapportent que si l'estimation de la pertinence des informations des hypertextes a été dégradée, cela entraîne un mauvais choix de la catégorie-cible. Plusieurs travaux ont montré qu'une surcharge en MDT était causée par le nombre important d'informations, d'autant plus si elles ne sont pas pertinentes avec la tâche (Dinet & Rouet, 2002; Rouet, 2003; Rouet et al., 1998), entraînant la dégradation et la désactivation momentanée de la représentation du but (Dinet et al., 2002). De ce fait, des ressources cognitives supplémentaires seront nécessaires pour réactiver cette représentation, alourdissant davantage la charge cognitive. C'est pourquoi ces auteurs recommandent que tout système doit faciliter les sélections ainsi que le traitement du contenu tel que spécifié dans les critères de Bastien et Scapin (1993), notamment avec les critères de guidage et de charge de travail. Van Oostendorp et Juvina (2007) ont justement proposé une méthode pour aider la prise de décision. A partir d'un algorithme d'analyse sémantique latente, des suggestions sont proposées à l'utilisateur. Cet algorithme calcule quels sont les liens les plus pertinents par rapport au but de l'utilisateur selon la fréquence, la similarité et la correspondance littérale des mots dans la page web. Ils ont alors constaté que les personnes avec des capacités spatiales faibles ont des performances similaires à ceux avec des capacités spatiales fortes, alors qu'ils avaient des performances plus faibles dans la version contrôle où la méthode n'était pas appliquée. De surcroît, Ignacio Madrid, Van Oostendorp et Puerta Melguizo (2009) ont démontré que lorsque l'attention du lecteur d'un hypertexte est amenée à se focaliser uniquement sur les liens pertinents, la charge cognitive liée au processus de prise de décision est basse. Ces résultats sont cohérents avec le modèle CoLiDeS

(Comprehension based Linked model of Deliberate Search) de Kitajima, Blackmon et Polson (2000) qui explique la perte de l'utilisateur dans les pages web et de l'abandon de son activité, notamment par le fait que des éléments non pertinents détournent et accaparent l'attention de l'utilisateur, monopolisant ainsi les ressources cognitives nécessaires pour une prise de décision adéquate. En somme, la phase de sélection est donc une phase nécessitant la mobilisation d'une quantité de ressources cognitives plus ou moins conséquente selon la pertinence de l'information, qui serait importante à considérer pour permettre un allègement de la charge cognitive.

DeStefano et al. (2007) suggèrent que lors de cette phase, l'influence sur la charge cognitive est différente de celle lors de la phase de lecture. En effet, la charge cognitive peut être influencée directement lors de la phase de sélection ou indirectement lors de la phase de lecture. L'influence directe apparaît lors de la sélection du lien où l'utilisateur doit décider s'il clique sur le lien ou pas, nécessitant des ressources cognitives pour cette prise de décision. L'influence indirecte apparaît pendant la lecture. Lorsque le lien choisi n'est pas ou peu relié sémantiquement avec le texte, cela interrompt le processus de compréhension qui a besoin de ressources cognitives supplémentaires. Ainsi, la quantité trop importante d'informations à traiter, pertinentes ou non, influence directement la charge qui altère la qualité de cette prise de décision mais également indirectement en altérant le traitement du contenu. En particulier, certaines informations pertinentes ne sont pas traitées et certaines informations non pertinentes sont traitées. Les résultats des travaux de Chevalier et Kicka (2006) le prouvent notamment à partir de l'expertise des utilisateurs de sites web. En effet, les utilisateurs novices rappelaient davantage d'éléments non pertinents que pertinents par rapport aux utilisateurs experts lors de la navigation sur des sites web, d'autant plus lorsque le site web s'éloignait du respect des critères ergonomiques de Bastien, Scapin et Leulier (1999) et de Nielsen (2000). Ainsi, l'expertise est un facteur primordial à prendre compte dans le niveau de la charge cognitive tel

que le définit Kirschner (2002) dans son modèle (cf. section 3.2). La notion d'expertise est difficile à définir. Néanmoins, les chercheurs sont d'accord pour considérer l'expertise comme un état de connaissances concernant un domaine spécifique (Cellier, Eyrolle, & Mariné, 1997). Selon Kirschner (2002), l'individu va engager 2 types de traitement différents en fonction de son expertise, traitement automatique ou contrôlé, faisant varier l'effort mental, c'est-à-dire la capacité cognitive allouée à la tâche. Si l'individu est expert dans une activité telle que la lecture d'un mot, le traitement est automatique, c'est-à-dire qu'il ne dépend pas des ressources cognitives. En revanche, si l'individu n'est pas expert tel qu'un enfant en début d'apprentissage de la lecture, le traitement est contrôlé, dépendant ainsi des ressources cognitives consommées pour lire ce mot. Cet effort peut être plus ou moins fort selon les capacités cognitives de celui-ci. Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, plus le niveau d'expertise est élevé, plus l'effort mental est maintenu bas. De manière plus précise, dans la définition de l'expertise de Cellier et al. (1997), ils décomposent les connaissances des personnes expertes en 3 natures :

- perceptive : elles sont capables de percevoir rapidement les informations pertinentes ;
- sémantique : elles construisent la signification de la situation, ils traitent les informations pertinentes dans la situation et ne traitent pas les informations non pertinentes ;
- stratégique (dans le sens anticipatoire) : elles peuvent élaborer une représentation précise des conséquences à long terme de leurs actions, de leurs choix, etc.

Les personnes expertes ont alors besoin de fournir moins d'efforts que les personnes novices pour être efficaces puisqu'elles ont acquis des schémas dont la récupération est automatique et récupèrent les connaissances dont elles ont besoin en MLT (Sweller, 2010). En effet, Cellier et al. (1997) ont montré que les experts cherchent plus profondément l'information alors que les novices se focalisent directement sur la donnée disponible qui n'est pas forcément

la plus pertinente. De plus, la représentation des experts inclut les données contextuelles qui modulent la valeur des états et sont plus sélectifs et discriminants pour la prise de décision et pour l'exécution des actions. En outre, McNamara et Shapiro (2005) soulignent le fait que les utilisateurs d'hypertexte novices ont de grandes difficultés à reconnaître les relations entre les informations et ont alors besoin d'aide pour sélectionner les informations pertinentes avec la tâche, ce qui n'est pas le cas des utilisateurs d'hypertexte experts.

Ainsi, le nombre d'informations, la pertinence et la redondance de celles-ci sont des facteurs importants à prendre en compte pour l'allègement de la charge cognitive, sans oublier le rôle de l'expertise.

3.4. L'évaluation de la charge cognitive

La charge cognitive peut être évaluée à partir de trois types de mesures : les mesures physiologiques, les mesures subjectives et les mesures comportementales. Les mesures physiologiques vont du rythme cardiaque à l'imagerie cérébrale. Les mesures subjectives demandent au participant l'intensité de la charge ressentie. Les mesures comportementales infèrent la charge à partir de la performance à une tâche principale ou à une tâche secondaire. Ces mesures sont présentées dans les sous-sections suivantes, la description des mesures physiologiques et des 3 premières mesures subjectives étant issue d'une synthèse de Chanquoy et al. (2007).

3.4.1. Les mesures physiologiques

Six types de mesures physiologiques existent pour évaluer la charge cognitive : le rythme cardiaque, la réponse électrodermale, la respiration, le diamètre pupillaire, l'électrocéphalogramme et l'imagerie cérébrale. Premièrement, le rythme cardiaque augmente avec la charge cognitive. Cependant, la validité de cette mesure n'est pas toujours assurée. En effet, l'augmentation du rythme cardiaque peut être provoquée par d'autres raisons telles les

émotions ou les phénomènes physiques. En outre, le rythme cardiaque ne peut traduire une faible variation de la charge. Deuxièmement, la réponse électrodermale n'est pas toujours fiable car elle varie également avec des facteurs émotionnels, physiques ou cognitifs. Troisièmement, l'évaluation de la charge par la respiration présente le même problème que les précédentes mesures. Quatrièmement, le diamètre pupillaire s'agrandit avec l'augmentation de la charge. Néanmoins, cette mesure reste problématique pour 3 raisons : le diamètre pupillaire est sensible aux variations de luminosité ; il n'est pas suffisamment sensible aux variations de la charge cognitive et lorsque la charge atteint un certain niveau, il redescend alors que celle-ci continue d'augmenter. Cinquièmement, l'électroencéphalogramme enregistre l'activité électrique cérébrale. La fréquence des ondes est généralement proportionnelle à l'activité. L'amplitude de l'onde P300 et sa latence de 300 millisecondes (ms) après la présentation du stimulus auditif, visuel ou autre augmentent avec la charge cognitive. Cependant, cette mesure est difficile à mettre en place de par la nature du matériel nécessaire. Sixièmement, les techniques d'imagerie cérébrale telles que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ou la tomographie par émission de positons permettent de connaître la variation de l'activation des zones corticales en fonction de la difficulté de la tâche ou de la charge cognitive. Cependant, cette mesure est très contraignante pour le participant. En résumé, les mesures physiologiques manquent de validité interne, de sensibilité et de spécificité, notamment lors de situations naturelles.

3.4.2. Les mesures subjectives

Les mesures subjectives de la charge cognitive découlent des modèles de la mémoire et de l'attention précédemment cités (cf. section 3.1) pour évaluer les ressources cognitives fournies par l'individu. Elles sont issues de réponses données par l'individu suite à la réalisation d'une tâche, aboutissant à un score. L'augmentation du score correspond à l'augmentation de la charge cognitive. Cinq questionnaires principaux d'évaluation de la charge cognitive ont été

répertoriés. Premièrement, la « Rating Scale Mental Effort » est une échelle unidimensionnelle qui évalue spécifiquement l'effort mental lors de la réalisation d'une tâche. Elle évalue l'effort produit de 0 (minimum) à 150 (maximum). Deuxièmement, la « Mental Effort Rating Scale » (MERS) est une échelle unidimensionnelle similaire en 9 points qui évalue la quantité d'effort fourni pour réaliser la tâche. Ünal, Steg et Epstude (2012) ont notamment utilisé cette échelle pour évaluer l'influence de la musique sur l'effort mental fourni et sur la performance en conduisant une voiture. Cette mesure est également utilisée pour évaluer l'efficacité d'un dispositif d'apprentissage (Tasir & Pin, 2012). Troisièmement, la « Subjective Workload Assessment Technique » tente d'évaluer plusieurs facteurs ayant une influence sur la charge cognitive. En effet, elle mesure 3 dimensions de celle-ci - la charge temporelle, l'effort mental et le stress psychologique - sur une échelle de 3 points (faible, moyen, élevé). Les participants évaluent leur niveau d'intensité de chacune des 3 dimensions en fonction de ces 3 points à la fin de chaque tâche. Quatrièmement, le « Workload Profile », soit le profil de charge de travail, évalue 8 dimensions : étape de traitement perceptif/central, étape de traitement de la réponse, code de traitement spatial, code de traitement verbal, entrée visuelle, entrée auditive, réponse manuelle et réponse vocale. Les participants réalisent un ensemble de tâches et doivent indiquer la proportion des ressources attentionnelles utilisées pour ces tâches pour chaque dimension sur une échelle de 0 à 1 (Rubio, Diaz, Martin, & Puente, 2004). Cinquièmement, la « NASA-Task Load index » (NASA-TLX) évalue 6 facteurs de variation de la charge cognitive : la demande mentale, la demande physique, la demande temporelle, l'effort, la performance et la frustration (Hart & Staveland, 1988). Les 3 premiers facteurs sont liés à l'individu et les 3 derniers sont liés à la tâche. La passation du questionnaire NASA-TLX s'effectue en deux temps : (1) l'estimation de la contribution de chaque dimension dans la charge cognitive et (2) l'estimation du poids relatif des dimensions dans la charge cognitive. Dans un premier temps et suite à la réalisation de la tâche, les participants répondent à des questions en donnant une estimation sur

une échelle de 0 à 100 pour chaque dimension. Par exemple, ils répondent à la question : « Dans quelle mesure des opérations mentales et perceptives ont-elles été requises (penser, décider, calculer, se rappeler, chercher, etc.) ? Ont-elles conduit à une tâche plutôt facile ou difficile, simple ou complexe, abordable ou exigeante ? ». Dans un second temps, les 6 dimensions sont associées 2 par 2 formant 15 paires. Les 15 paires sont présentées aux participants qui doivent indiquer la dimension qui leur semble avoir le plus de poids dans la charge cognitive associée à la tâche réalisée précédemment. Cette seconde phase permet de jauger l'importance relative des dimensions. Selon Byers, Bitters et Hill (1989, rapporté dans Cegarra & Chevalier, 2008), cette phase est optionnelle car le calcul de la moyenne des 6 dimensions est étroitement corrélé au résultat obtenu avec le calcul de la phase d'estimation du poids relatif des dimensions. La version simplifiée du questionnaire NASA-TLX s'intitule « NASA-Raw Task Load index » (NASA-RTLX). Cette mesure est considérée comme la plus fiable, notamment parce qu'elle permet d'évaluer la charge sur plusieurs dimensions suivant un continuum (Hart et al., 1988). Elle permet ainsi d'obtenir des informations précieuses et fiables sur la source de la charge cognitive. De surcroît, il s'agit d'un questionnaire traduit de l'anglais au français et validée par Cegarra et Morgado (2009). Ainsi, cette mesure est l'une des mesures les plus utilisées pour évaluer la charge cognitive (Chanquoy et al., 2007).

3.4.3. Les mesures comportementales

Les mesures comportementales évaluent la charge cognitive à partir de la performance à la tâche principale ou secondaire au moyen du paradigme de la double tâche. Ce paradigme met en jeu une tâche principale et une tâche secondaire qui doivent être réalisées simultanément mais avec un ordre de priorité pour la tâche souhaitée prioritaire selon le cas (principale ou secondaire) afin de s'assurer que l'autre tâche ne devienne pas prioritaire en cours de réalisation de la tâche en cas de conflit (Fisk, Derrick, & Schneider, 1986). Tout comme pour les mesures

subjectives, cette technique repose également sur le postulat des modèles de l'attention et de la mémoire expliqués précédemment (cf. section 3.1) selon lequel la quantité de ressources cognitives est limitée. Ainsi, l'individu partage ses ressources cognitives entre la tâche principale et la tâche secondaire. Si la tâche prioritaire ne nécessite pas ou peu de ressources cognitives, le stock de ressources cognitives sera suffisant afin que la deuxième tâche soit réalisée rapidement. Dans le cas contraire, le temps pour réaliser cette tâche augmentera. La réalisation de la tâche secondaire peut agir sur celle de la tâche principale selon 2 modes distincts : un mode distracteur ou perturbateur où la tâche principale est prioritaire et un mode interrupteur où la tâche secondaire est enchâssée dans la tâche principale et l'interrompt de façon prioritaire. Dans le premier mode, le paradigme de la double tâche permet de mesurer la performance à la tâche secondaire. Cette mesure permet alors de connaître la capacité de traitement laissée disponible par la tâche principale, soit d'évaluer le coût cognitif de cette tâche principale. Comme aucun effet d'apprentissage ne doit être observé pour la tâche secondaire, une tâche de rapidité à un stimulus visuel ou auditif est généralement utilisée (Fisk et al., 1986). Le temps de réaction traduit l'intensité de l'effort cognitif déployé par le participant. Dans le second mode, le paradigme de la double tâche permet de mesurer la performance à la tâche principale. Il consiste à faire varier la charge cognitive toutes choses égales par ailleurs afin d'imputer une variation de performance à une variation de la charge. L'augmentation d'exigence de la tâche secondaire dégrade la performance à la tâche principale. En somme, le paradigme de la double tâche permet de mesurer la charge cognitive de façon moins subjective que les questionnaires énumérés précédemment mais également moins invasive et plus pertinente que les mesures physiologiques. Néanmoins, il affecte la tâche principale et est fondé sur l'hypothèse du canal unique de traitement (Fisk et al., 1986). Ainsi, les processus cognitifs impliqués dans la tâche principale et la tâche secondaire doivent être proches afin de provoquer l'effet interférent. En outre, cette mesure suggère des modes opératoires constants. C'est

pourquoi son utilisation est plutôt réservée à des contextes très contrôlés. Un nombre considérable d'auteurs ont utilisé ce paradigme en considérant la charge cognitive soit comme une variable dépendante, soit comme une variable indépendante (par exemple, Ignacio Madrid et al., 2009; Negro & Chanquoy, 1996; Olive, 2004; Olive & Piolat, 2002; Olive & Piolat, 2005; Piolat, Roussey, Olive, & Farioli, 1996; Roussey & Piolat, 2003; Wästlund, Norlander, & Archer, 2008).

Les 3 différents types de mesures décrits dans les sections précédentes peuvent alors être complémentaires. En effet, chaque méthode mesure des charges cognitives différentes (Xie & Slavendy, 2000). Les mesures physiologiques évaluent la charge cognitive instantanée, c'est-à-dire à un instant précis, tout comme les mesures comportementales à l'aide du paradigme de la double tâche, alors que les mesures subjectives évaluent la charge cognitive globale, c'est-à-dire sur une séquence longue et en fonction du contexte de réalisation de la tâche, telle que perçue de façon différée par l'utilisateur. Ces auteurs insistent sur le fait qu'une seule mesure ne peut évaluer de façon adéquate la charge cognitive. La combinaison de multiples mesures est alors privilégiée pour aboutir à une mesure plus sensible et sélective. Par exemple, Zumbach et Mohraz (2008) ont utilisé la MERS et la NASA-TLX pour mesurer la charge cognitive afin de savoir si une différence de charge existait entre la lecture d'un texte linéaire et un hypertexte mais aussi en fonction du type de texte lu. D'autres auteurs ont été encore plus loin en créant un logiciel qui permet de fournir une évaluation plus complète de la charge cognitive : le logiciel « Tholos » (Cegarra & Chevalier, 2008). Ce système permet de combiner les 3 types de mesures de la charge cognitive : le diamètre pupillaire pour la mesure physiologique, la NASA-TLX ou la NASA-RTLX pour la mesure subjective et le paradigme de la double tâche pour la mesure comportementale. Le but de ce logiciel est d'associer les données de chaque mesure afin de

pouvoir comparer et de compléter les manques de chacune pour aboutir à une meilleure évaluation globale de la charge cognitive.

Pour conclure ce chapitre, parmi les modèles de la mémoire et de l'attention, nous adoptons alors celui de Kahneman (1973) et de Baddeley (2003) qui défendent le postulat selon lequel le système cognitif possède une capacité limitée de ressources attentionnelles gérées par la MDT, celle-ci étant composée de plusieurs systèmes selon Baddeley (2003). L'allocation de ces ressources pour la réalisation d'une tâche correspond à l'effort mental requis. Autrement dit, cela correspond à la charge cognitive, qui dépend des 3 facteurs causaux de Kirschner (2002). Cette conception permet ainsi de mieux comprendre le fonctionnement cognitif des personnes aveugles, notamment lors de leur navigation web où toutes les informations visuelles sont retranscrites en informations auditives engendrant un alourdissement de la charge cognitive, comme nous l'expliquerons dans le chapitre suivant. En outre, cette charge cognitive peut être évaluée par différentes mesures complémentaires (physiologiques, subjectives ou comportementales). Du fait que notre intérêt se porte sur les comportements naturels des déficients visuels, les mesures physiologiques, manquant de validité interne et de sensibilité lors de situations naturelles, ne sont pas des indices appropriés pour évaluer la charge cognitive lors de nos études empiriques. Il apparaît alors approprié d'utiliser une mesure de la charge subjective à partir de la NASA-RTLX pour évaluer la charge cognitive sur une séquence complète de tâches allant jusqu'à l'atteinte d'un but ou l'obtention du résultat sur des sites web mais également une mesure comportementale à partir du paradigme de la double tâche pour déterminer les instants et les contextes précis dans lesquels il existe des différences de charge cognitive (cf .chapitre 9).

Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons aux utilisateurs de lecteur d'écran qui sont des personnes aveugles ou malvoyantes profondes. Or, une personne malvoyante

profonde n'exploitant plus son résidu visuel lors d'utilisation du lecteur d'écran est alors considérée comme une personne aveugle. C'est pourquoi nous étudierons uniquement le fonctionnement cognitif des personnes aveugles dans le chapitre suivant.

4. Le fonctionnement cognitif des personnes aveugles

Que ce soit en psychologie cognitive ou en neurosciences, de nombreuses études se sont intéressées au fonctionnement cognitif des personnes aveugles en mettant en exergue leurs mécanismes compensatoires pour combler leur cécité ainsi que les similitudes et les différences de processus cognitifs entre les aveugles et les voyants mais également entre les aveugles congénitaux et les aveugles tardifs.

Tout d'abord, des mécanismes compensatoires sont mis en œuvre par les personnes aveugles pour combler la perte de la vue (Hatwell, 2003). En effet, les aveugles peuvent générer des représentations mentales à partir d'un traitement d'informations verbales, similaires à celles dérivées de la perception visuelle (Denis & De Vega, 1993). Galiano et Baltenneck (2007) expliquent que les aveugles peuvent acquérir les concepts visuels à partir du langage. Il apporte l'information propositionnelle qui leur permet de construire ces concepts. Par exemple, la représentation de la fonction du « stylo » n'est construite qu'à partir du langage qui permet à la personne aveugle de l'utiliser pour désigner ensuite « l'objet qui permet d'écrire ». Sans cette verbalisation, le stylo n'est qu'un simple bâton avec une pointe. Ces auteurs parlent de « verbalisme », terme utilisé pour désigner des mots ou des expressions employés par les aveugles sans un correspondant sensoriel. Les aveugles empruntent donc des mots aux voyants pour désigner des objets dont ils n'ont pas pu faire l'expérience directe. Chauvey, Hatwell, Verine, Kaminski et Gentaz (2012) ajoutent que l'emploi du verbalisme dépend de l'expérience perceptive spécifique des aveugles. En effet, ils font davantage de verbalisme pour décrire des personnes et utilisent plus de mots tactiles (par exemple, cuir, solide, lourd, rugueux, etc.) pour

décrire des objets qu'ils ont expérimentés. La vision n'est donc pas indispensable pour qu'il y ait une communication adéquate car l'information qui compte pour l'intercompréhension passe par le langage oral. Les aveugles puisent donc dans l'information linguistique les informations nécessaires à la construction du système conceptuel, lequel ne se différencie pas de celui des personnes voyantes (Galiano et al., 2007). Cattaneo et al. (2008) ont également mis en avant le fait que les aveugles peuvent même avoir accès à l'imagerie mentale visuelle en utilisant le canal auditif, qui plus est avec des performances similaires à celles des personnes voyantes lors de tâches d'imagerie. Cependant, Vanlierde et Wanet-Deflaque (2005) précisent qu'il s'agit de performances similaires uniquement entre les aveugles tardifs et les voyants. En effet, du fait qu'ils disposent de repères visuels perçus avant leur cécité, les aveugles tardifs utilisent leur mémoire visuelle dans l'imagerie, ce qui n'est pas le cas des aveugles congénitaux qui n'ont pu développer aucune perception visuelle, celle-ci étant fortement liée aux propriétés des images. En outre, les travaux de Boumenir (2011) et Boumenir, Kadri, Suire, Mury et Klinger (2012) ont également montré des mécanismes compensatoires des aveugles lors d'une navigation spatiale. En effet, les aveugles congénitaux compensent l'absence de repères visuels grâce à la mémorisation d'informations géométriques d'un plan tactile alors que les personnes voyantes privées de repères visuels ne sont pas instantanément capables d'une telle compensation. Les voyants avaient des performances de perception et de déplacement significativement plus faibles que les aveugles, lorsqu'ils étaient placés dans des conditions de malvoyance. Cependant, lors d'un déplacement en véhicule conduit par une tierce personne, Dodds, Howarth et Carter (1982, cité par Lhermey, 2006) ont montré que les aveugles ont des difficultés à se repérer spatialement, notamment les aveugles congénitaux dues à leur conception spatiale égocentrique à la différence des voyants et des aveugles tardifs qui possèdent une conception spatiale allocentrique.

Ainsi, la différence entre les capacités des aveugles, congénitaux ou tardifs, et celles des voyants ne sont pas à mettre uniquement sur le compte de la déficience visuelle mais également sur tout ce que cette déficience entraîne, en termes de compensation sensorielle. En effet, le cortex visuel inutilisé est récupéré à d'autres fins que la vision au profit de d'autres modalités sensorielles par la réorganisation corticale des aires visuelles (Amedi, Floel, Knecht, Zohary, & Cohen, 2004; Burton, Snyder, Conturo, Akbudak, Ollinger & Raichle, 2002; Burton, Snyder, Diamond & Raichle, 2002; Pietrini et al., 2004). Tous ces auteurs ont montré que le cortex occipital (correspondant au cortex visuel) avait un rôle primordial dans le fonctionnement cognitif des personnes aveugles. Burton et al. (2002) ont notamment constaté que le cortex visuel chez les aveugles est activé pour des tâches auditives impliquant le langage, confirmant l'adaptation de ce cortex. Les aires visuelles sont donc sollicitées lors de traitement du langage oral. Cette plasticité cérébrale peut alors procurer aux aveugles de meilleures performances que les voyants dans certaines fonctions cognitives telles que la mémoire, l'attention ou le langage dans d'autres modalités sensorielles que celle de la vision comme la modalité auditive ou tactile. En effet, pour des scores d'exactitude comparables, les participants aveugles détectent plus rapidement des cibles auditives et tactiles que les voyants (Collignon & De Volder, 2009). Egalement, les personnes aveugles traitent plus rapidement le langage auditif, encodent mieux les stimulus verbaux et discriminent mieux les mots présentés oralement que les personnes voyantes (Papadopoulos, Argyropoulos & Kouroupetroglou, 2008; Röder, Rösler & Neville, 2000; Röder, Rösler & Neville, 2001). De plus, lors de test auditifs, Stankov et Spilsbury (1978) ont montré que les enfants aveugles avaient de meilleures performances pour la mémoire tonale que les enfants voyants. De surcroît, Röder et Rösler (2003) ont montré que les personnes aveugles avaient de meilleurs taux de reconnaissance des sons environnementaux que les personnes voyantes lors d'encodage sémantique (en indiquant le nom des sons tels qu'un rugissement ou un bourdonnement) ou physique (en indiquant l'intensité des sons). Cette

supériorité de mémoire auditive est encore plus prononcée chez les aveugles congénitaux que chez les aveugles tardifs due notamment à cette réorganisation corticale. Rokem et Ahissar (2009) ont également obtenus des résultats similaires prouvant un encodage verbal et auditif supérieur chez les personnes aveugles qui indique un degré élevé de compensation comportementale. Néanmoins, cette supériorité mnésique des personnes aveugles sur les personnes voyantes est uniquement pour les tâches de MCT, qui s'appuie principalement sur les ressources de la boucle phonologique qui stocke les informations verbales. Cette supériorité est alors perdue pour les tâches de MDT qui fait appel à l'administrateur central. Cependant, Withagen, Kappers, Vervloed, Knoors et Verhoeven (2013) ont montré récemment que les enfants aveugles avaient de meilleures performances aux tâches de MCT mais également aux tâches de MDT. Les performances aux tâches varient donc en fonction de ce qu'elles mesurent, soit les capacités auditives, verbales ou spatiales. Ainsi, la supériorité de la mémoire des aveugles ne serait pas perdue pour les tâches de MDT lorsqu'il s'agit des fonctions verbales.

Toutefois, les mécanismes compensatoires des aveugles ne comblent pas entièrement la perte de la vue. En effet, la modalité auditive, comme tactile, n'a pas les mêmes propriétés que celles de la modalité visuelle. Cette dernière s'appuie sur la rémanence de percepts acquis en parallèle dans le champ visuel et permet une très grande résolution. Sur ce plan, la perception auditive ou tactile ne permet pas une transposition équivalente. En effet, même si les informations visuelles d'un texte sont retranscrites auditivement ou tactilement, il existe un appauvrissement de l'information. Les statuts graphiques des informations facilitant le guidage du pointage oculaire ou les associations entre éléments sont alors perdus. Par exemple, si certains mots sont mis en gras dans un texte pour indiquer qu'ils sont importants, le lecteur voyant pourra avoir très rapidement une idée du contenu du texte en lisant ces quelques mots, ce qui ne sera pas le cas du lecteur aveugle de par la prise d'information sérielle due à la modalité auditive ou tactile. Ce traitement sériel de l'information peut alors entraîner un

alourdissement de la charge cognitive des aveugles. Afin d'expliquer cette augmentation de charge, nous nous appuyerons sur le modèle de la MDT de Baddeley (2003). En effet, selon ce modèle, les sous-systèmes esclaves se partagent les informations des différentes modalités. La boucle phonologique traite les informations verbales alors que le calepin visuo-spatiale traite les informations visuelles et spatiales. Ainsi, la charge cognitive imposée à ces sous-systèmes esclaves par un texte va être répartie entre eux de par sa multimodalité. Par exemple, la part langagière d'un texte sur une page web va être traitée par la boucle phonologique et la part graphique (mis en forme du texte) et spatiale (localisation de l'information) va être traitée par le calepin visuo-spatial. Dans le cas des personnes aveugles, leur charge cognitive ne pourra être allégée par l'intervention du calepin visuo-spatial. En effet, la mise en forme du texte (par exemple, un titre ou un lien) et sa localisation dans la page web (par exemple, dans le menu) vont être retranscrites de manière langagière. Ces informations, essentielles pour connaître l'importance et la nature de l'information, vont devoir également être supportées par la boucle phonologique et répétées en mémoire par la boucle articulatoire. La charge cognitive subie par les aveugles est alors alourdie, pouvant aller jusqu'à la surcharge cognitive. Les résultats de Klatzky, Marston, Giudice, Golledge et Loomis (2006) confortent ce raisonnement. En effet, la charge cognitive des personnes aveugles était plus forte lorsque les informations étaient décrites oralement (par exemple, « allez à gauche ») plutôt que lorsqu'elles étaient présentées sous forme de sons virtuels (par exemple, le son était émis à gauche pour aller à gauche) lors d'une navigation dans l'espace. L'oralisation des informations engendre donc une plus forte charge cognitive des aveugles. De plus, des travaux ont mis en évidence les difficultés des aveugles à interpréter et comprendre le sens des textes oralisés (Marin-Lamellet et al., 2003). C'est pourquoi certains auteurs ont cherché des solutions au niveau de la mise en forme d'un texte oralisé, notamment avec la prosodie. La prosodie peut faciliter la compréhension d'un message vocal destiné aux déficients visuels, par l'augmentation de l'attention (Lhermey, 2006). Les

indices prosodiques peuvent permettre d'attirer l'attention sur des éléments importants (Hugdahl et al., 2004) et facilitent l'identification des différents éléments d'un texte (Giraud & Thérouanne, 2010), améliorant ainsi la compréhension. En sus des marques prosodiques, les marques discursives peuvent également améliorer la compréhension de texte. Maurel, Luc, Vigouroux, Mojahid, Virbel et Nespoulous (2002) ont cherché à reconstruire une partie du métalangage architectural qui est entièrement ou partiellement effacé de façon à expliciter de manière discursive les propriétés structurelles des textes. Cela fournit un cadre général d'interprétation et de reformulation des phénomènes typo-dispositionnels qui ne sont pas directement transposables à l'oral. Sur cette base, Maurel, Lemarié et Vigouroux (2003) ont montré que ces marques discursives permettent une meilleure représentation de la forme du texte (par exemple, un texte sous forme d'énumération) et par conséquent, une meilleure compréhension du message.

Pour conclure, même si la plasticité cérébrale des aveugles leur offre une supériorité pour des tâches auditives ou tactiles par rapport aux voyants, elle n'est constatée que pour des tâches faisant appel uniquement à ces modalités. Ainsi, dès lors que les informations véhiculées font appel à la modalité visuelle, les aveugles ne peuvent y avoir accès que par la retranscription de ces informations auditivement ou tactilement. Or, ces modalités entraînent une prise de l'information sérielle qui engendre des traitements de l'information plus coûteux. Les mécanismes compensatoires mis en œuvre par les aveugles comblent alors en partie leur handicap mais pas de manière équipollente¹⁹ aux voyants, ce qui génère des difficultés telles que l'alourdissement de la charge cognitive. En somme, le fonctionnement cognitif des personnes aveugles se base sur les mêmes modèles d'architectures classiques de l'attention et

¹⁹ C'est-à-dire en tentant de transformer un percept dans une modalité (par exemple, visuelle) équivalent à un percept dans une autre modalité (par exemple, auditive).

de la mémoire. Leur traitement de l'information ne diffère donc pas de celui des personnes voyantes. Cependant, les capacités et le coût des traitements de l'information ne sont pas équivalents. C'est pourquoi les solutions qui doivent être mises en place pour les aveugles doivent prendre en compte ce fonctionnement cognitif afin de satisfaire pleinement et de manière adéquate les besoins de cette population en interaction avec l'environnement, qu'il soit physique ou numérique.

5. Une approche centrée sur l'utilisateur pour l'accessibilité des interfaces web

Pour apporter une solution adaptée à la navigation web des utilisateurs aveugles, il faut qu'ils soient au centre des préoccupations de l'approche adoptée par l'ergonome. L'ergonome a alors pour fonction première de comprendre leur activité lors de la navigation web. Pour cela, une analyse de l'activité de la population ciblée peut être effectuée. L'analyse de l'activité peut être menée pour comprendre le système actuel, le flux des informations, les problèmes pour les individus et les possibilités qui indiquent leurs besoins (Maguire & Bevan, 2002). Elle est fondée sur l'observation systématique²⁰ ; elle a pour objet de recueillir les données de base servant à la description du terrain de l'étude et peut susciter les hypothèses préalables à l'expérimentation proprement dite (Sperandio, 1980). Les techniques utilisées pour relever l'activité de l'utilisateur sont multiples, telles que l'observation (naturelle ou armée²¹), les entretiens, l'étude de cas, l'étude des traces, la méthode des incidents critiques ou la technique des protocoles verbaux (Bisseret, Sebillotte, & Falzon, 1999; Leplat, 2000; Sperandio, 1980).

²⁰ Des catégories d'événements sont prédéterminées afin de classer et coder chaque événement en notant leurs occurrences.

²¹ L'observation armée est une observation réalisée à partir d'un protocole. Sperandio (1980) parle d'observation expérimentale ou expérience invoquée.

L'analyse de l'activité occupe ainsi une part centrale du métier d'ergonome qui place l'utilisateur au centre de la conception de l'interface.

5.1. L'analyse de l'activité au cœur de l'approche centrée sur l'utilisateur

L'activité de l'utilisateur est ce qui est mis en œuvre par l'utilisateur pour exécuter la tâche. Cette activité comporte une part observable - le comportement (gestes, déplacements, postures, etc.) ainsi que le dialogue de l'utilisateur - et une part non observable, la part mentale, que l'on peut néanmoins tenter d'inférer à partir de la part observable. La tâche définit non seulement le but à atteindre - c'est-à-dire l'état final souhaité - mais également les contraintes, les moyens et les conditions pour l'atteindre. Ces conditions sont exprimables selon 3 points de vue : les états, les opérations et les procédures. Tout d'abord, les états vont de l'état initial jusqu'à l'état final (but à atteindre) en passant par des états intermédiaires. Puis, les opérations sont celles qui assurent le passage d'un état à un autre. Leur mise en œuvre dépend de la réalisation de certaines conditions qu'on peut exprimer sous forme de règles (du type si..., alors...). Enfin, les procédures définissent comment seront mises en œuvre les opérations pour atteindre un but donné, c'est-à-dire la combinaison de ces opérations. Cette combinaison, parfois appelée « mode opératoire », indique comment cheminer dans l'espace des états (Leplat, 2001). L'ergonome doit étudier ces 3 niveaux, c'est-à-dire étudier ce que l'utilisateur fait en termes d'actions et/ou de processus cognitifs pour passer d'un état à l'autre afin d'accomplir sa tâche. Il est alors confronté à la distance entre ce qui est prévu par l'organisation de la situation et ce qui est réellement fait. La tâche se divise ainsi en 2 catégories : tâche prescrite et tâche effective. La tâche prescrite est ce qui est à faire, ce qui est demandé (explicitement) et ce qui est attendu (implicitement) par l'organisation. La tâche effective correspond à l'activité effectivement réalisée par l'individu. La tâche effective n'est alors pas un « *décalque de la partie observable de l'activité dans la mesure où elle définit une procédure, elle est dérivée de*

certaines comportements et prend aussi en compte les règles de fonctionnement du système cognitif » (Leplat, 2001). L'ergonomie de l'activité est alors marquée par cette distinction fondatrice entre la tâche prescrite et la tâche effective (Falzon, 2004).

En somme, l'ergonome ne pourra pas concevoir une solution satisfaisante pour les utilisateurs s'il ignore cette étape indispensable qu'est l'analyse de l'activité. Elle nous semble alors essentielle pour connaître comment les déficients visuels naviguent sur le Web avec un lecteur d'écran, quels sont les problèmes qu'ils rencontrent, les stratégies de navigation qu'ils utilisent et les besoins qui en découlent. Elle va donc constituer à analyser leur navigation dans des hypertextes qui est composée en grande partie par de la recherche d'information (RI). C'est pourquoi nous expliquerons cette activité dans la section suivante.

5.2. La recherche d'information dans les hypertextes

Les sciences de l'information et de la communication sont les premières à s'être intéressées à la RI en proposant des modèles des comportements des utilisateurs dans leur globalité (Dinet & Tricot, 2008). Néanmoins, ils ne décrivent pas précisément les processus cognitifs impliqués lors de la RI tels que le modèle de Guthrie (1988). Cet auteur a proposé le premier modèle descriptif de la RI en 5 étapes : formation d'un but, sélection d'une catégorie, extraction de l'information, intégration et recyclage. Cependant, ce modèle est linéaire et séquentiel, se réduisant alors à la description de la RI lors de tâches simples de localisation et d'extraction d'informations. Or, la RI dans les hypertextes est une activité plus complexe, apparentée à la résolution de problèmes, requérant plusieurs cycles de ces étapes tel que le décrit le modèle de Rouet et Tricot (1998), le modèle CoLiDeS (Kitajima et al., 2000) ou le modèle ACT-IF (Adaptive Control of Thought in Information Foraging) de Pirolli et Card (1999). Toutefois, le modèle CoLiDeS s'applique spécifiquement à la navigation sur les sites web commerciaux alors que le modèle ACT-IF concerne la RI en général et pas seulement sur les

hypertextes. Ainsi, le modèle de Rouet et Tricot (1998) nous apparaît comme le plus pertinent pour comprendre la RI sur les hypertextes. C'est pourquoi, nous décrirons précisément ce modèle ci-après.

Selon Rouet et Tricot (1998), la RI est une activité complexe faisant appel :

- aux connaissances de l'individu, par conséquent faisant appel à la mémoire (MLT et MDT) ;
- aux processus de traitement d'information, par conséquent faisant appel à la compréhension ;
- à plusieurs actions exécutées successivement visant à transformer la situation de son état initial vers l'état final à atteindre (le but) et s'apparente alors à la résolution de problèmes.

Dans leur modèle, la RI est une activité cyclique dont le but est de satisfaire le mieux possible un ensemble de contraintes imposées par la situation initiale. L'arrêt de cette activité survient, non pas lorsque le but est atteint, mais lorsque l'utilisateur pense ne pas pouvoir trouver mieux, n'a pas le temps ou les moyens de continuer ou encore parce qu'il pense que le niveau atteint de résolution du problème est suffisant. Deux types de processus cognitifs rentrent en jeu dans ce modèle : le « cycle de base » constitué de 3 processus partiellement automatisables - Evaluation, Sélection et Traitement - et la gestion cognitive comprise elle-même comme un processus, optionnelle et contrôlée, constitués de 3 modes - Planification, Contrôle et Régulation - afin d'optimiser le cycle de recherche. D'une part, à partir des 3 processus du cycle de base, une représentation mentale du but se forme progressivement. Le premier processus, où se forme la représentation du but sans pour autant avoir les moyens pour le réaliser, est l'*évaluation*. Elle permet de comprendre la nature de l'information à rechercher à partir de 3 étapes :

- l'identification des informations nécessaires pour atteindre le but correspondant à la formation de la représentation de celui-ci ;
- la comparaison des informations disponibles en mémoire ou dans l'environnement perceptif avec la représentation du but, correspondant à l'état de solution (si celui-ci est satisfaisant, la RI s'arrête) ;
- la production des critères déclaratifs (caractérisant l'information à chercher) et procéduraux (caractérisant la procédure à suivre pour la sélection des catégories d'informations) qui guident la RI, correspondant au plan de recherche.

L'individu doit alors maintenir active dans sa MDT une représentation du but cohérente avec les objectifs initiaux et la faire évoluer avec les informations trouvées aux cours de la RI. Le deuxième processus est la *sélection*, soit la prise de décision d'examiner une catégorie d'informations plutôt qu'une autre. Ce processus englobe toutes les étapes qui conduisent à cette décision. Il prend en compte les critères déclaratifs et procéduraux de recherche établis lors de l'évaluation. Il calcule la valeur d'intérêt, c'est-à-dire le niveau d'importance, pour chaque catégorie d'information. La prise de décision est effectuée dès lors que toutes les catégories ont été examinées (sélection exhaustive) ou dès qu'une catégorie dépasse un certain niveau d'intérêt (sélection auto-terminatif). Chacune des sélections ne sont pas indépendantes des autres et utilisent les résultats des précédentes. Ainsi, l'individu doit considérer sa position dans l'interface (suite au chemin parcouru), les informations précédemment acquises déterminant la pertinence des catégories d'informations et l'état de la solution déterminant la mise à jour des critères de sélection (nature de l'information restant à chercher). L'individu doit alors activer 3 représentations mentales à la fois : la représentation du but, la représentation des catégories d'informations précédemment visitées et la représentation des catégories disponibles à un instant précis. Le troisième processus est le *traitement*, un ensemble de processus qui se déroulent au moment de l'examen d'une unité de contenu ou d'une page de l'hypertexte,

s'apparentant à la compréhension de texte telle qu'elle est définie par Kintsch et Van Dijk (1978). A la différence du modèle de Kintsch et Van Dijk (1978), l'individu ne cherche pas à construire une représentation globale de la situation décrite dans le texte mais cherche à extraire certains éléments pour résoudre le problème en élaborant une représentation locale du passage traité à chaque microcycle de traitement et filtrant ce qui contribue à son but. Au final, ces 3 processus, ayant lieu de manière séquentielle, nécessitent que la représentation du but soit disponible à tout moment et reposent sur les connaissances initiales de l'individu et les contraintes situationnelles (caractéristiques de l'environnement). La Figure 8 présente le cycle Evaluation-Sélection-Traitement du modèle de Rouet et Tricot (1998) :

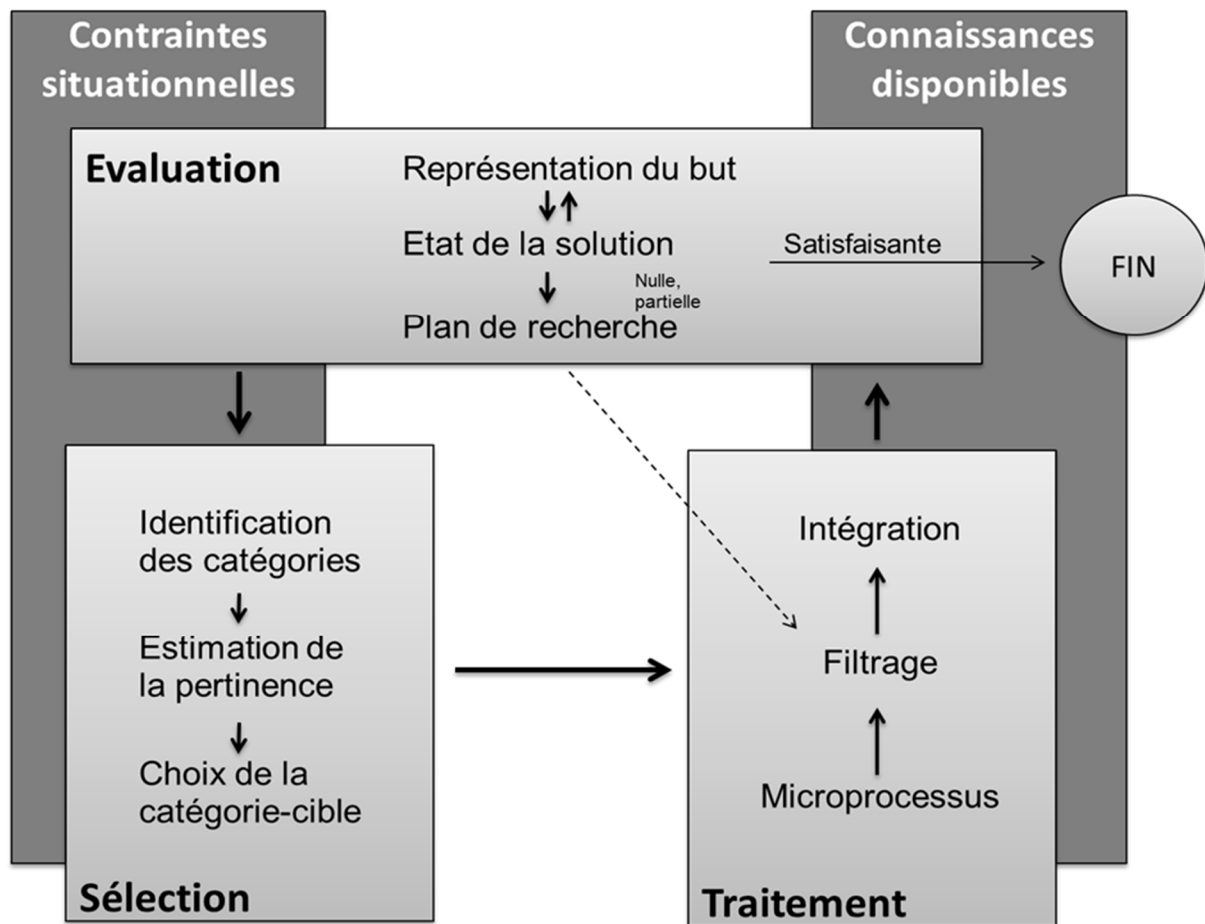


Figure 8. Le cycle Evaluation-Sélection-Traitement (adapté de Rouet & Tricot, 1998).

D'autre part, les 3 modes de gestion cognitive permettent le déclenchement et l'arrêt des 3 premiers processus. Le premier mode, la *planification*, correspond à l'élaboration et à la mise en œuvre du plan de recherche pouvant être remis en cause au cours de l'activité. Il détermine les moyens pour atteindre l'information utile pour résoudre le problème. Le deuxième mode, le *contrôle*, correspond à la vérification du résultat afin de contrôler s'il permet d'atteindre le but. Trois cas sont alors possibles :

- les informations trouvées contribuent au but et sont alors intégrées à la solution en cours ;
- les informations trouvées contribuent partiellement au but, l'individu doit alors réaliser une sélection en cours du traitement ;
- les informations ne contribuent pas au but, l'individu peut décider de l'arrêt du traitement.

Le troisième mode, la *régulation*, correspond à l'amélioration du résultat afin de s'adapter à la situation en modifiant l'activité si besoin. Par conséquent, ce mode joue sur la prise en compte des informations pertinentes acquises au cours de la RI et, en cas de modification de la situation, sur la planification en modifiant le plan de recherche et la représentation du but qui résulte de la combinaison des 3 processus « Evaluation-Sélection-Traitement ». Par exemple, un individu réalise une RI sur un hypertexte. Il recherche un film sur les 12 travaux d'Hercule de 1986. L'individu **planifie** sa recherche : il décide d'aller sur un moteur de recherche et de réaliser une requête comportant les mots clés « 12 travaux d'Hercule ». De nombreux résultats s'affichent (résumé du mythe grec, bande dessinée, film, etc.). Il **contrôle**, les 3 premiers items ne lui semblent pas pertinents avec sa recherche. En revanche, le quatrième item semble pertinent. Il décide de le choisir et sélectionne le lien. Le film semble être le bon mais l'année ne correspond pas. Il **régule** en modifiant son plan de recherche et décide de revenir en arrière. Il **planifie** de nouveau et change les mots clés dans le

moteur de recherche en précisant la date. De nouveaux résultats s'affichent. Il **contrôle** de nouveau et ainsi de suite.

En somme, l'individu, devant activer, maintenir en MDT et reconstruire différentes représentations mentales lors de la RI selon les informations qu'il acquiert en cours de son activité, peut subir une surcharge cognitive et être désorienté lors de sa navigation dans un hypertexte. La représentation du but est alors désactivée demandant de nouveau des ressources cognitives à l'individu pour la réactiver, rentrant dans un cercle vicieux d'alourdissement de la charge cognitive. Ainsi, le modèle de Rouet et Tricot (1998) permet de mettre en évidence le fait que la RI est une activité cognitive complexe où la MDT est fortement sollicitée expliquant ainsi le poids imposé à la charge cognitive. Il permet alors de mieux comprendre les difficultés rencontrées par les utilisateurs d'hypertexte, d'autant plus lorsque ces difficultés se combinent à l'utilisation d'un lecteur d'écran du fait que ces utilisateurs ne peuvent pas ou plus recourir à leur vision.

5.3. La navigation web des utilisateurs de lecteur d'écran déficients visuels

5.3.1. Les difficultés rencontrées par les utilisateurs de lecteur d'écran déficients visuels

Les utilisateurs de lecteur d'écran déficients visuels (ULEDV) sont des personnes aveugles ou malvoyantes profondes ne pouvant recourir à leur résidu visuel pour naviguer sur les hypertextes. De ce fait, ils utilisent un lecteur d'écran leur permettant l'accès à l'information sur le Web. Cependant, son utilisation engendre des difficultés de navigation dues à la sérialisation du contenu d'une page web. En effet, le lecteur d'écran retranscrit toutes les informations visuelles présentes sur la page web en informations auditives de manière sérielle selon une lecture standard (de gauche à droite et de haut en bas). La modalité auditive étant fugace, séquentielle et fonction du temps, cette sérialisation impose alors un ordre et une

distance temporelle entre des informations. Elle rend ainsi difficile les regroupements mentaux entre 2 ou plusieurs éléments à la différence de la modalité visuelle qui permet d'exploiter ce regroupement - à partir des percepts de saillance tels que la couleur, le style ou la taille - pour organiser, filtrer la prise d'information et réaliser les associations des informations. Ces informations sont donc perdues par la lecture « au kilomètre » du lecteur d'écran (Giraud et al. 2011). En outre, la sérialisation du lecteur d'écran réduit également la capacité de désambiguïser en omettant ou altérant des contextes. Buzzi, Buzzi, Leporini et Akhter (2009) met en évidence ce problème, notamment avec la lecture d'un tableau qui est lu ligne par ligne. Le tableau a alors perdu le sens global de la page, obligeant à retourner en arrière, pour tenter de comprendre le contenu. De plus, cette sérialisation entraîne une prise d'information pouvant être gênée par des informations distractives telles que les bannières de publicités qui peuvent être placées au niveau du bandeau de la page web (tout en haut de la page)²². Le lecteur d'écran va donc lire ces informations avant les informations les plus pertinentes pour l'utilisateur, ce qui allonge le temps de navigation mais également alourdit la charge cognitive puisque ces informations vont devoir être traitées par la MDT lors des processus cognitifs de RI, notamment lors de l'étape de sélection pour décider si elles sont pertinentes ou non (cf. section 5.2). De surcroît, les informations sur l'organisation du site web vont également alourdir la charge cognitive. En effet, le lecteur d'écran retranscrit autant les informations du contenu du site web que les informations de l'organisation de celui-ci. Il indique ainsi pour chaque élément s'il s'agit d'un lien, d'un bouton ou autre. Ces informations imposées à la boucle phonologique vont donc davantage alourdir la charge cognitive puisque le calepin visuo-spatial ne peut prendre en charge l'organisation de la page web (cf. section 3.1). A cela s'ajoute la lecture

²² Les pages web sont généralement divisées en trois ou quatre aires : un bandeau, une ou deux aires de navigation (menu) et d'accès à des fonctions, et une aire de contenu. Le bandeau est communément situé en haut, le menu en haut ou à gauche et le contenu au centre de la page.

répétitive d'éléments présents sur toutes les pages web du site (par exemple, le menu) suite à la sélection d'un élément de la page web (pour entrer dans une nouvelle page, par exemple). En effet, à chaque sélection d'un élément, le lecteur d'écran reprend sa lecture depuis le début de la page, frustrant l'utilisateur et allongeant son temps de navigation par la réécoute de tous les éléments de la page web jusqu'à l'atteinte du contenu souhaité (Lazar, Allen, Kleinman et Malarkey, 2007).

Par ailleurs, cette sérialisation du contenu de la page web n'est pas en adéquation avec les interfaces riches qui possèdent une navigation parallèle offrant une variété d'options à travers une seule page (cadre, tableau, glisser-déposer, etc.) (cf. section 2.3). En effet, la retranscription exhaustive de toutes les informations présentes sur la page web n'est pas le moyen d'accès à l'information le plus judicieux avec les fonctionnalités dynamiques de ces interfaces. Plusieurs auteurs ont mis en évidence les principaux problèmes combinés à ceux existants avant l'apparition des interfaces riches (Buzzi et al., 2009; Buzzi et al., 2010; Lazar et al., 2007). Ces problèmes sont listés ci-après :

- rafraîchissements intempestifs de la page web ;
- conflit de compatibilité entre le lecteur d'écran et une application (par exemple, les modules complémentaires du navigateur web) ;
- apparitions des escamots²³ ;
- captchas²⁴ inaccessibles ;
- bouton « Précédent » de la page web désactivé ;
- perte de nombreuses informations par l'impossibilité d'accéder au contenu multimédia ;

²³ Traduction de « pop-up window / field » selon Bisseret et Caro (1997).

²⁴ Il s'agit d'un test utilisé en informatique pour s'assurer qu'une réponse n'est pas générée par un ordinateur, requérant la saisie d'un texte déformé dans un champ d'édition.

- mauvaise conception des formulaires ;
- manque de texte alternatif pour les images ;
- documents PDF inaccessibles ;
- absence de plan du site ;
- problèmes entre l'exploration dans la page web et le mode « formulaire » ;
- libellés de liens imprécis ou mal formulés ;
- dysfonctionnements du lecteur d'écran causant l'arrêt de la lecture ;
- impossibilité d'aller directement au contenu,
- manque de précisions pour certains liens (par exemple, « cliquez ici ») ;
- problèmes de localisation dans la page web dû au manque de contexte de la page et à sa mauvaise structuration.

A ces problèmes s'ajoutent des problèmes de navigation avec la tabulation qui consiste à naviguer d'éléments cliquables en éléments cliquables ainsi qu'avec les raccourcis clavier. En plus de varier selon les logiciels et les sites web, les raccourcis clavier, en très grand nombre, surchargent la mémoire de l'utilisateur. Les raccourcis les plus abordables sont utilisés de façon prioritaire pour l'exploitation des applications, laissant aux lecteurs d'écrans et aux autres dispositifs d'assistance des combinaisons de touches plus complexes, plus difficiles à mémoriser et plus facilement en conflit avec les raccourcis d'application. Cette difficulté se réduit avec la pratique dans la mesure où la mémoire procédurale permet d'automatiser l'utilisation des raccourcis clavier les plus fréquemment utilisés (Giraud et al., 2011).

En somme, le lecteur d'écran se place à un niveau bas de transformation des percepts en information lexicale ou propositionnelle, qui se traduit par une haute fidélité exhaustive des informations retranscrites de manière sérielle, entraînant une lecture chronophage. De ce fait, la RI est alors plus coûteuse cognitivement pour les ULEDV. Ainsi, dans le but de minimiser

les difficultés rencontrées lors de leur navigation sur des hypertextes, ils utilisent des stratégies spécifiques de navigation web que nous allons expliquer dans la sous-section suivante.

5.3.2. Les stratégies de navigation web des utilisateurs de lecteur d'écran déficients visuels

Que ce soit dans le domaine militaire, politique ou économique, le mot « stratégie » signifie l'art de coordonner des actions afin d'atteindre un but, selon le dictionnaire Lexis (Dubois, 2002). Chanquoy et al. (2007) donnent une définition plus spécifique à la psychologie cognitive selon laquelle une stratégie est le mode opératoire mis en œuvre par l'individu pour réaliser une tâche. Par l'analyse de la situation, l'individu va prendre en compte son objectif, les moyens pour y parvenir et les obstacles à détourner afin de choisir l'action qui lui permettra d'atteindre son but avec des ressources cognitives et un temps minimum possible. Cette définition correspond ainsi aux 3 stratégies, ou modes opératoires, de RI sur le Web établies par Uzan (2005) :

- la stratégie en marguerite où l'utilisateur clique sur un maximum de liens avant de décider quel est celui réellement souhaité. Il réalise donc beaucoup de retours en arrière ;
- la stratégie en profondeur où l'utilisateur va explorer un ensemble de liens à partir du premier jusqu'au lien qu'il jugera pertinent. Sa recherche s'arrête à ce lien ;
- la stratégie sémantique où l'utilisateur cherche le lien souhaité par combinatoire de mots-clés dans un moteur de recherche. Cette stratégie est très rapide et efficace, voire la plus performante, dans le cas où la combinatoire appropriée est utilisée.

Selon Uzan (2005), les ULEDV privilégient cette dernière stratégie alors que les utilisateurs voyants recourent principalement aux 2 premières stratégies. Cette différence s'explique en grande partie par l'allongement du temps de navigation dû à la sérialisation du

lecteur d'écran. Les ULEDV, ne pouvant se permettre de faire des va-et-vient (stratégie en marguerite) ou de s'enfoncer dans la hiérarchie du site web (stratégie en profondeur) sans être certain de trouver l'information recherchée, opte pour la dernière stratégie (stratégie sémantique). Lazar et al. (2007) montrent également que les stratégies des ULEDV diffèrent de celles des voyants lorsqu'ils doivent faire face aux problèmes de navigation web. Les problèmes de navigation pour les participants aveugles étaient des problèmes de comptabilité avec le lecteur d'écran ou des arrêts anormaux de celui-ci alors que les problèmes de navigation pour les participants voyants étaient des messages d'erreur, des temps de téléchargement longs, des déconnexions du réseau internet et des fonctionnalités difficiles à trouver. Ces auteurs ont constaté, lors d'une étude précédente (Ceaparu, Lazar, Bessiere, Robinson, & Shneiderman, 2004), que l'allongement du temps des utilisateurs aveugles était inférieur (30,4%) à celui d'étudiants voyants (38,9%) et à celui de salariés voyants (42,7%). Cependant, le calcul du temps perdu était basé sur le temps total de navigation du participant en question. Cela ne suggère donc pas que les utilisateurs aveugles réalisent une tâche plus rapidement que les utilisateurs voyants mais qu'ils résolvent plus rapidement un problème rencontré lors de leur navigation web que les utilisateurs voyants, soit par connaissance du problème, soit par expertise dans la résolution de problèmes de navigation. En effet, lors d'apparitions de ces problèmes, les utilisateurs aveugles étaient moins susceptibles d'abandonner leur tâche ou de redémarrer l'ordinateur que les utilisateurs voyants. Ils optaient généralement pour une solution alternative, qu'ils connaissaient déjà ou non, plutôt que de redémarrer l'ordinateur (Ceaparu et al., 2004; Lazar et al., 2007). Ce choix peut s'expliquer par le fait que le redémarrage de l'ordinateur n'a pas le même impact sur les utilisateurs aveugles que voyants. En effet, le redémarrage de l'ordinateur oblige les utilisateurs aveugles à tout recommencer, pouvant entraîner un allongement du temps plus long que celui de tenter de résoudre le problème. Dans cette incertitude, les utilisateurs aveugles optent pour la solution la moins risquée. Les ULEDV

doivent ainsi effectuer perpétuellement un arbitrage de gestion de l'incertitude, du temps et de la charge mentale (Uzan, 2005), ce qui explique leur besoin primordial d'une navigation web efficace et rapide.

5.3.3. Les besoins de navigation web des utilisateurs de lecteur d'écran déficients visuels

Les résultats des travaux de Sperandio et al. (2002) confirment l'importance de ce besoin. En effet, ces auteurs ont constaté un allongement du temps de navigation globale des ULEDV (multiplié par 5 par rapport à la navigation des participants voyants), un allongement du temps de navigation par page (multiplié par 6,5 par rapport à la navigation des participants voyants), de nombreux abandons, des pertes d'informations (ils visitent légèrement moins de pages que les participants voyants : 1,17 fois moins), un nombre important d'incidents de navigation (multiplié par 10 par rapport aux participants voyants) et des incertitudes sur la présence d'informations (multiplié par 2 par rapport aux participants voyants). Cependant, ces difficultés sont largement amoindries par l'intervention d'un magicien d'oz. Dans cette étude, le magicien d'oz est une personne voyante qui va exécuter les actions à la place de l'utilisateur déficient visuel selon ses instructions. Il permet de supprimer les difficultés de navigation liées au lecteur d'écran afin que la personne déficiente visuelle puisse se focaliser sur le contenu informatif du site web. Ainsi, avec le magicien d'oz, le temps de navigation des ULEDV est diminué de 55%, le nombre de pages visitées est divisé par 3 car les ULEDV ciblent mieux les informations pertinentes et évitent la consultation de pages inutiles et enfin, les micro-incidents sont réduits (21 fois moins). Le magicien d'oz a donc permis aux ULEDV de ne pas limiter leurs besoins d'information comme ils le font habituellement ainsi que de ne pas surcharger leur MDT en les libérant de la contrainte de navigation. Cette méthode a alors permis d'identifier les caractéristiques des actions et de communication lors de la navigation web des

ULEDV, correspondant à certains de leurs besoins. C'est pourquoi Sperandio et al. (2002) préconisent un agent intelligent d'aide à la navigation basé sur ces caractéristiques. Les auteurs ont alors défini 4 fonctions essentielles que devrait posséder un tel agent d'assistance :

- Assistance de la mémoire de l'utilisateur : alléger la mémoire de travail de l'utilisateur en mémorisant les segments du parcours, les points parcourus, les points non encore parcourus, etc. mais également en n'obligeant pas l'utilisateur à tout reprendre dès le début lorsqu'un but de recherche n'aboutit pas.
- Assistance de veille : attirer l'attention de l'utilisateur vers les informations implicites liées aux intentionnalités cachées. Les informations explicites sont celles susceptibles d'être lues directement. Les informations implicites sont « lisibles en creux ». Par exemple montrer, à côté d'informations présentes, qu'il existe d'autres informations non présentes mais susceptibles d'être atteintes par ailleurs.
- Assistance d'enrichissement des contenus : quand des informations sont présentées sous forme de listes ou de tableaux, indiquer la nature de la présentation de l'information au préalable pour faciliter l'élagage et la compréhension.
- Assistance au filtrage des informations : l'enrichissement des contenus par l'ajout de mots n'est pas la seule aide au filtrage. L'assistant au filtrage devrait restituer la saillance perceptive d'éléments par des mises en relief visuelles (intensité, couleurs, clignotements, etc.).

Ceci dit, les besoins des ULEDV restent encore méconnus dans la littérature scientifique, il est donc difficile de statuer sur une liste exhaustive de ceux-ci. Uzan, M'Ballo, Wagstaff et Dejeammes (2011) sont les seuls auteurs à avoir créé un modèle complet des besoins des déficients visuels ainsi que des motifs de navigation : le modèle SOLID (Sécurité, Orientation, Localisation, Information, Déplacement). Cependant, il s'agit d'un modèle élaboré dans le cadre de déplacements physiques des piétons-voyageurs. Néanmoins, il est possible

d'établir une correspondance entre les besoins listés par ce modèle avec les besoins de navigation web.

Le modèle SOLID caractérise la chaîne de déplacement et distingue différentes étapes dans la prise d'information : la chaîne de déplacements, les motifs de déplacements, les besoins jalonnant le parcours, un découpage en zones de déplacements centré sur les représentations et les besoins des piétons-voyageurs, les incertitudes et modes de transport, la nature des informations à communiquer ou à échanger et les instants pertinents de prise d'information. La chaîne de déplacement comprend des tâches transitionnelles correspondant au cycle entrer/sortir (d'une gare, station ou arrêt, d'un véhicule, d'une zone, d'un bâtiment), des tâches relatives aux situations critiques et des tâches nommées « agir » qui recouvrent toutes les tâches liées au déplacement physique ou à des activités connexes concernant toutes les tâches relatives au transport proprement dit (attendre, consulter, prendre de l'information, acheter un titre de transport, etc.), ou aux activités réalisables durant le déplacement (acheter, se restaurer, lire, écouter, téléphoner, etc.). Lors du déplacement du piéton-voyageur, il se déplace en plusieurs segments. Chaque segment de déplacement crée à ses extrémités deux activités mentales différentes. L'extrémité finale d'un segment est l'extrémité de départ d'un autre. Durant le premier segment, l'activité mentale du piéton-voyageur est occupée à atteindre la terminaison, c'est-à-dire, à vérifier que le cheminement est le bon, que la cible-destination est toujours atteignable, qu'elle n'a pas été dépassée et qu'elle est toujours valide par rapport à son itinéraire global. En atteignant cette extrémité, il vérifiera que l'extrémité du segment est bien ce à quoi il s'attendait. Une fois cela vérifié, le piéton-voyageur substitue dans sa MDT le nouveau segment de parcours et sa nouvelle extrémité d'arrivée.

Ainsi, les besoins de déplacement des piétons-voyageurs sont constitués en 5 catégories :

- le besoin de sécurité pour éviter les chutes, les chocs et les collisions ;

- le besoin de localisation. Deux types de localisations sont distingués :
 - o l'égo-localisation, soit la localisation du soi dans un environnement donnée. Le piéton répond à la question « où suis-je ? » ;
 - o l'halo-localisation, soit la connaissance des espaces et des objets dans leurs relations spatiales. Le piéton répond aux questions « qu'y-a-t-il autour de soi, dans quelle disposition, agencement ou dimension, avec quelles possibilités de mobilité ou d'immobilité ? Quelle dimension relative ou distance existe-t-il entre les objets qui m'entourent ? ».
- le besoin d'orientation qui nécessite le maintien d'une démarche rectiligne, le respect d'une trajectoire ou d'un trajet, la mémoire et le maintien vers une destination intermédiaire ou d'étapes, le maintien en mémoire et le suivi d'un itinéraire et l'élaboration d'un itinéraire de substitution en cas d'incident (perturbations, travaux, par exemple) ou dû à un choix volontaire (changement de destination finale) ;
- le besoin d'informations comprenant :
 - o les informations « transport » sur la circulation piétonne et les accès divers (les dessertes, les liaisons, les horaires, les perturbations, la disponibilité du service) ;
 - o les informations « hors transport » sur l'environnement et les activités périphériques (l'architecture, le tourisme, les points d'intérêt, les commerces, loisirs et culture, etc.) ;
- le besoin au niveau du déplacement physique :
 - o pour éviter les difficultés de franchissement ;
 - o pour éviter la pénibilité (charge physique du déplacement due aux caractéristiques des voyageurs ou à la spécificité de l'infrastructure, du véhicule ou de ruptures de charge).

Ces 5 catégories de besoins sont en fonction de quatre zones de déplacement : la zone de surface (zone commerciale, trottoirs extérieurs, etc.), la zone d'accès (couloirs du métro), la zone de transfert (quai et plateforme du véhicule donnant sur l'ouverture des portes) et la zone de transportation (véhicule). Ce modèle caractérise également les motifs de déplacements des piétons-voyageurs en 4 catégories :

- l'activité physique (courses, promenades, jogging, etc.) ;
- les relations sociales avec d'autres (activité collective, ballade, discussions, retrouvailles, « en marchant/allant à », etc.) ;
- la connaissance d'un environnement (un réseau, ligne, site, quartier, bâtiment, point d'intérêt, architecture, tourisme, activités et équipements locaux, etc.) ;
- atteindre un lieu, une personne ou un objet, soit un élément qui peut être stable comme mobile.

Nous proposons d'établir des correspondances entre les types tâches, de besoins et de motifs de la chaîne de navigation physique et ceux de la chaîne de navigation web telles qu'elles sont présentées, à partir d'exemples, dans le Tableau 2, le Tableau 3 et le Tableau 4.

Tableau 2. Exemples de correspondances entre les types de tâches lors de la navigation physique (modèle SOLID) et ceux lors de la navigation web.

Tâches	Navigation physique	Navigation web
Transitionnelles	Entrer/sortir d'une gare, d'un véhicule, etc.	Entrer/Sortir d'un site web, d'une page web, etc.
Liées au déplacement	Marcher avec sa canne blanche	Naviguer à partir des flèches
Relatives au transport	Acheter un titre de transport pour circuler	Ouvrir le navigateur web et taper l'adresse du site web
Durant le déplacement	Lire, acheter, discuter, etc.	Lire ou écrire un message, discuter en ligne, etc.
Relatives aux situations critiques	Une foule qui se met à courir nécessitant l'éloignement rapide de ce couloir	Apparition d'un escamot nécessitant sa fermeture ou le changement de page web

Tableau 3. Exemples de correspondances entre les besoins lors de la navigation physique (modèle SOLID) et ceux lors de la navigation web.

Besoin		Navigation physique	Navigation web
Sécurité	Choc/Collision	Passage bloqué par des travaux	Captchas : impossibilité de créer un compte
	Chute	Trous dans le sol	Perdition : plus de repères dans le site web
Localisation	Ego-localisation	Où-suis-je ? dans quelle rue ? quelle ligne de métro ?	Sur quel site web suis-je ? dans quelle page web ?
	Halo-localisation	Sortie la plus proche du métro pour éviter un détour	Regroupements mentaux (mots-clés en gras par exemple)
Orientation	Itinéraire à suivre	Maintien en mémoire de l'itinéraire	Maintien en mémoire du chemin de navigation
	Itinéraire de substitution	Nouvel itinéraire en cas de travaux	Nouveau chemin de navigation en cas d'erreur (Erreur 404 : page web inexistante)
Information	Transport	Informations sur les perturbations	Informations sur l'apparition d'un message d'erreur
	Hors transport	Informations sur l'architecte de la station	Information sur le directeur de la publication (mentions légales)
Besoin au niveau du déplacement physique	Difficultés de franchissement	Passage étroit (travaux)	Chargement de la page très lent
	Pénibilité	Charge physique (personnes âgées)	Charge mentale (l'individu n'a plus les moyens de réaliser la RI et souhaite abandonner)

Tableau 4. Exemples de correspondances entre les motifs lors de la navigation physique (modèle SOLID) et ceux lors de la navigation web.

Motif	Navigation physique	Navigation web
Activité physique	Jogging	Jouer (Divertissement)
Relations sociales	Discussion	Discussion en ligne
Connaissance d'un environnement	Savoir où se situe un magasin	Savoir quels ingrédients mettre pour cuisiner une recette précise (connaissance d'un élément)
Atteindre un lieu/personne/objet	Acheter un magnétophone dans un magasin	Acheter un magnétophone en ligne (acquisition d'un bien ou service)

Les 4 zones de navigation physique trouvent également leur correspondance avec la navigation web. La zone de surface correspond à un site web généraliste tel qu'un portail web²⁵. La zone d'accès correspond à une page d'accueil d'un site web donné. La zone de transfert

²⁵ Un portail web est un site web qui rassemble un large éventail de ressources et services de toute nature sur une même page.

correspond aux liens ou aux processus d'interaction. La zone de transportation est un cas particulier car elle n'existe pas pour l'individu mais uniquement pour les sites web. Cette zone ne transporte pas l'individu mais les sites web qui sont apportés jusqu'à l'individu. Ainsi, il nous semble approprié d'utiliser ce modèle en l'appliquant dans le contexte de la navigation web lors de nos études empiriques afin de caractériser les types de tâches, de besoins et de motifs de la chaîne de navigation web des ULEDV.

Pour conclure sur la navigation web des ULEDV, nous avons énuméré une liste non exhaustive des difficultés qu'ils rencontrent, des stratégies qu'ils utilisent et des besoins qui en découlent. Néanmoins, de nombreuses règles, critères et heuristiques peuvent aider à résoudre ces problèmes et satisfaire leurs besoins, comme les règles d'accessibilité WCAG 2.0, les critères de Bastien et Scapin (1993) et les heuristiques de Nielsen (1994) que nous allons présenter dans la section suivante.

5.4. Les règles d'accessibilité et les recommandations ergonomiques

Différents problèmes rencontrés par les ULEDV et les besoins qui en découlent peuvent en effet être partiellement satisfaits par les règles d'accessibilité WCAG 2.0, voire par certains critères et certaines heuristiques ergonomiques comme ceux de Bastien et Scapin (1993) et de Nielsen (1994). La Tableau 5 présente les critères ergonomiques de Bastien et Scapin (1993) et les 10 heuristiques de Nielsen (1994).

Tableau 5. Les critères ergonomiques de Bastien et Scapin (1993) et les 10 heuristiques de Nielsen (1994).

Critères de Bastien et Scapin :	Heuristiques de Nielsen :
1. Guidage	1. Visibilité de l'état du système
1.1 Incitation	2. Correspondance du système avec le monde réel
1.2 Groupement/Distinction entre items	3. Contrôle de l'utilisateur et liberté
1.2.1 Groupement/Distinction par la localisation	4. Cohérence et standards
1.2.2 Groupement/Distinction par le format	5. Prévention des erreurs
1.3 Feedback immédiat	6. Reconnaître plutôt que de se souvenir
1.4 Lisibilité	7. Flexibilité et efficience
2. Charge de travail	8. Esthétique et design minimaliste
2.1 Brièveté	9. Faciliter l'identification, le diagnostic et la réparation des erreurs par l'utilisateur
2.1.1 Concision	10. Aide et documentation
2.1.2 Actions minimales	
2.2 Densité informationnelle	
3. Contrôle explicite	
3.1 Actions explicites	
3.2 Contrôle utilisateur	
4. Adaptabilité	
4.1 Flexibilité	
4.2 Prise en compte de l'expérience utilisateur	
5. Gestion des erreurs	
5.1 Protection contre les erreurs	
5.2 Qualité des messages d'erreurs	
5.3 Correction des erreurs	
6. Homogénéité/Cohérence	
7. Signifiante des codes et dénominations	
8. Compatibilité	

L'application des critères de Bastien et Scapin (1993) permet d'optimiser les systèmes d'information, et en particulier, d'optimiser la présentation d'hypertextes de manière à ce que son contenu soit compris plus efficacement au cours de la lecture oculaire silencieuse (Bastien & Tricot, 2008). Les heuristiques de Nielsen (1994) ont également pour but de guider la conception des interfaces pour une utilisation plus efficace. Ainsi, il est possible de trouver des correspondances entre ces critères ergonomiques et ces principes heuristiques avec les règles d'accessibilité WCAG 2.0. Pour donner un exemple, le Tableau 6 met en évidence quelques

problèmes rencontrés par les ULEDV (cf. section 5.3.1) pouvant être potentiellement évités par l'application de ces règles, critères et heuristiques (de manière non exhaustive).

Tableau 6. Exemples de problèmes rencontrés par les ULEDV résolus par les règles d'accessibilité WCAG 2.0, les critères de Bastien et Scapin (1993) et les heuristiques de Nielsen (1994).

Problèmes rencontrés	Règles d'accessibilité	Critères ergonomiques	Heuristiques
Manque de contexte	2.4.4 : Chaque lien est associé à son contexte.	1. Guidage : Conseiller, orienter, informer et conduire 7. Signifiante des codes et dénominations : Adéquation entre l'information affichée et son référent	6. Reconnaître plutôt que se souvenir : Instructions visibles ou facilement accessibles
Perte de localisation	2.4.8 : L'utilisateur dispose d'informations pour se situer dans les pages web.	1. Guidage : Conseiller, orienter, informer et conduire	6. Reconnaître plutôt que se souvenir : Instructions visibles ou facilement accessibles
Conflit entre Exploration et Mode « formulaire »	3.2.1 : Quand un composant reçoit le focus, il ne doit pas initier de changement de contexte.	5.1. Protection contre les erreurs : Mettre en place des moyens pour détecter et prévenir les erreurs.	5. Prévention des erreurs : Prévenir les problèmes que pourrait rencontrer l'utilisateur.
Impossibilité d'aller directement au contenu	2.4.1 : Possibilité de contourner les blocs de contenu répétés sur plusieurs pages web.	2.1. Brièveté : Limiter le travail de lecture, d'entrée et les étapes des utilisateurs.	8. Esthétique et design minimaliste : Ne pas proposer les informations non pertinentes.

Ainsi, ce tableau permet de mettre en lumière que des solutions existent déjà. Par exemple, l'application de la règle d'accessibilité 2.4.4 « Fonction du lien », les critères ergonomiques « Signifiante des codes et dénominations » et « Guidage » ainsi que la sixième heuristique « Reconnaître plutôt que de se souvenir » peut résoudre le problème de manque de contexte, notamment lorsqu'un lien ne permet pas à l'utilisateur de savoir à quoi il aboutit en l'absence du contexte discursif antérieur. Par exemple, le contexte du lien « lire la suite » doit être explicité de la manière suivante : « lire la suite de l'article de Tordo ».

Néanmoins, malgré toutes ces recommandations qui peuvent être appliquées pour résoudre les problèmes d'accessibilité, les difficultés rencontrées par les ULEDV persistent. Ce phénomène peut s'expliquer par des problèmes de compréhension lors de l'utilisation des recommandations (Bastien, 2004). Les recommandations, étant très générales afin d'être applicables dans de nombreux contextes, favorisent l'interprétation des concepteurs,

développeurs ou éditeurs web (d'autant plus qu'ils sont souvent en situation de stress dues aux délais). Sloan, Heath, Hamilton, Kelly, Petrie et Phipps (2006) ainsi que Nevile (2005) s'accordent sur ce point et mettent en exergue les limites des règles d'accessibilité WCAG. Premièrement, ces règles restent subjectives. Elles peuvent être interprétées de plusieurs manières selon le concepteur et le contexte. Deuxièmement, l'organisation de ces règles peut être difficile à comprendre et à appliquer dans une situation particulière. En effet, le concepteur n'a habituellement pas les compétences pour décider de la meilleure solution pour une situation donnée car ne connaît ni les besoins des utilisateurs, ni les problèmes auxquels ils font face. Troisièmement, ces règles restent dans une logique d'adaptation d'interfaces qui sont initialement prévues pour les personnes voyantes. Dernièrement, un certain niveau de connaissances et de compréhension des problèmes d'accessibilité est nécessaire pour comprendre ces règles. Ces standards semblent alors mal compris et sont, par conséquent, peu utilisés ou mal appliqués et évalués. Brajnik, Yesilada et Harper (2010) ont d'ailleurs montré ce constat à partir d'une étude sur l'évaluation de l'accessibilité des sites web. Pour qu'une règle WCAG soit validée comme respectée, il faut que 80% des évaluateurs soient d'accord sur cette validation selon les exigences du W3C. Or, 50% des critères ne parviennent pas à atteindre le seuil des 80%. Deux raisons expliquent ce résultat. Premièrement, l'expertise en accessibilité web des évaluateurs joue un rôle important dans l'évaluation de l'accessibilité d'un site web. En effet, les évaluateurs experts ont produit 20% de fausses reconnaissances de problèmes d'accessibilité et ne reconnaissent pas 32% de réels problèmes. Ce constat s'aggrave lorsque les évaluateurs ne sont pas experts. En effet, les évaluateurs non-experts ont produit 42% de fausses reconnaissances et n'ont pas reconnu 49% de réels problèmes. Secondement, la subjectivité des évaluateurs a un impact important sur l'évaluation de l'accessibilité du site web. Cette subjectivité dépend elle-même de l'expertise. Le problème vient du fait que l'expertise de l'évaluateur n'est pas une expertise de l'accessibilité en général - qui peut être caractérisée

comme la connaissance du fonctionnement des technologies d'assistance, des problèmes typiques d'accessibilité, des comportements des utilisateurs ou de leurs préférences - mais est une expertise des règles d'accessibilité WCAG. En effet, ces auteurs ont également relevé une différence significative entre les connaissances de l'accessibilité en général et les connaissances des règles d'accessibilité WCAG. Cette différence peut s'expliquer par le fait que nous sommes dans une logique de retranscription des informations visuelles en informations auditives, assurée par les standards du W3C. Nous sommes alors dans une logique d'obligation de moyens et non une obligation de résultats. Par conséquent, l'accessibilité web est restreinte à l'accessibilité normative garantie par ces standards. Un exemple démonstratif est celui d'un audit d'un site web d'une université australienne qui a été évalué non conforme aux règles d'accessibilité WCAG. Pourtant, le site web n'était pas particulièrement inutilisable par les personnes déficientes visuelles. Cependant, la plupart des pages web contenait au moins une caractéristique non-conforme à ces règles (Nevile, 2005). Ainsi, l'accessibilité normative peut conduire à une description trompeuse d'un site web (Leuthold et al., 2008). Cette approche est alors insuffisante car elle encourage les concepteurs à se focaliser uniquement sur les règles à respecter pour donner l'accès aux informations visuelles et non sur l'utilisabilité de l'interface pour un déficient visuel. Or, « l'accessibilité à » ne suffit pas. L'important est « l'utilisabilité de » l'interface, c'est-à-dire une interface qui peut être utilisée par des utilisateurs identifiés, pour atteindre des objectifs précis avec efficacité, efficience et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié tel que le définit la norme ISO 9241-11 (1998). Une interface utilisable pour les ULEDV est alors une interface qu'ils peuvent utiliser correctement de manière efficace et efficiente en les satisfaisant pleinement, soit une interface accessible pour eux. Dans ce sens, il est alors fondamental de prendre en compte l'activité des ULEDV selon leurs caractéristiques, les situations et les fonctionnalités dont ils ont besoin (Newell & Gregor, 2000). Les approches

de Phipps et Kelly (2006) et Sloan et al. (2006) vont dans ce sens en tentant de satisfaire non seulement une accessibilité normative mais également une accessibilité effective.

5.5. L'approche holistique de l'accessibilité des interfaces web

Pour rendre une interface utilisable, Phipps et al. (2006) soutiennent l'idée qu'il est préférable de développer un équivalent accessible plutôt que d'ajouter une couche d'accessibilité sur l'existant, notamment en se contentant d'oraliser les informations visuelles en informations auditives. Selon ces auteurs, l'utilisabilité de l'interface pour les ULEDV ne se fera que par une bonne compréhension de la navigation web de ces utilisateurs, des technologies d'assistance utilisées, des interactions entre ces technologies et les utilisateurs, des problèmes rencontrés et des besoins qu'ils génèrent. Ils adoptent alors une approche holistique, c'est-à-dire une approche estimant qu'il faut prendre en compte l'ensemble des éléments d'un phénomène comme un tout indissociable, qui comprend 5 étapes :

- Conscience : prendre conscience des besoins des personnes handicapées, soit s'informer du fonctionnement des technologies d'assistance, de l'utilisation des personnes handicapées avec ces technologies et de leur accès au web ;
- Recherche : se renseigner sur l'existant des procédés pour rendre une interface accessible (normes du W3C, par exemple) ;
- Compréhension : réflexion sur l'application des normes selon les besoins des utilisateurs (si l'application des standards ne va pas à l'encontre de l'objectif des utilisateurs) et sur une éventuelle alternative plus adaptée à leurs besoins ;
- Exécution : développement de l'interface de façon « accessible » avec éventuellement la participation des utilisateurs ;

- Evaluation : s'assurer que les besoins des utilisateurs sont satisfaits en prenant en compte l'ensemble, soit l'interaction des utilisateurs avec l'interface, l'environnement et le contexte d'utilisation.

Ainsi, cette approche recommande la prise en compte des caractéristiques des utilisateurs, leurs besoins, leurs interactions avec l'interface et le lecteur d'écran dans un contexte donné tout en prenant en compte l'existant pour une meilleure adaptation de l'interface. Sloan et al. (2006) adoptent également cette approche. En effet, ces auteurs prônent une approche holistique qui prend en compte le contexte d'utilisation comprenant les caractéristiques de l'utilisateur (déficience sensorielle, cognitive, etc.), les prérequis du domaine (les tâches qu'ont besoin d'exécuter les utilisateurs, les facteurs environnementaux, etc.), les prérequis techniques (disponibilité des logiciels et agents d'assistance) et les exigences de performance (taux de réussite, temps d'exécution, taux de satisfaction, etc.).

En somme, l'approche holistique s'intègre dans une conception centrée sur l'utilisateur qui rentre en opposition avec l'approche actuelle, que nous nommons l'approche exhaustive. En effet, l'approche exhaustive, permise par l'accessibilité normative, se base sur le postulat de l'accès à tous aux mêmes informations pour assurer l'accessibilité des interfaces. Ainsi, un ULEDV doit avoir accès à la même information qu'un utilisateur voyant. Pour cela, une équivalence textuelle doit être fournie à chaque information visuelle présente sur l'interface. Toutes les informations visuelles vont alors être retranscrites en informations auditives. Cette approche garantit que la tâche puisse être réalisée par les ULEDV mais ne garantit pas la réalisation de la tâche de manière efficiente et satisfaisante pour les ULEDV, n'assurant donc pas l'accessibilité effective.

6. Problématique générale

Notre objectif principal est d'étudier l'importance de l'accessibilité effective, c'est-à-dire une accessibilité qui permet de rendre l'interface utilisable pour la population ciblée selon la définition de la norme ISO 9241-11 (1998), afin de répondre aux besoins des ULEDV. L'approche holistique nous semble alors appropriée pour satisfaire cette accessibilité. En effet, cette approche prescrit une meilleure adaptation de l'interface par la prise en compte du contexte d'utilisation des ULEDV (leur navigation web, leurs interactions avec le lecteur d'écran, leurs besoins, etc.). De ce fait, notre but est découvrir si l'approche holistique engendre un gain substantiel en termes de charge cognitive et d'utilisabilité selon les 3 critères : efficacité, efficience et satisfaction.

Pour atteindre notre objectif, il faut tout d'abord connaître le contexte d'utilisation des ULEDV afin de mettre à l'épreuve l'approche holistique. Pour cela, une analyse de l'activité en 2 temps est nécessaire (Brangier, Lancry, & Louche, 2004; Georgeon, 2008; Guérin, Laville, Daniellou, Duraffourg, & Kerguelen, 2006; Leplat, 2000, 2001; Sperandio, 1980). Dans un premier temps, la méthode de l'observation permet de relever les comportements observables de l'activité des utilisateurs. Dans un second temps, la méthode des entretiens permet d'identifier les raisons des comportements des utilisateurs dans leur contexte d'utilisation (motifs, besoins, etc.), soit la partie non observable. Cette méthode permet ainsi de connaître les besoins, tâches et activités de la population cible (Baccino, Bellino, & Colombi, 2005).

Ainsi, nous réaliserons une analyse de l'activité en 2 étapes. La première étape correspond à une démarche inductive qui vise à établir des connaissances sur la navigation web des ULEDV de manière exploratoire en identifiant leurs moyens de navigation mais qui a également pour but de distinguer les différences entre la navigation web des ULEDV et celle des utilisateurs voyants. Lors de cette étape, nous mettrons à l'épreuve une hypothèse fondée sur les travaux de Sperandio et al. (2002). En effet, ces auteurs ont montré que la sérialisation

du lecteur d'écran entraîne de nombreuses difficultés (allongement du temps de navigation, incidents de navigation, incertitude sur la présence de l'information recherchée, etc.). Nous faisons ainsi l'hypothèse générale selon laquelle les ULEDV ont des temps d'exécution des tâches plus longs, un nombre d'opérations²⁶ effectués supérieur, un nombre de pages visitées inférieur et un taux de satisfaction inférieur que ceux des utilisateurs voyants. Cette étape sera réalisée à partir d'une observation armée (chapitre 7). L'observation armée est une observation provoquée où l'utilisateur est placé dans son contexte habituel pour réaliser une activité particulière à partir de scénarios préalablement établis. Cette observation permet ainsi de créer de l'activité afin d'observer directement la façon dont l'utilisateur se sert d'une interface (Leplat, 2000, 2001; Sperandio 1980). La deuxième étape de l'analyse de l'activité consiste à la caractérisation des types de tâches, des motifs et des besoins afin de créer un modèle complet de la navigation web des ULEDV par transposition du modèle SOLID (Uzan et al., 2011). Cette étape sera réalisée à partir d'une enquête contextuelle (chapitre 8). L'enquête contextuelle est une forme d'entretien étroitement centré sur l'analyse d'une activité spécifique mettant l'évaluateur en position d'apprenti. La verbalisation des utilisateurs permet de connaître les éléments non observables, tels que les motifs et besoins, permettant de recueillir des informations précises sur ce qu'ils font « réellement » en contexte lors d'une activité donnée (Baccino et al., 2005). Ainsi, cette analyse de l'activité va permettre de recueillir les données élémentaires pour comprendre la navigation web des ULEDV et susciter les hypothèses préalables à l'expérimentation (Sperandio, 1980).

A partir du modèle de la navigation web des ULEDV créé à la suite de cette analyse de l'activité, leurs besoins seront identifiés. Nous pourrons ainsi appliquer l'approche holistique et la confronter à l'approche exhaustive - qui retranscrit exhaustivement les informations

²⁶ Toute utilisation du clavier ou de la souris est considérée comme une opération effectuée par le participant.

visuelles en informations auditives - lors de 3 expériences (chapitre 9). Cette retranscription exhaustive génère la lecture de nombreuses informations qui, de plus, sont souvent redondantes et pas toujours pertinentes avec la tâche. Or, nous savons, d'une part, qu'un nombre important d'informations présentées alourdit la charge cognitive (Bastien, 1997) et diminue les performances (DeStefano et al., 2007). D'autre part, le traitement d'informations redondantes et non pertinentes avec l'objectif augmente la charge cognitive (Sweller, 2010). Plusieurs travaux corroborent ces résultats (Dinet et al., 2002; Rouet, 2003; Rouet et al., 1998). En effet, le nombre important d'informations entraîne une surcharge en MDT, d'autant plus si elles ne sont pas pertinentes avec la tâche. Par conséquent, la retranscription exhaustive alourdit la charge cognitive des ULEDV. De plus, Rouet et al. (1998) ainsi que Le Bohec et al. (2005) mettent en évidence le fait que les informations superflues favorisent de mauvaises décisions quant au choix des éléments essentiels à traiter lors de la phase de sélection, alourdissant d'autant plus la charge lors de cette étape. Ignacio et al. (2009) confirment ce résultat en relevant une charge cognitive plus basse lors de la prise de décision lorsque les liens d'un hypertexte sont mis en lumière. De surcroît, la charge cognitive peut varier en fonction de l'expertise de l'utilisateur (Kirschner, 2002). Plus le niveau d'expertise est important, plus la charge cognitive est faible (toutes choses égales par ailleurs). En effet, les utilisateurs experts perçoivent plus rapidement les informations pertinentes que les utilisateurs novices, ils cherchent plus profondément l'information pertinente et ne traitent qu'elle, à l'inverse des novices qui se focalisent directement sur la donnée disponible (Cellier et al., 2010). En outre, la désactivation de la représentation du but, nécessitant des ressources supplémentaires pour réactiver cette représentation, semble être amoindrie, voire absente, lorsque les utilisateurs sont experts. (Dinet et al., 2002). De plus, en présence d'un nombre trop important d'informations, les experts mettent en place des stratégies moins coûteuses pour réduire cette quantité (Kirschner, 2002). Ainsi, la forte charge cognitive des ULEDV due au nombre important d'informations

présentées, redondantes et pas toujours pertinentes avec le but, peut être allégée par un haut niveau d'expertise. Sur ces postulats, nous émettons alors 3 hypothèses selon lesquelles :

- l'application de l'approche holistique lors de la conception d'interfaces web engendre une plus faible charge cognitive des ULEDV que celle de l'approche exhaustive, entraînant ainsi une meilleure efficacité, une meilleure efficacité et un meilleur taux de satisfaction ;
- cet allègement de la charge cognitive est plus important lors de la phase de sélection (prise de décision) que lors de la phase de lecture du contenu ;
- le bénéfice apporté par l'approche holistique est plus important pour les ULEDV novices que pour les ULEDV experts.

Ces hypothèses seront testées à partir de 3 expériences : une expérience évaluant la charge cognitive à l'aide du questionnaire NASA-RTLX, une expérience évaluant la charge cognitive au moyen du paradigme de la double tâche et une expérience réalisée dans des conditions plus naturelles que les 2 précédentes. Ainsi, d'une part, ces 3 expériences permettront d'évaluer la charge cognitive avec 2 types de mesures complémentaires (cf. section 3.4). D'autre part, le paradigme de la double tâche permettra de mesurer la charge cognitive à un instant précis afin de mettre à l'épreuve la deuxième hypothèse. La troisième expérience permettra de mettre à l'épreuve nos hypothèses dans des conditions plus naturelles que lors des 2 expériences précédentes et d'éprouver notre hypothèse concernant la satisfaction des ULEDV.

Pour récapituler, les résultats obtenus permettront d'acquérir les connaissances nécessaires sur les ULEDV (moyens de navigation, motifs, besoins, etc.) afin d'appliquer l'approche holistique et de découvrir si son application apporte un bénéfice substantiel en termes de charge cognitive mais également en termes d'efficacité, d'efficacité et de satisfaction dans le but d'une meilleure adaptation de l'interface. Nous présenterons ces études dans les

chapters suivants en précisant les hypothèses opérationnelles de chacune, en justifiant les choix méthodologiques pour la mise à l'épreuve de ces hypothèses et en discutant des résultats obtenus.

Partie 2 : Etudes

7. L'observation armée

Pour mettre à l'épreuve l'approche holistique, il faut tout d'abord relever l'activité des ULEDV dans leur contexte d'utilisation. Pour cela, une analyse de l'activité des ULEDV en 2 étapes a été menée. Lors de la première étape de cette analyse, nous avons réalisé une observation armée afin de répondre à 2 objectifs distincts. Notre premier objectif est d'appréhender la navigation web des ULEDV avec un lecteur d'écran sur des interfaces riches, c'est-à-dire comprendre comment ils interagissent avec les interfaces riches et le lecteur d'écran (moyens spécifiques de navigation web, problèmes rencontrés, etc.). Notre second objectif est de comparer les performances des ULEDV avec celles des utilisateurs voyants pour mettre à l'épreuve notre hypothèse générale selon laquelle les ULEDV ont des temps d'exécution des tâches plus longs, un nombre d'opérations effectués supérieur, un nombre de pages visitées inférieur et un taux de satisfaction inférieur que ceux des utilisateurs voyants lors de leur navigation web sur des interfaces riches.

7.1. Hypothèse

Pour cette première étude, notre hypothèse est fondée sur les travaux de Sperandio et al. (2002) qui ont mis en évidence de nombreuses difficultés causées par la sérialisation du lecteur d'écran (allongement du temps de navigation, incertitudes sur l'atteinte de l'information, etc.). Ainsi, les ULEDV ont besoin d'un temps et d'un nombre d'opérations supérieurs à ceux des utilisateurs voyants pour atteindre l'élément souhaité dans la page web nécessaire à la réalisation de leur objectif. En effet, les utilisateurs voyants peuvent atteindre d'un seul clic l'élément voulu dans la page avec la souris de par leur vision, ce qui n'est pas le cas des

ULEDV. De plus, l'incertitude d'accéder à l'information recherchée des ULEDV les limite dans leur navigation, ce qui réduit le nombre de pages visitées. Par conséquent, leur satisfaction est affectée négativement par ces difficultés. Ces considérations nous amènent ainsi à formuler les 4 hypothèses opérationnelles suivantes :

Hypothèse 1a : les temps d'exécution des tâches des participants déficients visuels sont supérieurs à ceux des participants voyants.

Hypothèse 1b : le nombre d'opérations effectués par les participants déficients visuels est supérieur au celui des participants voyants.

Hypothèse 1c : le nombre de pages visitées par les participants déficients visuels est inférieur à celui des participants voyants.

Hypothèse 1d : Le taux de satisfaction des participants déficients visuels est inférieur à celui des participants voyants.

7.2. Méthodologie

7.2.1. Matériel

Deux sites web ont été utilisés pour cette observation armée : le site web Fnac²⁷ et le site web Facebook²⁸. Le premier site web est un site web d'achat en ligne et le second est un réseau social en ligne. Ces sites web ont été choisis pour leur richesse en information mais aussi leur richesse en possibilités d'interaction dynamique, correspondant à la définition d'interfaces riches (cf. section 2.3).

Un questionnaire de sélection a été élaboré pour sélectionner les participants à partir de leurs caractéristiques (âge, type de cécité et maîtrise de la langue française) et de leurs usages des systèmes informatiques. Ce questionnaire a également permis d'évaluer leur expertise selon

²⁷ <http://www.fnac.com> (octobre 2010)

²⁸ <http://www.facebook.com> (octobre 2010)

leur fréquence d'utilisation de ces systèmes, d'Internet, des sites web d'achat en ligne et des réseaux sociaux. Ce questionnaire de sélection est présenté en Annexe 1. Afin que les personnes interrogées répondent jusqu'à la fin du questionnaire de sélection, celui-ci devait respecter une longueur raisonnable. De ce fait, un questionnaire supplémentaire, préalable à la réalisation des tâches, a été créé afin de confirmer les informations renseignées au questionnaire de sélection et d'obtenir des informations complémentaires sur les participants (niveau d'étude, progression de la cécité, raison de la cécité, etc.) mais également sur leurs habitudes lors de leur navigation web et sur les sites web utilisés. Ce pré-questionnaire est présenté en Annexe 2.

Un questionnaire de satisfaction a été également utilisé afin de relever le taux de satisfaction des participants à la fin de leur navigation sur chaque site web. Les participants devaient exprimer leur accord ou désaccord sur une échelle de 1 (pas du tout d'accord) à 5 (tout à fait d'accord) concernant 10 affirmations : 5 affirmations positives (exemple : « Je trouve que ce site est très facile à appréhender. ») et 5 affirmations négatives (exemple : « Je trouve ce site beaucoup trop complexe. »). Le taux de satisfaction varie entre 0 et 100 suite à un calcul qui inverse les cotations et multiplie le résultat par 2,5. Ce questionnaire est traduit du questionnaire de satisfaction « System Usability Scale » (Brooke, 1996) par Colombi (2009). Une question supplémentaire a été ajoutée afin d'obtenir une réponse qualitative du ressenti des participants suite à l'utilisation du site web en question. Les participants devaient proposer 3 adjectifs, positifs ou négatifs, pour décrire le site web sur lequel ils venaient de naviguer. Ce questionnaire de satisfaction est présenté en Annexe 3.

7.2.2. Procédure

Pour les participants déficients visuels, l'ordinateur utilisé était celui des participants afin de ne pas les perturber dans leurs habitudes. Chaque ordinateur était muni du lecteur d'écran « JAWS » (Freedom Scientific) ainsi que du navigateur web « Internet Explorer ». Du

fait qu'il s'agisse de leur propre ordinateur, nous ne pouvions nous permettre d'installer un logiciel. Ainsi, une application de capture d'écran, ne nécessitant aucune installation complexe à exécuter, a été installée sur l'ordinateur de chacun afin de relever toutes les actions réalisées à l'écran par les participants. Pour cela, le module « Capture Fox » du navigateur web « Firefox » a été utilisé. Un caméscope Handycam HDD avec un capteur « CMOS ClearVid » et le système audio « 5.1 Surround Sound Creator » a été également utilisé pour relever les actions effectuées au clavier par les participants. Pour les participants voyants, l'ordinateur était le même pour tous. Cet ordinateur était un ordinateur portable muni d'une souris, du système d'exploitation Windows XP, du navigateur web « Internet explorer » et du logiciel « Morae Recorder » (TechSmith). Ce logiciel est un logiciel de capture d'écran et d'enregistrement des actions réalisées à l'aide de la souris et du clavier avec un retour son et caméra lors de la réalisation des tâches.²⁹

La sélection des participants a été réalisée au préalable à partir du questionnaire de sélection lors d'un entretien téléphonique. Les participants ont réalisé l'étude individuellement dans une pièce calme. Préalablement à la réalisation des tâches, chaque participant devait répondre au pré-questionnaire. Les participants devaient réaliser 3 tâches pour le site web Fnac et 6 tâches pour le site web Facebook. Le scénario du site web Fnac était composé d'une tâche d'achat d'un album de musique, une tâche d'écoute de chansons d'un album et une tâche de recherche d'un appareil numérique. Le scénario du site web Facebook était composé d'une tâche de publication de messages sur le mur, une tâche de consultation et de réponse aux messages privés, une tâche d'ajout d'artistes pour devenir fan, une tâche d'ajout d'amis, une tâche de discussion en ligne et une tâche de recherche d'anniversaire d'amis. La cinquième

²⁹ Nous n'avons pas procédé de la même manière avec les participants voyants dus aux problèmes techniques rencontrés avec les enregistrements du caméscope lors de l'observation armée avec les participants déficients visuels.

tâche du scénario n'a pas été analysée en raison d'une mauvaise version du navigateur web rendant l'exécution de la tâche impossible pour deux participants déficients visuels. De ce fait, elle a été retirée du scénario lors de l'observation armée avec la population voyante. Les consignes des tâches étaient présentées oralement et pouvaient être répétées par l'observatrice³⁰. Ces consignes sont détaillées en Annexe 4. Si besoin, les participants pouvaient poser des questions pendant l'exécution de la tâche. A la demande du participant, l'observatrice pouvait également intervenir lors de la tâche en cas de problèmes rencontrés par celui-ci. Une fois les tâches réalisées par les participants, ils répondaient au questionnaire de satisfaction. A la fin de l'observation armée, l'observatrice expliquait les objectifs de la recherche et répondait aux éventuelles questions posées par le participant. Pour les participants déficients visuels, l'ensemble de la passation durait en moyenne 3h00 (entre 2h et 4h30 selon le participant). Pour les participants voyants, l'ensemble de la passation durait environ 30 minutes. Tous les participants effectuaient les tâches dans le même ordre par site web. Cependant, l'ordre de présentation des sites web était contrebalancé. En effet, 3 participants par groupe ont réalisé le scénario du site web Fnac avant celui du site web Facebook alors que les 3 autres participants ont réalisé le scénario du site web Facebook avant celui du site web Fnac.

7.2.3. Participants

Les participants ont été contactés par message électronique par le biais de courriel ou de forums traitant du handicap. Pour être inclus dans l'échantillon, les participants devaient être voyants ou aveugles ou malvoyants profonds³¹, être âgés de 18 à 60 ans et de langue maternelle française. Ils devaient également utiliser quotidiennement les systèmes informatiques. Au total,

³⁰ Il s'agit de moi-même. Cependant, j'écrirais toujours en des termes impersonnels, que ce soit pour me désigner en tant qu'observatrice, enquêtrice ou expérimentatrice.

³¹ Acuité visuelle de moins 1/50^{ème}. Le participant ne peut alors naviguer sur une interface qu'à l'aide d'un lecteur d'écran.

six participants déficients visuels et six participants voyants, tous volontaires, ont été retenus pour l'étude sur la base du questionnaire de sélection. Parmi les déficients visuels, un seul participant était malvoyant profond et tous les autres participants étaient aveugles. Les participants déficients visuels étaient 3 femmes et 3 hommes, âgés de 20 à 58 ans (médiane = 39). Les participants voyants étaient 3 femmes et 3 hommes, âgés de 23 ans à 60 ans (médiane = 39). A titre exploratoire, nous avons également relevé le niveau d'expertise des participants. Le niveau d'expertise était évalué selon la fréquence d'utilisation des sites web d'achat en ligne et des réseaux sociaux. L'expertise des participants suivait une distribution bimodale peu importe le site web, ce qui a permis de classifier les participants en 2 groupes : le groupe expert et le groupe novice. Le groupe expert utilisait les sites web d'achat en ligne entre une fois par semaine jusqu'à 3 fois par semaine alors que le groupe novice les utilisait une fois tous les 3 mois ou jamais. Pour les réseaux sociaux, le groupe expert les fréquentait plusieurs fois par jour alors que le groupe novice ne les fréquentait jamais. Les caractéristiques personnelles et d'utilisation des systèmes informatiques des participants sont présentées en Annexe A dans le CD joint à cette thèse.

7.3. Résultats

Les données recueillies étaient de deux natures : quantitative (temps d'exécution des tâches, nombre d'opérations réalisées, nombre de pages web visitées et taux de satisfaction) et qualitative (moyens et chemins de navigation).

7.3.1. Codage des vidéos

Les analyses des enregistrements ont été effectuées avec le logiciel « Elan » (Max Planck Institute for Psycholinguistics, Nijmegen, Pays-Bas) pour les participants déficients

visuels et avec le logiciel « Morae Manager » (TechSmith)³² pour les participants voyants. Ces 2 logiciels permettent d'analyser les fichiers vidéo et audio de manière très détaillée, seconde par seconde, avec les annotations et autres marques possibles.

Nous avons retranscrit et codé l'activité des participants en la décomposant en 4 catégories : les sous-tâches, les actions, les micro-incidents et les commentaires. Les sous-tâches sont des étapes que se donne le participant afin de réussir la tâche. Chaque sous-tâche détermine un objectif intermédiaire afin d'atteindre l'objectif final déterminé lui-même par la tâche. Les actions sont toutes les opérations effectuées par le participant allant de l'utilisation d'une touche jusqu'aux combinaisons de touches telles que les raccourcis. Les micro-incidents sont les mauvaises réponses du système informatique ou une action inopinée déclenchée par celui-ci et non des mauvaises réponses du participant. Les commentaires sont tout ce qui a été dit à voix haute par le participant (questions ou commentaires libres) ou par l'observatrice (réponses aux questions ou intervention de sa part). Pour faciliter le codage des vidéos, des couleurs ont été attribuées à chaque catégorie. Les sous-tâches sont notées de couleur bleue, les actions sont notées de couleur noire, les micro-incidents sont notés de couleur rouge et les commentaires sont notés de couleur verte. La Figure 9 présente un exemple de codage. Un exemple complet de codage des tâches réalisées par un des participants est présenté en Annexe 5. Les analyses complètes des vidéos des participants sont présentées en Annexe B dans le CD joint à cette thèse.

³² Ce logiciel est associé à celui d'enregistrement « Morae Recorder » (TechSmith) utilisé lors de l'observation.

Atteindre le champ de saisie Recherche

nFb (menu haut 1)

Fh (menu haut 1)

nFbh (menu haut 2)

Fb (menu haut 2)

Entrée (dans le champ de saisie Recherche : activation du mode formulaire)

nK (sur le terminal braille)

Le mode formulaire s'est désactivé.

Fhb (menu haut 2)

Entrée (dans le champ de saisie Recherche : activation du mode formulaire)

nK (sur le terminal braille)

Le mode formulaire s'est désactivé de nouveau.

Fh (menu haut 2)

2Fb (menu haut 2)

Fh (menu haut 2)

L'expérimentatrice la prévient qu'un message d'erreur est apparu.

2Fb (dans la fenêtre du message d'erreur)

3Fh (dans la fenêtre du message d'erreur)

2Fb (dans la fenêtre du message d'erreur)

Espace (pour ne pas envoyer le message d'erreur)

La page web a été fermée. Elle doit tout recommencer.

Réouverture du site web Fnac

nFb (menu haut 1)

— = Sous-tâches
— = Actions
— = Micro-incidents
— = Commentaires

Figure 9. Exemple de codage d'une partie d'une tâche.

7.3.2. La navigation web des ULEDV

Cette observation armée a permis avant toute chose de rendre compte comment naviguent les ULEDV sur le Web avec un lecteur d'écran et a pu mettre en évidence 5 moyens de navigation utilisés par les ULEDV avec le lecteur d'écran « JAWS » :

- Le moyen de navigation pas à pas avec les flèches : la flèche du bas permet de descendre d'éléments en éléments dans la page web, la flèche du haut permet de monter d'éléments en éléments dans la page web, la flèche de gauche permet de lire lettre par lettre le mot ou la phrase en allant vers la gauche et la flèche de droite permet de lire lettre par lettre le mot ou la phrase en allant vers la droite.
- Le moyen de navigation de lien en lien : la tabulation permet de descendre de lien en lien dans la page web. La tabulation combinée avec la touche majuscule (notée « Maj » ou « Shift ») permet de monter de lien en lien dans la page web.
- Les raccourcis du lecteur d'écran « JAWS » : différentes combinaisons de touches paramétrées au préalable dans le logiciel (qui sont personnalisables par l'utilisateur)

permettent d'ouvrir des boîtes de dialogue pour atteindre directement certains éléments dans la page web selon leur nature (titres ou liens par exemple) et des touches spécifiques permettent de naviguer d'éléments en éléments particuliers (par exemple, de boutons en boutons).

- La lecture automatique : elle permet de lire toute la page web d'éléments en éléments sans avoir besoin d'appuyer sur les flèches. La combinaison de deux touches (zéro et la flèche du bas) active la lecture automatique. L'appui sur une touche quelconque arrête la lecture automatique.
- Le moyen « JAWS à PC » virtuel : ce moyen permet de diriger le curseur de la souris avec le pavé numérique pas à pas (comme si l'utilisateur utilisait réellement la souris comme une personne voyante).

La proportion de participants ayant utilisé ces 5 moyens n'est pas équivalente. En effet, deux moyens de navigation sont plus utilisés que les autres : le moyen de navigation pas à pas avec les flèches (100%) et les raccourcis du lecteur d'écran (67%). Le Tableau 7 présente pour chaque moyen de navigation le pourcentage de participants l'ayant utilisé au moins une fois lors de leur navigation. Ces pourcentages sont strictement identiques peu importe le site web.

Tableau 7. Pourcentage de participants en fonction de l'utilisation des 5 moyens de navigation observés.

Moyens de navigation	Pourcentage de participants qui ont utilisé ces moyens de navigation
Pas à pas	100%
Lien en lien	17%
Raccourcis	67%
Lecture automatique	33%
« JAWS à PC » virtuel	17%

Ces moyens de navigation permettent ainsi aux ULEDV d'explorer les pages web pour connaître le contenu et l'organisation du site web. De par la sérialisation du lecteur d'écran qui suit une lecture standard (de gauche à droite et de haut en bas), ils parcourent alors la page d'accueil d'un site web d'éléments en éléments. De ce fait, ils explorent la zone du menu du

haut (en rouge), la zone du menu de gauche (en vert), la zone du menu de droite (en rose) et enfin, la zone de contenu (en bleu). La Figure 10 représente les 4 zones parcourues par les utilisateurs déficients visuels de la page d'accueil du site web Facebook.

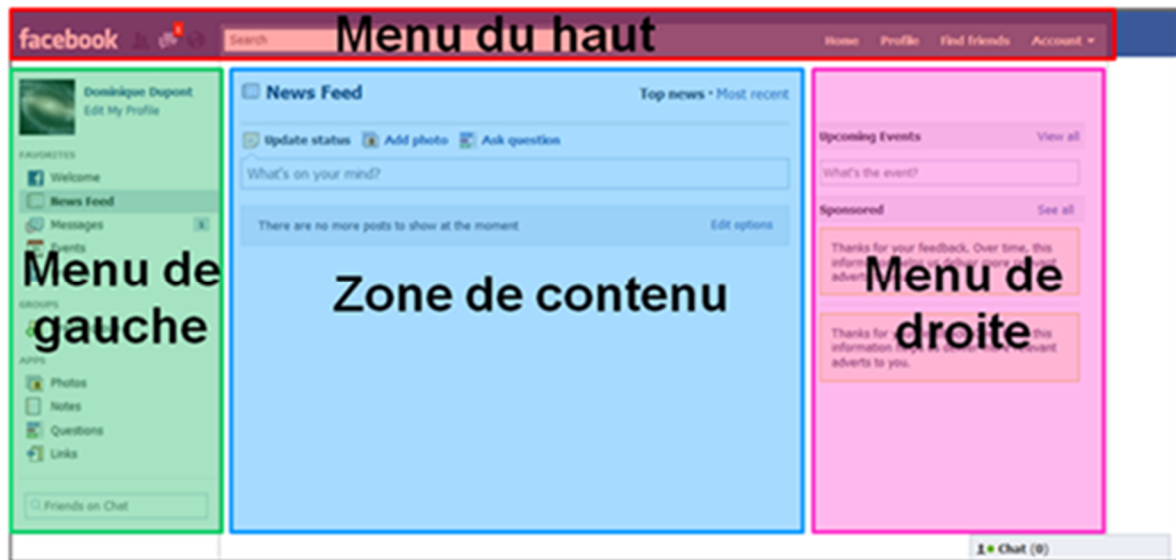


Figure 10. Représentation des 4 zones de la page d'accueil du site web Facebook.

Une fois qu'ils ont trouvé le lien qui les intéresse dans l'un des menus, ils le sélectionnent, entraînant soit le chargement d'une nouvelle page web, soit le rechargement de la page web avec le nouveau contenu. Le lecteur d'écran recommençant sa lecture depuis le début de la page web, ils doivent alors réécouter tous les liens des menus avant d'atteindre le contenu recherché. Par exemple, lors de la tâche de consultation et réponse aux messages privés sur le site web Facebook, la majorité des participants déficients visuels a parcouru le menu du haut de la page d'accueil (zone en rouge) puis le menu de gauche (zone en vert) et a choisi d'entrer sur le lien « Messages » du menu de gauche. La page web s'est rechargée pour afficher le contenu de la boîte des messages. Les participants ont donc dû parcourir de nouveau la zone du menu du haut (zone en rouge), la zone du menu de gauche (zone en vert) avant d'atteindre la zone de contenu (zone en bleu) afin qu'ils puissent sélectionner le message qu'ils souhaitent

lire. La Figure 11 représente l'ordre des zones parcourues par les participants déficients visuels sur les pages web du site web Facebook pour consulter un message privé.

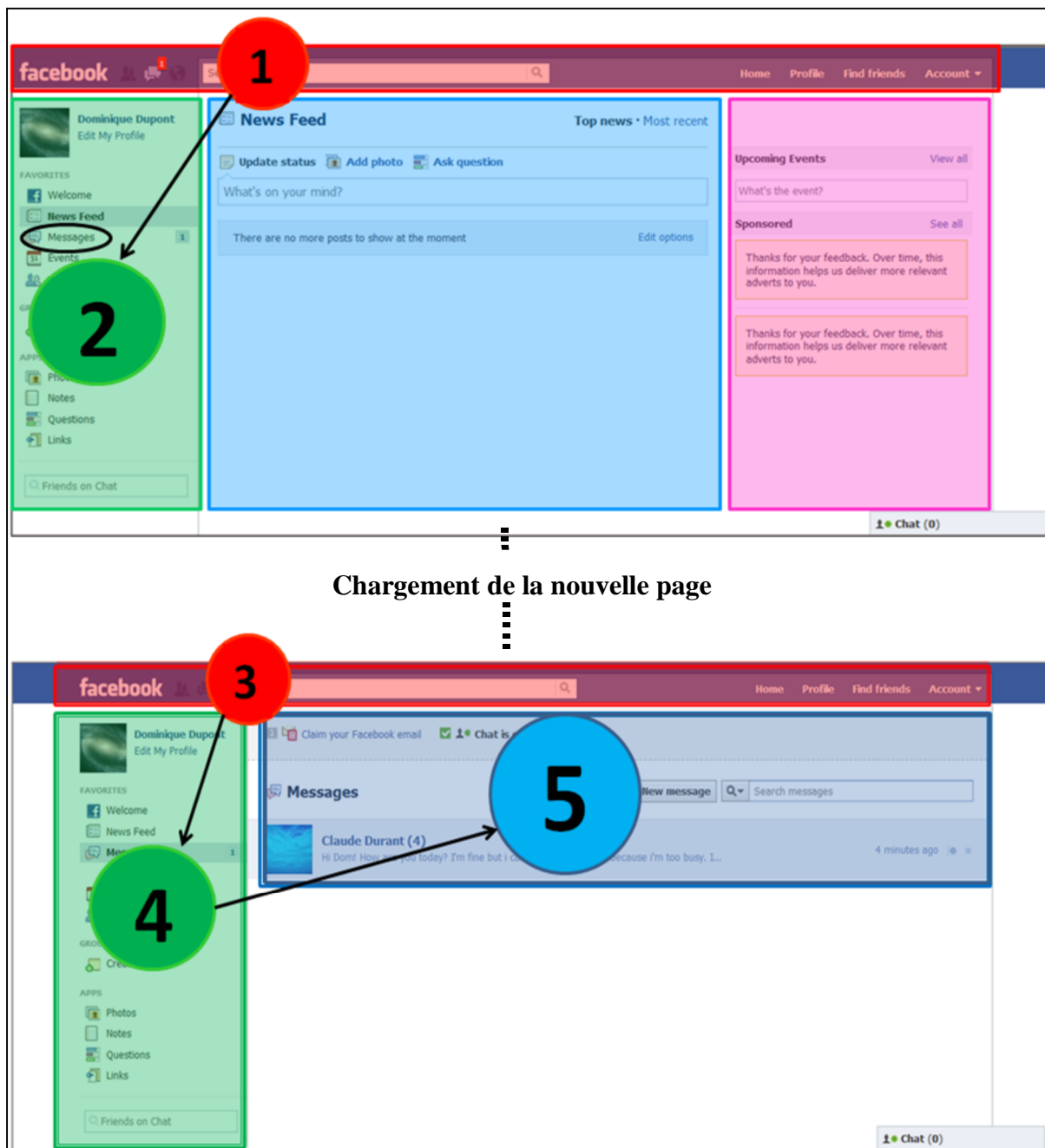


Figure 11. Représentation de la navigation des déficients visuels selon les zones des pages du site web Facebook pour la consultation des messages privés.

Par ailleurs, des micro-incidents associés à l'utilisation du lecteur d'écran ont perturbé leur navigation web. Ces micro-incidents sont listés ci-après :

- le lecteur d'écran est devenu silencieux sans raison apparente ;
- la page web sur laquelle les participants travaillaient a été fermée tout à coup ;
- le champ de saisie pour une recherche s'est bloqué ;

- le lecteur d'écran a lu la page web d'une façon étrange (le visuel ne correspondait pas à ce qui a été lu par le lecteur d'écran) ;
- un escamot est apparu, obligeant les participants à fermer l'escamot ou la page web ou l'actualiser ;
- une non-correspondance s'est produite entre l'action réalisée (appui sur la touche effacer pour effacer une lettre) et le résultat obtenu (désactivation du mode « formulaire »³³) ;
- une prise en compte tardive des actions réalisées par le participant a entraîné une perte de localisation dans les pages de celui-ci (le participant a effectué plusieurs « Précédent » pour revenir à la page précédente pensant que cela n'a pas été pris en compte. Le système est alors revenu trop en arrière dans l'historique des pages web car il avait effectivement pris en compte les actions du participant mais tardivement) ;
- à l'intérieur du champ de saisie pour réaliser une recherche, le mot grisé « Recherche » qui apparaît pour une personne voyante mais qui n'est pas lu par le lecteur d'écran est resté écrit, fournissant une page de résultats ne correspondant pas à l'objectif,
- le mode « formulaire » ne s'est pas activé, sans explication logique.

Contrairement aux participants déficients visuels, les participants voyants n'ont rencontré qu'un seul micro-incident : la page web a expiré une fois pour un seul participant.

³³ La touche Espace est la touche qui sert à désactiver le mode « formulaire » et non la touche Effacer.

7.3.3. Les performances aux tâches

Le taux de réussite des participants n'a pas été analysé. En effet, par méconnaissance des pratiques et habitudes des ULEDV lors d'une activité informatique en présence d'un tiers, nous avons choisi d'autoriser l'aide de l'observatrice à chacune des demandes des participants pour ne pas les frustrer et les décourager dans leur utilisation des sites web. En conséquence, nous n'avons pas évalué le critère d'efficacité du fait qu'un certain nombre de tâches ont été réussies en partie grâce à son intervention. Les analyses ont alors été réalisées pour les temps moyen d'exécution des tâches, le nombre moyen d'opérations effectués, le nombre moyen de pages visitées et le taux moyen de satisfaction. La méthodologie de mesure des temps d'exécution des tâches était identique pour les 2 logiciels utilisés. Le début des temps d'exécution était déterminé lorsque la page d'accueil du site web s'affichait et la fin était déterminée par la sélection du lien ou du bouton qui permettait d'atteindre le but (par exemple, la sélection du lien « Jouer l'extrait » pour écouter l'extrait d'une musique). Les durées des micro-incidents rencontrés par les participants ainsi que celles des interventions de l'observatrice ont été décomptées des temps d'exécution. Une opération effectuée par les participants correspondait à toute utilisation du clavier ou de la souris. Comme évoqué lors de la procédure, des problèmes techniques ont été rencontrés lors des enregistrements vidéo avec le caméscope. De ce fait, nous n'avons pas pu obtenir le nombre exact d'appuis sur les flèches et tabulations lorsque ces appuis étaient réalisés successivement. Nous avons alors quantifié le nombre d'opérations effectués sans tenir compte des opérations redondantes réalisées successivement. Par exemple, un participant qui effectue les opérations suivantes : « Flèche bas, Flèche bas, Flèche bas, Entrée, Flèche bas » a réalisé 3 opérations et un participant qui effectue les opérations suivantes : « Flèche bas, Entrée, Flèche bas » a également réalisé 3 opérations. Une page web visitée par les participants correspondait au chargement de la page web dû à une entrée dans un lien de leur part.

Afin de pouvoir juger les taux de satisfaction des participants, nous nous sommes référés à l'étalonnage de Bangor, Kortum et Miller (2008). Selon leur étude, un taux de satisfaction de moins de 50 correspond à un site web inacceptable. Un site web devient acceptable qu'à partir d'un taux de satisfaction de 70. Le taux de satisfaction entre 50 et 70 correspond à une zone marginale où le site web est ni satisfaisant, ni insatisfaisant avec une marge basse entre 50 et 60 et une marge haute entre 60 et 70. Toutes les analyses de l'observation armée ont été effectuées à partir du logiciel Statistica (version 6). Le tableau complet des analyses statistiques est présenté en Annexe C dans le CD joint à cette thèse.

7.3.3.1. Temps d'exécution

Les participants déficients visuels ont des temps moyen d'exécution significativement plus longs que les temps moyen d'exécution des participants voyants, tous sites web confondus [$t(10) = 4.28, p < .01, \eta^2 = .65$], pour le site web Fnac [$t(10) = 3.73, p < .01, \eta^2 = .58$] et pour le site web Facebook [$t(10) = 4.83, p < .001, \eta^2 = .70$].

Par ailleurs, ces différences vont systématiquement dans le même sens pour toutes les tâches. En revanche, l'ordre de grandeur de ces différences varie selon le site web allant de 4,5 à 12 fois plus de temps d'exécution de la tâche pour le site web Fnac et de 2 à 10,5 fois pour le site web Facebook. En moyenne, les participants déficients visuels réalisent les tâches avec un temps d'exécution 8 fois plus long que celui des participants voyants sur le site web Fnac et 4 fois plus long sur le site web Facebook. Les temps moyens d'exécution des participants pour chacune des tâches sont présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8. Moyenne et écart-type (entre parenthèses) des temps d'exécution pour chaque tâche (en secondes) des participants déficients visuels et voyants pour les sites web Fnac et Facebook.

Déficiences visuelle				
Tâches	Avec	Sans	Différence (DV – V)	Rapport (DV / V)
Site web Fnac				
Achat d'un album	552 (330)	45 (21)	+507	12
Ecoute de chansons	755 (674)	63 (26)	+692	12
Recherche d'un appareil numérique	620 (479)	141 (85)	+479	4,5
Moyenne	1926 (1095,5)	249 (107,5)	+1678	8
Site Facebook				
Publication de messages	445 (227)	42,5 (37)	+402,5	10,5
Consultation et réponse aux messages privés	329 (226)	74,5 (50)	+254,5	4,5
Ajout d'artistes pour devenir fan	213 (162,5)	100 (128)	+113	2
Ajout d'amis	153 (49)	56 (83)	+97	3
Recherche d'anniversaire d'amis	377 (139,5)	111,5 (79)	+265,5	3,5
Moyenne	1517 (511)	384,5 (263)	+1132,5	4

Note : DV-V = différence entre les performances des participants déficients visuels et celles des participants voyants. DV/V = rapport entre les performances des participants déficients visuels et celles des participants voyants.

7.3.3.2. Nombre d'opérations effectuées

Les participants déficients visuels ont effectué un nombre moyen d'opérations significativement supérieur à celui des participants voyants, tous sites web confondus [$t(10) = 5,15, p < .001, \eta^2 = .73$], pour le site web Fnac [$t(10) = 5.73, p < .001, \eta^2 = .77$] et pour le site web Facebook [$t(10) = 2.98, p < .05, \eta^2 = .47$].

Par ailleurs, ces différences vont systématiquement dans le même sens peu importe la tâche du site web. En revanche, l'ordre de grandeur de ces différences varie selon le site web allant de 2 à 5 fois plus d'opérations pour le site web Fnac et de 2 à 7 fois pour le site web Facebook. En moyenne, les participants déficients visuels ont effectué 3 fois plus d'opérations que les participants voyants pour les 2 sites web. Le nombre moyen d'opérations des participants pour chacune des tâches est présenté dans le Tableau 9.

Tableau 9. Moyenne et écart-type (entre parenthèses) du nombre d'opérations effectuées pour chaque tâche des participants déficients visuels et voyants pour les sites web Fnac et Facebook.

Déficiences visuelle				
Tâches	Avec	Sans	Différence (DV – V)	Rapport (DV / V)
Site web Fnac				
Achat d'un album	40 (18)	8 (3)	+32	5
Ecoute de chansons	41 (25)	9 (4)	+32	5
Recherche d'un appareil numérique	42 (19)	22 (13)	+20	2
Moyenne	41 (20)	13 (10)	+28	3
Site web Facebook				
Publication de messages	38 (35)	5,5 (4)	+32,5	7
Consultation et réponse aux messages privés	23 (9)	7 (5)	+16	3
Ajout d'artistes pour devenir fan	22 (14)	10 (7)	+12	2
Ajout d'amis	21 (10)	7,5 (5)	+13,5	3
Recherche d'anniversaire d'amis	33 (28)	13 (11)	+20	2,5
Moyenne	27 (22)	9 (7)	+18	3

Note : DV-V = différence entre les performances des participants déficients visuels et celles des participants voyants. DV/V = rapport entre les performances des participants déficients visuels et celles des participants voyants.

7.3.3.3. Nombre de pages web visitées

Les participants déficients visuels ont visité un nombre moyen de pages web significativement inférieur à celui des participants voyants, tous sites web confondus [$t(10) = -2,42, p < .05, \eta^2 = .37$]. En revanche, cette différence n'était pas significative pour le site web Fnac [$t(10) = -1.08, p > .30, \eta^2 = .10$] et pour le site web Facebook [$t(10) = -2.13, p > .05, \eta^2 = .31$].

Néanmoins, lorsque ces différences apparaissent, elles vont toujours dans le même sens allant jusqu'à 2 fois moins de pages visitées pour le site web Fnac et 2,5 fois moins pour le site web Facebook. En moyenne, les participants déficients visuels ont visité 1,25 fois moins de pages web que les participants voyants pour le site web Fnac et 2 fois moins pour le site Facebook. Le nombre moyen de pages visitées des participants pour chacune des tâches est présenté dans le Tableau 10.

Tableau 10. Moyenne et écart-type (entre parenthèses) du nombre de pages visitées pour chaque tâche des participants déficients visuels et voyants pour les sites web Fnac et Facebook.

Déficience visuelle				
Tâches	Avec	Sans	Différence (DV – V)	Rapport (DV / V)
Site web Fnac				
Achat d'un album	4 (0,5)	4 (1)	0	1
Ecoute de chansons	5 (2)	5 (1)	0	1
Recherche d'un appareil numérique	4 (2)	7 (4)	-3	0,6
Moyenne	4 (2)	5 (3)	-1	0,8
Site web Facebook				
Publication de messages	2 (0,5)	3 (3)	-1	0,7
Consultation et réponse aux messages privés	3 (1)	4 (3)	-1	0,8
Ajout d'artistes pour devenir fan	2 (0,5)	5 (4)	-3	0,4
Ajout d'amis	3 (1)	4 (3)	-1	0,8
Recherche d'anniversaire d'amis	3 (1)	6 (5)	-3	0,5
Moyenne	2,6 (1)	4,2 (3)	-1,6	0,6

Note : DV-V = différence entre les performances des participants déficients visuels et celles des participants voyants. DV/V = rapport entre les performances des participants déficients visuels et celles des participants voyants.

7.3.3.4. Taux de satisfaction

Le taux moyen de satisfaction des participants déficients visuels était significativement inférieur à celui des participants voyants, tous sites web confondus [$t(10) = -3.06, p < .05, \eta^2 = .48$] ainsi que pour le site web Fnac [$t(10) = -3.34, p < .01, \eta^2 = .53$]. En revanche, cette différence n'était pas significative pour le site web Facebook [$t(10) = -1.26, p > .23, \eta^2 = .14$].

Par ailleurs, nous avons constaté que les participants déficients visuels sont 2 fois moins satisfaits que les participants voyants pour le site web Fnac et 1,5 fois moins pour le site web Facebook, qui plus est leur taux de satisfaction est en dessous de 50 (36 pour le site web Fnac et 39 pour le site web Facebook) correspondant à un taux de satisfaction d'un site web jugé inacceptable selon Bangor et al. (2008), contrairement au taux de satisfaction des participants voyants (72,5 pour le site web Fnac et 59 pour le site web Facebook). De plus, à partir des données qualitatives, nous avons remarqué que tous les participants déficients visuels s'accordaient sur le fait que le site web Fnac est trop complexe et mal organisé alors que tous

les participants voyants s'accordaient sur le fait que ce site web est très riche et complet. En revanche, les opinions des participants étaient davantage dispersées pour le site web Facebook. En effet, certains participants, qu'ils soient déficients visuels ou voyants, qualifiaient ce site web avec des adjectifs négatifs (mal organisé, inaccessible, surchargé) alors que d'autres le qualifiaient avec des adjectifs positifs (pratique, communicatif, accessible). Le taux moyen de satisfaction des participants pour chacun des sites web est présenté dans le Tableau 11. Les réponses des participants à ce questionnaire sont disponibles en Annexe 6.

Tableau 11. Moyenne et écart-type (entre parenthèses) du taux de satisfaction des participants déficients visuels et voyants pour les sites web Fnac et Facebook.

Sites Web	Déficiência visuelle		Différence (DV – V)	Rapport (DV / V)
	Avec	Sans		
Fnac	36 (19)	72,5 (19)	-36,5	0,5
Facebook	39 (26)	59 (30)	-20	0,7

7.3.4. Chemins de navigation web

Nous avons analysé les chemins de navigation web des participants, c'est-à-dire la succession d'étapes réalisées pour passer d'un lieu (zone dans la page web ou une autre page web) au lieu suivant permettant l'atteinte du but, afin de les comparer en fonction de la présence de la déficiéce visuelle et de l'expertise des participants. L'ensemble des chemins de navigation empruntés par les participants lors de leur navigation web sont présentés de la Figure 12 à la Figure 19 (ces figures sont présentées en plus grande dimension en Annexe D dans le CD joint avec cette thèse). Les flèches roses correspondent aux chemins de navigation des participants novices. Les flèches bleues correspondent aux chemins de navigation des participants experts. Les flèches noires correspondent aux chemins de navigation empruntés à la fois par les participants novices et experts. La taille de la flèche représente le nombre de participants qui a emprunté ce chemin de navigation. Plus la flèche est épaisse, plus le nombre

de participants est important. Les encadrés représentent les actions principales réalisées par les participants.

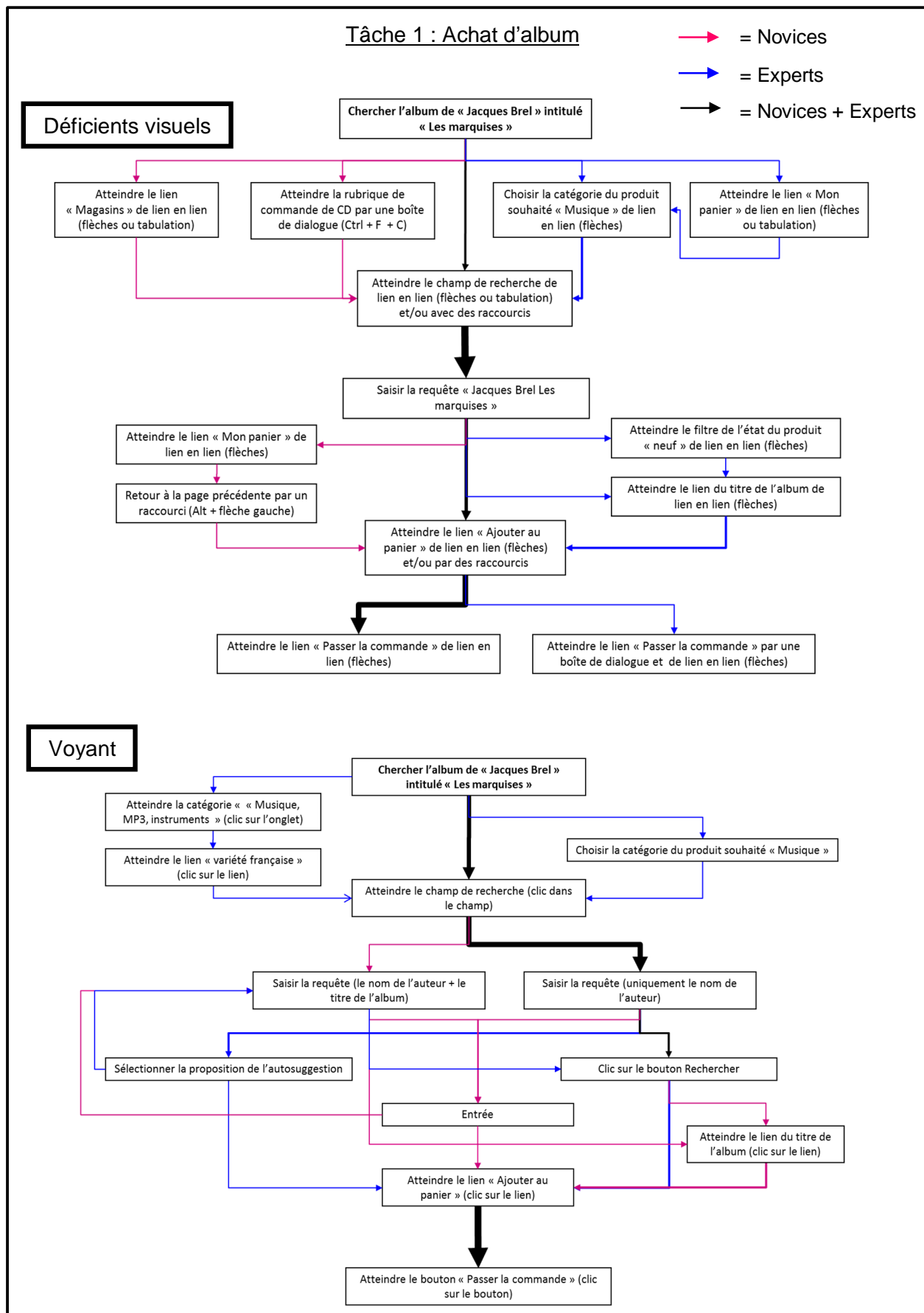


Figure 12. Chemins de navigation des participants sur le site web Fnac (tâche 1).

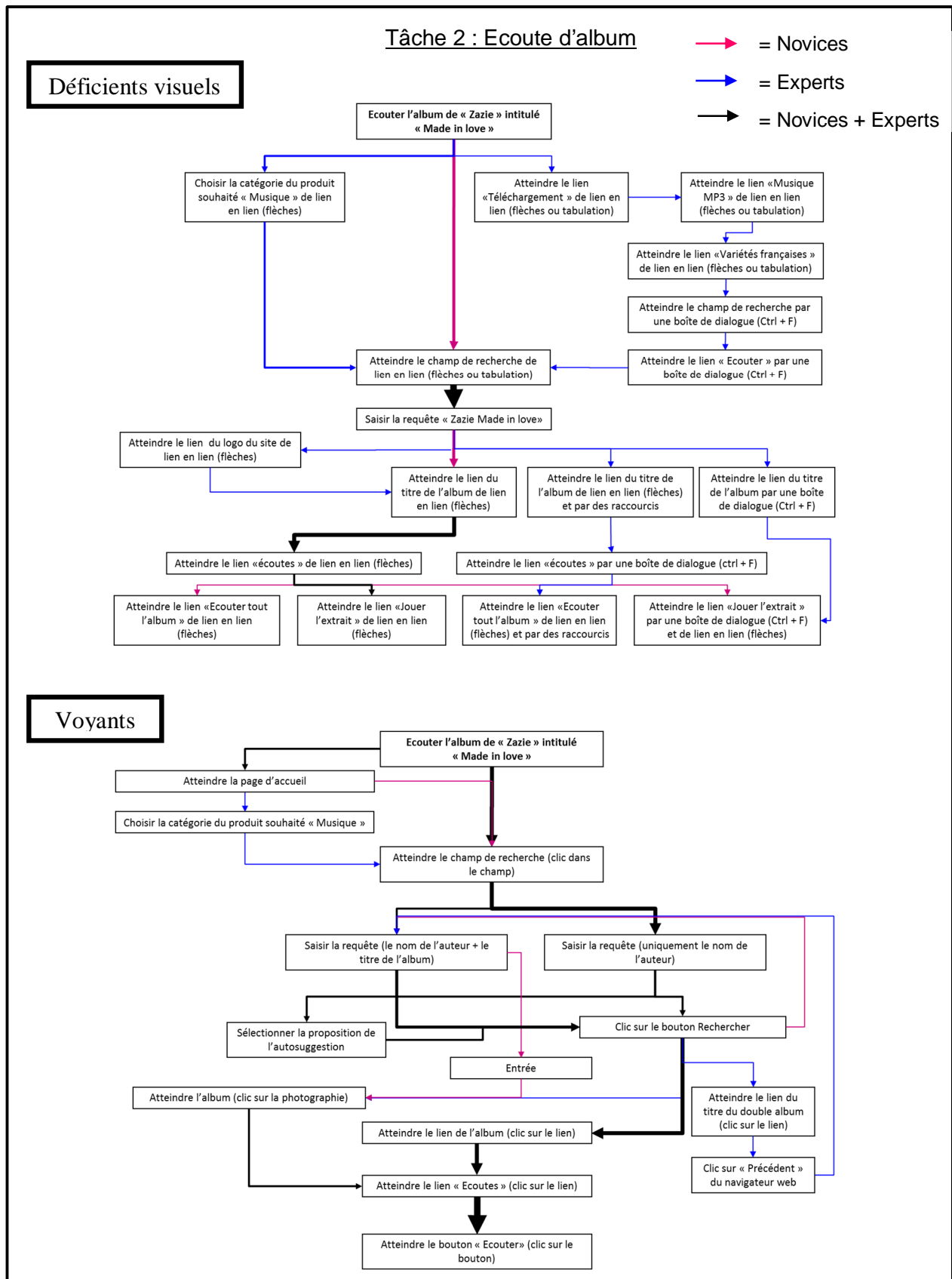


Figure 13. Chemins de navigation des participants sur le site web Fnac (tâche 2).

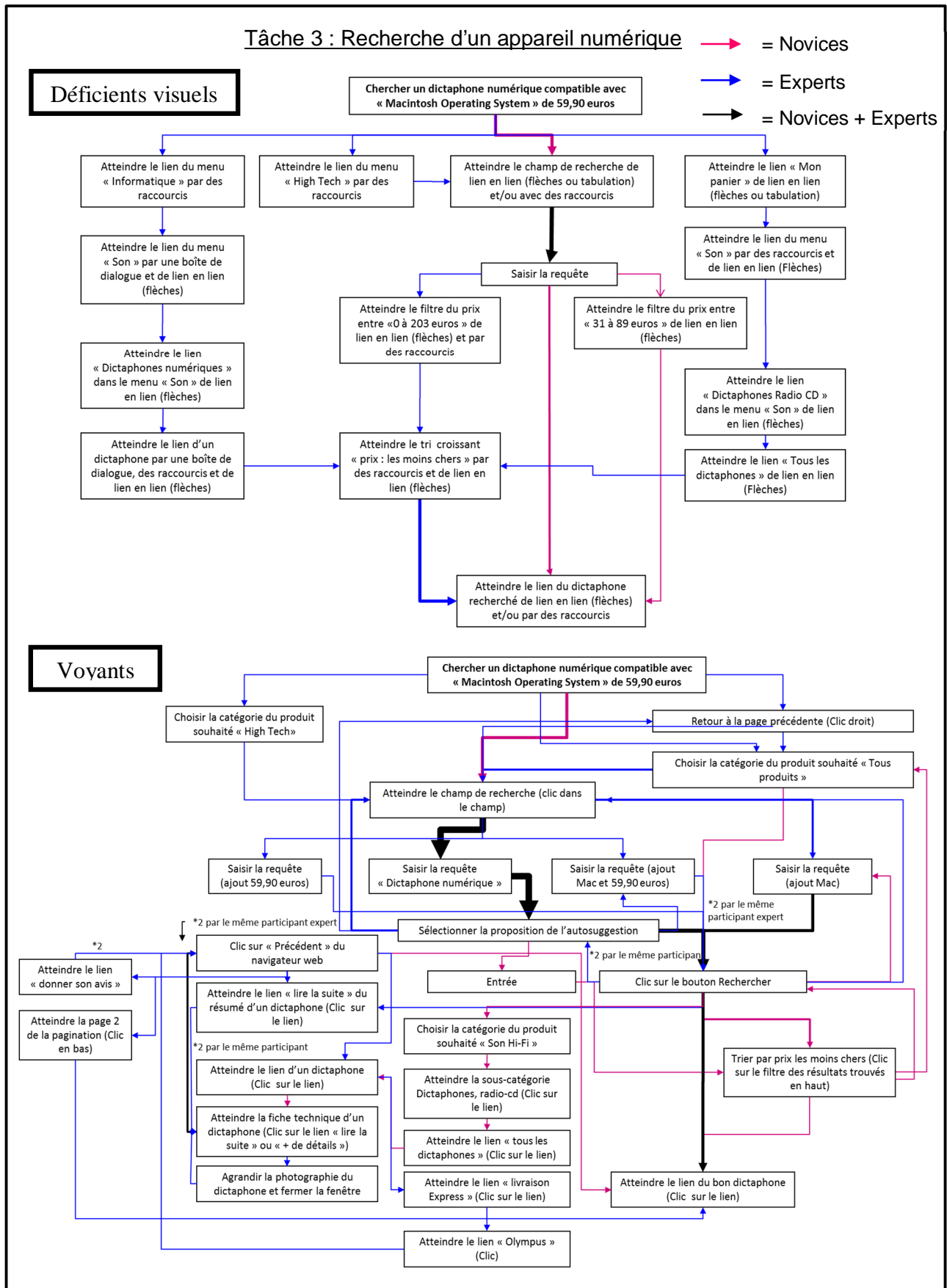


Figure 14. Chemins de navigation des participants sur le site web Fnac (tâche 3).

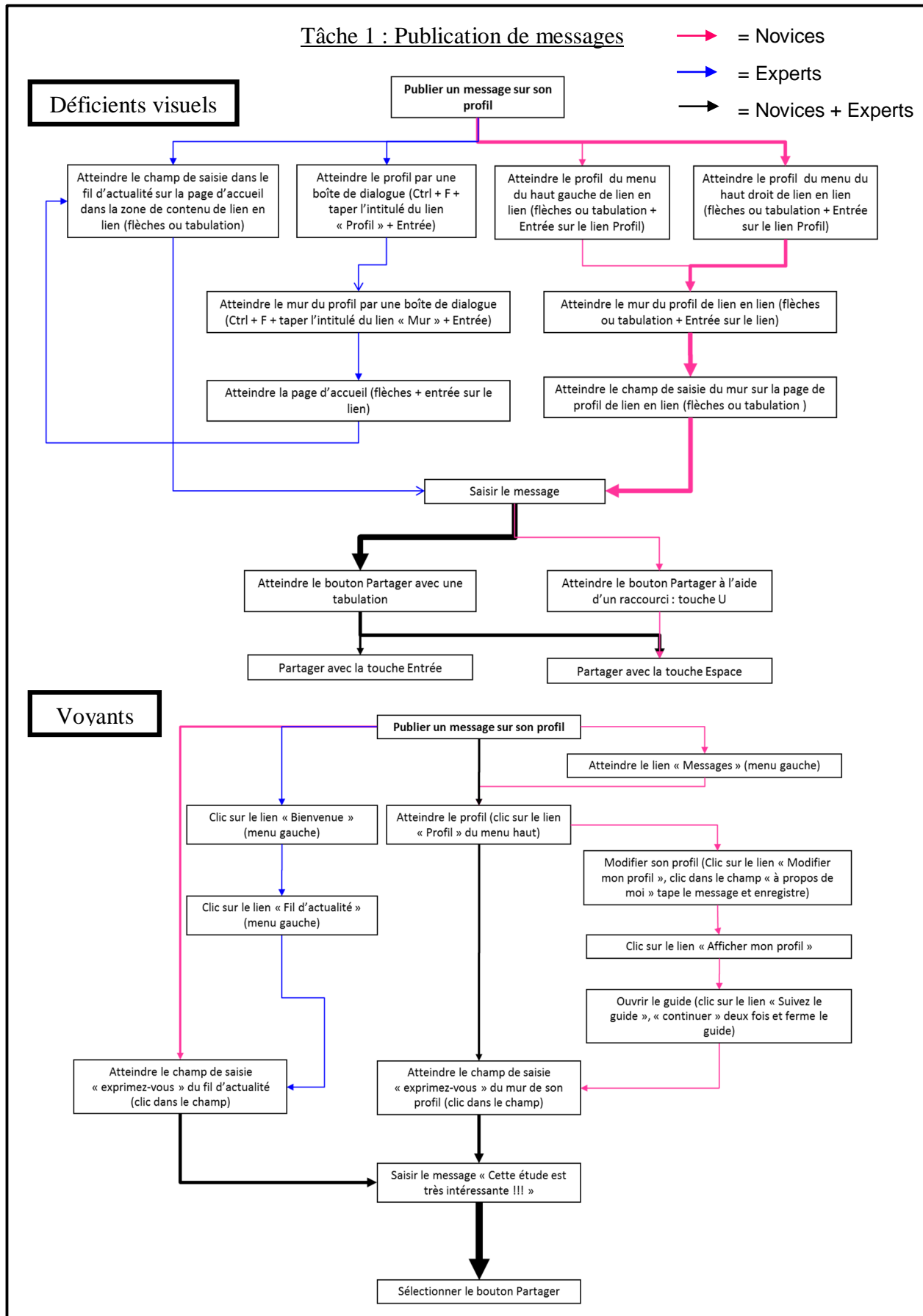


Figure 15. Chemins de navigation des participants sur le site web Facebook (tâche 1).

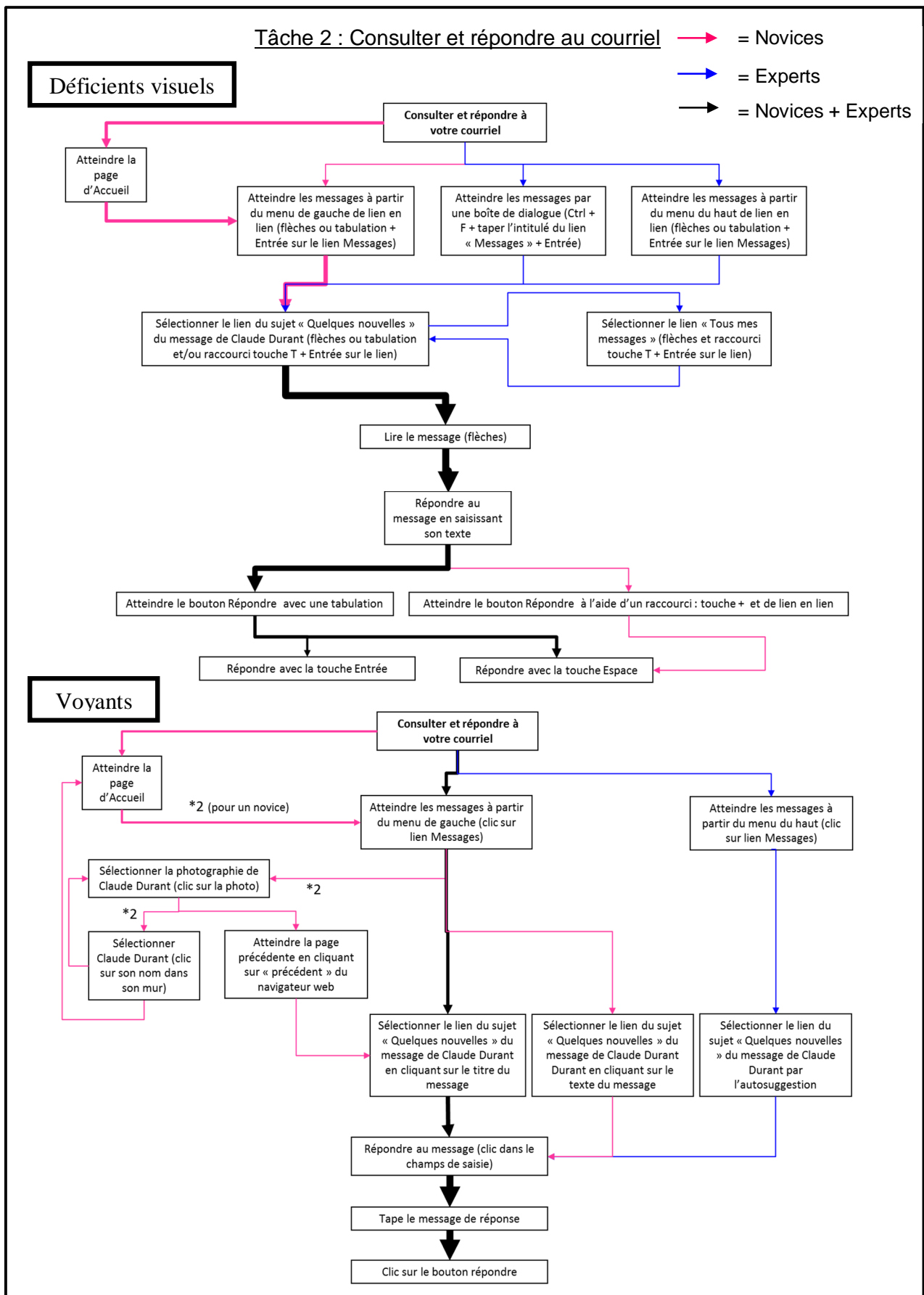


Figure 16. Chemins de navigation des participants sur le site web Facebook (tâche 2).

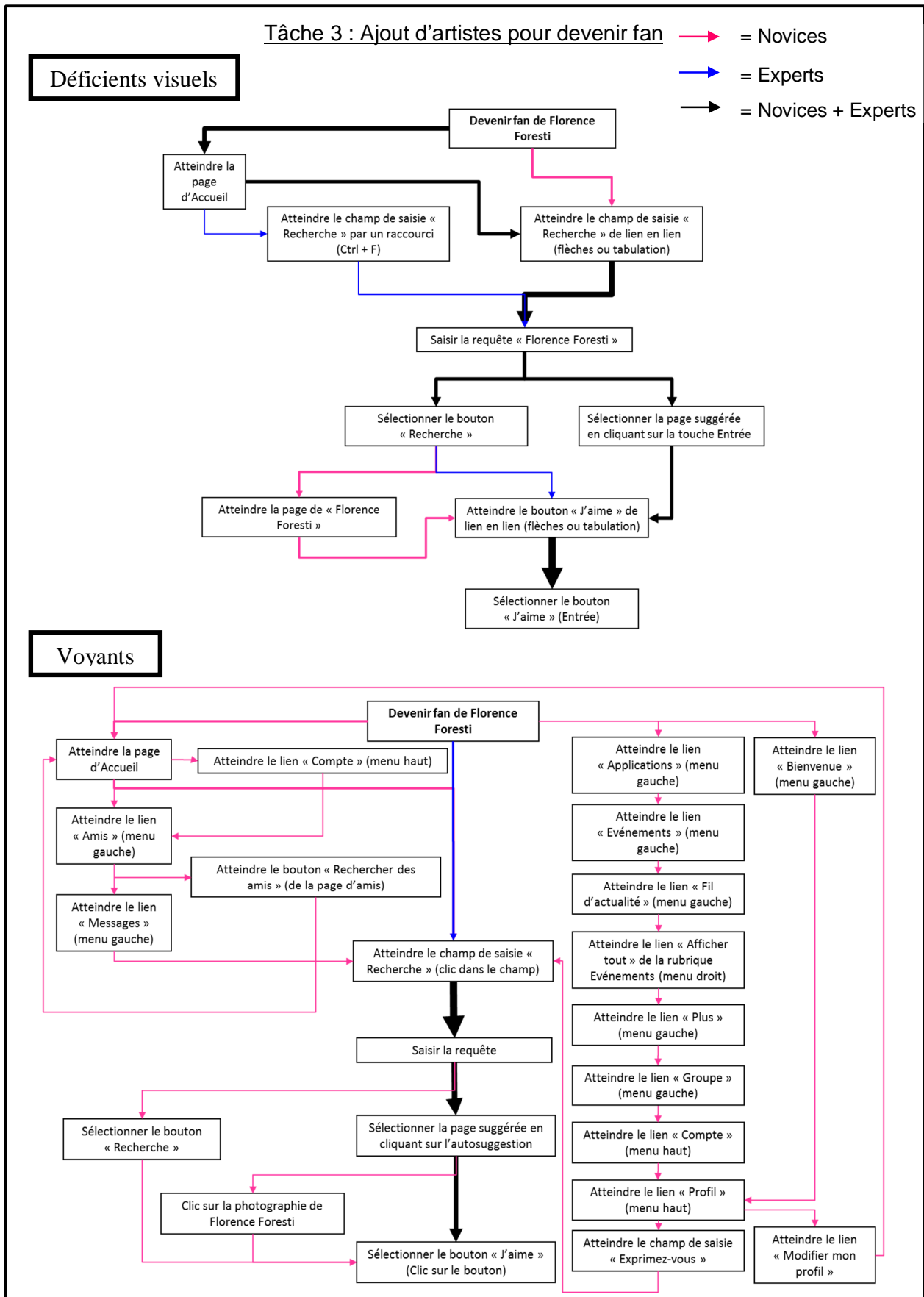


Figure 17. Chemins de navigation des participants sur le site web Facebook (tâche 3).

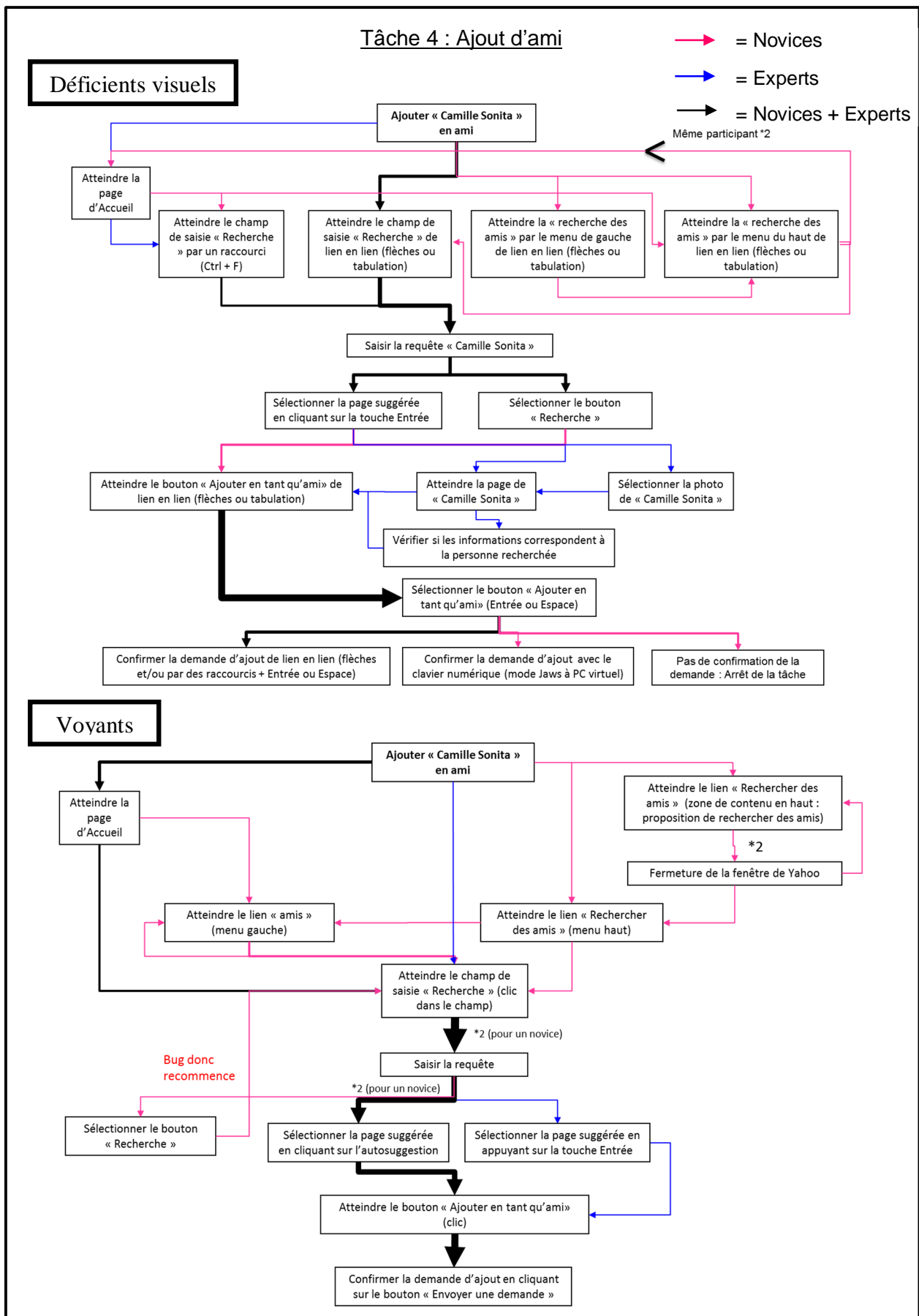


Figure 18. Chemins de navigation des participants sur le site web Facebook (tâche 4).

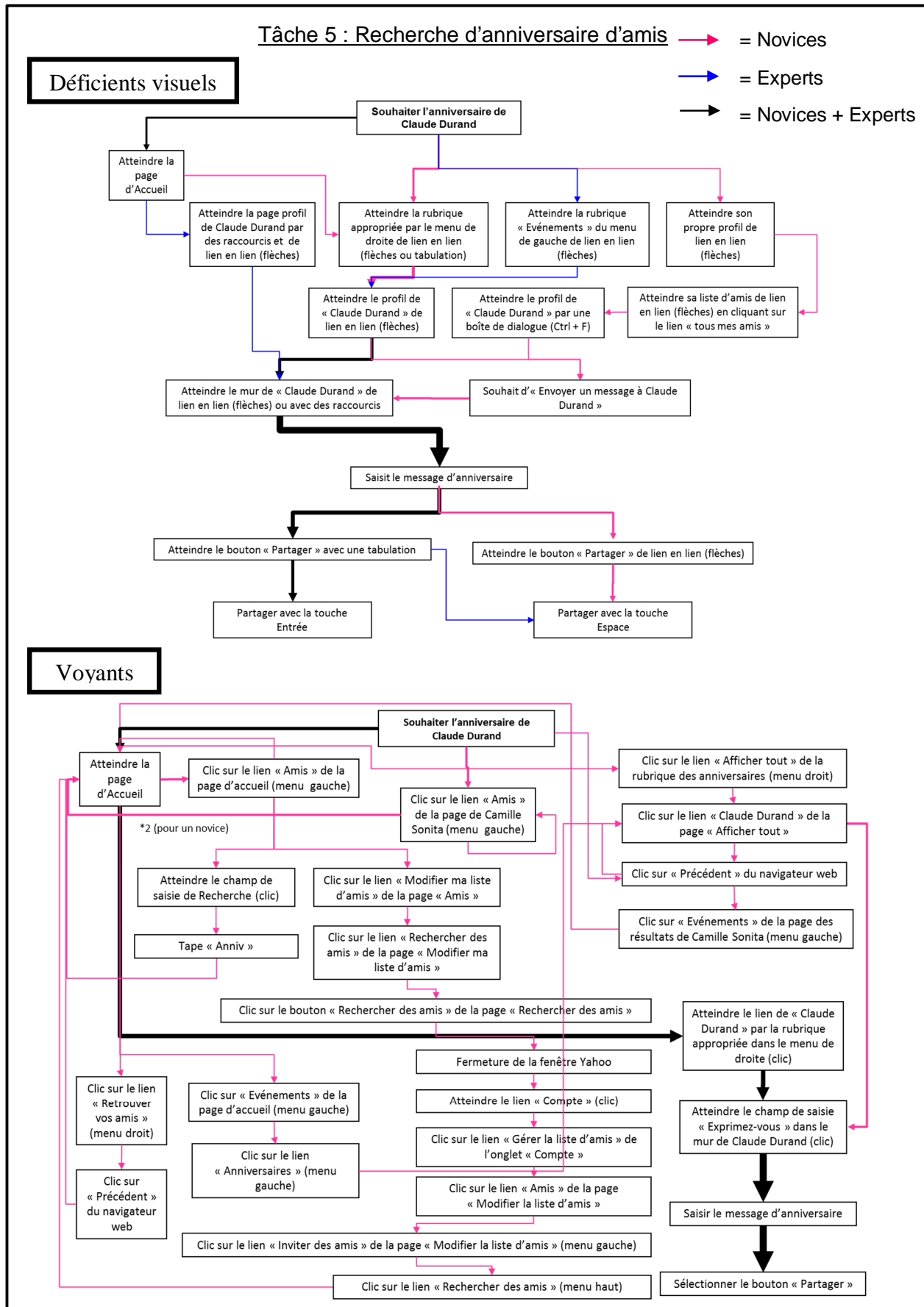


Figure 19. Chemins de navigation des participants sur le site web Facebook (tâche 5).

Nous avons constaté que les chemins de navigation web des participants déficients visuels ne sont pas si différents de ceux des participants voyants. En effet, tous les participants, déficients visuels ou voyants, ont utilisé la stratégie sémantique (réaliser leur tâche à partir du moteur de recherche), quel que soit le site web. Tous les participants ont également utilisé la stratégie en profondeur (réaliser leur tâche à partir du menu pour s'enfoncer dans l'arborescence du site web) pour le site web Facebook et seulement 2 participants déficients visuels et 2 participants voyants l'ont utilisé sur le site web Fnac (pour une seule tâche). Néanmoins, nous avons pu observer quelques différences. Les participants voyants ont réalisé des étapes supplémentaires que n'ont pas effectuées les participants déficients visuels. En effet, pour la tâche de recherche d'appareil numérique sur le site web Fnac (tâche 3), deux participants voyants ont cherché le dictaphone souhaité dans la liste de tous les dictaphones et ont pris la peine de lire les résumés et fiches techniques de ces dictaphones dont un des participants a agrandi la photographie du dictaphone et a été sur la page web pour lire les avis des consommateurs. De plus, la moitié des participants voyants ont modifié leur recherche en ajoutant des mots-clés dans le moteur de recherche, ce qui n'a pas été observé chez les participants déficients visuels. Pour le site web Facebook, les participants voyants ont utilisé la stratégie en marguerite, faisant des va-et-vient entre différentes pages web avant de trouver la page web qui leur permet d'atteindre leur but. Cependant, il s'agissait d'une stratégie utilisée uniquement par les participants novices. En outre, les participants déficients visuels utilisent des raccourcis que n'utilisent pas les participants voyants (raccourcis spécifiques au lecteur d'écran ou communs à la navigation web) pour atteindre plus rapidement une information ou un lien recherché dans la page web. De surcroît, nous n'avons pas observé des chemins de navigation caractéristiques selon l'expertise des participants.

7.4. Discussion

Tout d'abord, cette observation armée a permis d'établir des connaissances sur la navigation web des ULEDV sur des interfaces riches à travers une démarche inductive. En effet, nous avons pu observer les interactions des participants déficients visuels avec le lecteur d'écran sur ces interfaces. Nous avons alors identifié 5 moyens de navigation utilisés par ces participants dont les 2 les plus utilisés étaient le moyen de navigation « pas à pas » avec les flèches et les « raccourcis ». Le premier moyen permet de prendre connaissance de la structure des pages web et de leur organisation afin de trouver l'information recherchée en étant certain de lire tous les éléments présents dans la page web. Cela correspond à une lecture linéaire du site web, c'est-à-dire que les ULEDV naviguent d'éléments en éléments de chaque zone de la page web avant d'atteindre le contenu souhaité (cf. sous-section 7.3.2). Le deuxième moyen permet d'atteindre un élément de la page web directement. Par exemple, si l'utilisateur sait que le lien qui l'intéresse se nomme « Mon Profil », il pourra se servir du raccourci « Inser + F7 » permettant d'ouvrir la boîte de dialogue des liens et chercher l'intitulé de ce lien dans cette boîte, lui évitant la lecture de nombreuses informations dans la page web. Cependant, cela nécessite que l'ULEDV ait déjà connaissance de la structure et de l'organisation du site web - c'est-à-dire savoir que le lien s'intitule « Mon profil » et que l'information recherchée est dans la page web correspondant à ce lien - mais également que le nombre de liens du site web soit raisonnable à parcourir et que les intitulés des liens soient clairs et distinguables entre eux. Peu importe le moyen de navigation utilisé, la lecture du lecteur d'écran reprend toujours au début de la page web. Ce processus, répliqué pour chaque nouvelle entrée dans une page web ou chaque rechargement de page, entraîne alors une lecture répétitive de nombreux éléments tels que les menus de navigation. De plus, des micro-incidents associés à l'utilisation du lecteur d'écran peuvent interrompre cette lecture. En effet, le lecteur d'écran demande beaucoup de ressources à l'ordinateur pendant les interactions pouvant entraîner des surcharges du système.

Ainsi, ce problème ajouté à la lecture répétitive augmente le temps de navigation web et, par conséquent, augmente la probabilité des erreurs du système. Ces micro-incidents sont d'autant plus pénalisants pour les ULEDV qui ne peuvent réparer l'erreur en un clic comme peuvent le faire les utilisateurs voyants, notamment quand l'erreur apparaît sous forme d'escamot car il n'est pas toujours lu par le lecteur d'écran.

Ainsi, cette lecture chronophage engendre des différences considérables entre la navigation web des ULEDV et celle des utilisateurs voyants en termes de temps d'exécution, de nombre d'opérations, de nombre de pages visitées et de satisfaction, tel que nous le supposions dans notre hypothèse 1. En effet, les participants déficients visuels ont des temps moyens d'exécution significativement supérieurs à ceux des participants voyants, que ce soit pour le site web Fnac, Facebook ou les 2 sites web confondus, avec des tailles d'effet très importantes (respectivement 58%, 70% et 65% de variance expliquée). De surcroît, le rapport de ces temps d'exécution est deux fois plus important pour le site web Fnac que pour le site web Facebook. En effet, les participants déficients visuels ont des temps d'exécution 8 fois plus longs à ceux des participants voyants pour le site web Fnac et 4 fois plus longs pour le site web Facebook. Néanmoins, cette différence de temps d'exécution des tâches ne prend pas en compte les micro-incidents rencontrés par les participants, qui creuseraient davantage l'écart entre les participants déficients visuels et voyants. Nous avons opté pour ce choix pour 2 raisons. Premièrement, nous souhaitions vérifier si la navigation sur des interfaces riches, en elle-même, entraînerait une différence significative et substantielle des temps d'exécution entre les participants déficients visuels et les participants voyants, micro-incidents mis à part. Secondement, nous ne pouvons être certains que ces micro-incidents, étant différents selon le participant, étaient dus à la situation spécifique, à l'utilisation de ces interfaces riches ou à l'utilisation générale du lecteur d'écran.

En outre, les participants déficients visuels ont effectué un nombre moyen d'opérations significativement supérieur à celui des participants voyants, que ce soit pour le site web Fnac, Facebook ou les 2 sites web confondus, avec des tailles d'effet importantes (respectivement 77%, 47% et 73 % de variance expliquée). Le rapport de ce nombre d'opérations est du même ordre de grandeur pour les 2 sites web. En effet, les participants déficients visuels réalisaient 3 fois plus d'opérations que les participants voyants peu importe le site web. De plus, les participants déficients visuels ont visité un nombre moyen de pages web significativement inférieur à celui des participants voyants, tous sites web confondus, avec une taille d'effet importante (39% de variance expliquée). Néanmoins, cette différence n'est pas significative lorsque l'analyse est réalisée séparément pour chacun des 2 sites web. Cependant, nous avons constaté que les participants visitaient 2 fois moins de pages web pour le site web Facebook alors qu'ils en visitaient 1,25 fois moins pour le site web Fnac.

De surcroît, les rapports des temps d'exécution, du nombre d'opérations et du nombre de pages visitées varient selon les tâches. En effet, les différences entre les participants déficients visuels et les participants voyants sont plus faibles pour la tâche 3 du site web Fnac (recherche d'un appareil numérique) et pour les tâches 3 (ajout d'artistes pour devenir fan) et 5 (recherche d'anniversaire d'amis) du site web Facebook. Ce constat peut s'expliquer par les chemins de navigation web empruntés par les participants. Pour le site web Fnac, les participants voyants ont réalisé des étapes supplémentaires (lecture de la fiche technique du dictaphone, par exemple) que n'ont pas effectuées les participants déficients visuels, augmentant le temps d'exécution, le nombre d'opérations et le nombre de pages visitées des participants voyants. Pour le site web Facebook, les participants voyants novices ont utilisé la stratégie en marguerite. En effet, ne sachant pas où trouver l'information de par leur absence de connaissances du site web, ils se sont perdus dans leur navigation web et ont alors réalisé de nombreux va-et-vient entre les pages web jusqu'à atteindre leur objectif, augmentant ainsi leur

temps d'exécution, leur nombre d'opérations et leur nombre de pages visitées. Par conséquent, les différences entre les participants déficients visuels et voyants se sont amoindries pour ces tâches.

En outre, le taux moyen de satisfaction des participants déficients visuels est significativement inférieur à celui des participants voyants, tous sites web confondus ainsi que pour le site web Fnac, avec des tailles d'effet importantes (respectivement 48% et 33% de variance expliquée). En revanche, cette différence n'était pas significative pour le site web Facebook. Malgré ça, nous avons constaté que les participants déficients visuels ont un taux de satisfaction 1,4 fois moins élevé que celui des participants voyants pour le site web Facebook. Cette différence est plus importante pour le site web Fnac. En effet, les participants déficients visuels ont un taux de satisfaction 2 fois moins élevé que celui des participants voyants. De plus, les 2 sites web n'atteignent pas un taux de satisfaction des participants déficients visuels suffisant pour qu'ils soient jugés acceptables selon l'étalonnage de Bangor et al. (2008), à l'inverse des participants voyants. Pour le site web Facebook, les participants, déficients visuels comme voyants, avaient un avis partagé par rapport à leur navigation sur ce site web. En effet, leurs opinions suite à l'utilisation de ce site web ne se rejoignent pas selon la présence de la déficience visuelle alors que leurs opinions étaient distinctement scindées en 2 pour le site web Fnac (opinions négatifs pour les participants déficients visuels et opinions positifs pour les participants voyants). Deux interprétations sont possibles et ne s'excluent pas entre elles pour expliquer ce constat. Premièrement, il peut s'expliquer par les spécificités des opérations requises par les tâches sur le site web Facebook par rapport à celles du site web Fnac. En effet, Facebook est un site web avec une organisation particulière, autant au niveau des fonctionnalités qu'au niveau du vocabulaire utilisé. Secondement, ce constat peut être dû au plus grand degré d'accessibilité effective respectée par le site web Facebook que par le site web Fnac.

En conclusion, nous avons observé des différences substantielles entre les performances des participants déficients visuels et celles des participants voyants de manière systématique, peu importe la tâche du site web et avec des ordres de grandeur considérables. Néanmoins, nous émettons quelques réserves sur ces résultats. Premièrement, l'aide de l'observatrice était permise. Ce choix fut nécessaire afin que les participants déficients visuels ne se sentent pas découragés et impuissants lorsqu'ils étaient bloqués ou rencontraient des micro-incidents lors de leur navigation web. De ce fait, l'observatrice a répondu aux éventuelles questions des participants déficients visuels et voyants et est également intervenue pour aider les participants déficients visuels lorsqu'ils étaient bloqués à cause de micro-incidents et/ou lorsqu'ils étaient perdus dans leur navigation. En effet, les participants déficients visuels avaient un fort besoin d'être rassurés dans leurs actions. Ils demandaient régulièrement s'ils empruntaient le bon chemin de navigation et s'il s'agissait du bon lien avant de cliquer sur celui-ci. Ces questions relatives à leur navigation correspondent à la stratégie en marguerite utilisée par les participants voyants, trop coûteuse pour les participants déficients visuels. Ces derniers préféraient se référer à l'aide d'un tiers, ce qui entrave leur autonomie. Cependant, l'intervention de l'observatrice fut tout de même restreinte. Elle résolvait les problèmes en fermant un escamot et/ou rechargeait la page web ou revenait à la page d'accueil. Le but étant de ne pas frustrer les participants dans leur utilisation, elle encourageait également les participants lorsqu'ils se sentaient découragés et perdus dans leur navigation. Ainsi, l'intervention de l'observatrice pose une limite dans cette étude. Néanmoins, son intervention n'a pas amplifié artificiellement les effets obtenus. Sans son intervention, le rapport des temps d'exécution entre les participants déficients visuels et voyants aurait vraisemblablement été encore plus important. De surcroît, plusieurs abandons auraient également été observés. Par exemple, lors de la tâche d'achat d'un album avec le site web Fnac (tâche 1), un utilisateur aveugle a avoué : « J'aurai abandonné depuis longtemps mais comme c'est pour aider à améliorer l'accessibilité, je continue. ». Lors de cette même tâche, un

autre participant aveugle affirme sous le ton de la plaisanterie : « J'aurai abandonné et j'aurai pris le tramway pour aller l'acheter dans le magasin, j'aurai été plus vite que de l'acheter avec le site web. ». Nous tirons alors profit de cette limite pour la prochaine étude puisqu'elle nous a permis de combler notre manque de connaissances des pratiques et habitudes informatiques des personnes déficientes visuelles. Deuxièmement, le nombre de participants fut limité à cause du manque de volontaires dans la région niçoise possédant les caractéristiques souhaitées pour cette étude avec les moyens et le temps imparti. Toutefois, en dépit d'un échantillon de taille réduite, nous avons obtenu des effets significatifs avec des tailles d'effet considérables. Troisièmement, le nombre exact d'appuis sur les flèches de navigation du clavier n'a pas pu être obtenu à cause des problèmes techniques rencontrés. Néanmoins, cela a minimisé le nombre d'opérations effectués par les participants déficients visuels, qui aurait été encore plus important, et par conséquent, aurait augmenté davantage le rapport de ce nombre entre les participants déficients visuels et les participants voyants. Quatrièmement, le niveau d'expertise des participants n'était pas strictement équivalent selon le site web. En effet, la différence entre les participants novices et les participants experts était légèrement moins franche pour le site web Fnac que pour le site web Facebook. Cependant, comme le niveau d'expertise suivait une distribution bimodale, nous avons choisi de procéder ainsi pour ne pas diminuer davantage notre échantillon.

Malgré ces limites, cette observation armée a permis de mieux comprendre la navigation web des ULEDV et les difficultés qu'ils rencontrent. Nous avons alors constaté que les ULEDV ont les moyens pour réaliser des tâches sur les interfaces riches comme le préconise l'accessibilité normative. Cependant, ils ne réalisent pas leurs tâches de manière équivalente aux voyants. A cause de la sérialisation du lecteur d'écran, leur parcours de navigation est plus long et semé de davantage d'obstacles et d'informations distractives qui peuvent leur faire perdre plus facilement le fil de leur navigation. Ils ne réalisent alors pas leurs tâches avec un

temps d'exécution, un nombre d'opérations et de pages visitées qui satisfont leurs besoins. L'accessibilité effective, permettant de répondre de manière plus satisfaisante à leurs besoins, n'est alors pas respectée. Cette observation armée a ainsi montré l'intérêt de respecter cette accessibilité en mettant en évidence des différences significatives et substantielles entre les participants déficients visuels et les participants voyants. Ainsi, l'approche holistique préconisant la prise en compte des besoins des ULEDV semble être une approche pertinente à suivre lors de la conception d'interfaces web pour une meilleure adaptation de celles-ci. C'est pourquoi la deuxième phase de cette analyse de l'activité a pour objectif l'élaboration d'un modèle de leur navigation web identifiant notamment leurs besoins.

8. L'enquête contextuelle

Suite à l'observation armée, la deuxième phase de l'analyse de l'activité des ULEDV a pour but d'identifier les motifs et besoins mais également les types de tâches de ces utilisateurs lors de leur navigation web. Pour ce faire, nous avons opté pour un type d'entretien d'approfondissement semi-directif (Ghiglione & Matalon, 1998) : l'enquête contextuelle. Elle permet de recueillir les comportements non observables de l'activité de l'utilisateur (attentes, souhaits, besoins, motifs, opinions, etc.) à partir d'une verbalisation de ces comportements. Lors de cette enquête, l'utilisateur enseigne sa pratique à l'enquêteur en l'expliquant et la rationalisant (Baccino et al., 2005). Il s'agit d'une enquête en temps réel au cœur du monde de l'utilisateur dans un contexte réel (Holtzblatt & Beyer, 2011). Cette technique peut ainsi de manière satisfaisante relever ce qui se passe à un moment donné dans un contexte donné. Ainsi, cette enquête contextuelle vise à caractériser les comportements des ULEDV et à transposer la description de la navigation physique du modèle SOLID (Uzan et al., 2011) à celle de la navigation web au travers de correspondances équivalentes, que ce soit pour les types de tâches, les motifs ou les besoins (cf. sous-section 5.3.3).

8.1. Méthodologie

8.1.1. Matériel

Un questionnaire de sélection a été constitué pour sélectionner les participants à partir de leurs caractéristiques (âge, type de cécité et maîtrise de la langue française) et de leurs usages des systèmes informatiques. Ce questionnaire de sélection est présenté en Annexe 7.

Un pré-questionnaire a été créé afin de confirmer les informations identifiées lors du questionnaire de sélection et d'obtenir des informations plus précises sur leur cécité. Ce questionnaire est présenté en Annexe 8.

Un post-questionnaire a été également élaboré afin d'obtenir les informations concernant les motifs d'utilisation et les technologies numériques utilisées (Web, applications mobile et application de bureau) pour différents services en ligne (actualités, achat en ligne, réseaux sociaux, etc.). Ce questionnaire est présenté en Annexe 9.

8.1.2. Procédure

L'ordinateur utilisé était soit l'ordinateur du participant, soit l'ordinateur portable prévu à cet effet selon sa préférence. Seulement 2 participants ont choisi d'utiliser leur ordinateur personnel, qui était muni d'un clavier à pavé numérique, du système d'exploitation Windows XP, du navigateur web « Internet explorer », du lecteur d'écran « JAWS » et du logiciel « Morae Recorder » (TechSmith) installé par l'observatrice. Ce logiciel est le même logiciel de capture d'écran et d'enregistrement des actions réalisées au clavier utilisé lors de l'observation armée pour les participants voyants. L'ordinateur prévu pour cette étude était muni d'un clavier à pavé numérique, du système d'exploitation Windows 7, du navigateur web « Internet explorer », « Mozilla Firefox » et « Google Chrome », du lecteur d'écran « JAWS » (Freedom Scientific) et « NVDA », et du logiciel « Morae Recorder » (TechSmith). Néanmoins, tous les participants ayant utilisé cet ordinateur ont réalisé leurs tâches à l'aide du navigateur web « Internet

explorer » et du lecteur d'écran « JAWS », à l'exception d'un participant qui a préféré utiliser le lecteur d'écran « NVDA ».

La sélection des participants a été réalisée à l'aide du questionnaire de sélection lors d'une communication téléphonique préalable à l'entretien. Chaque entretien était individuel dans une salle calme et isolée. Chaque participant devait répondre au pré-questionnaire avant de débiter la navigation web. Suite à ce questionnaire, les consignes étaient données oralement par l'enquêtrice. La navigation était libre, dans le sens où le participant pouvait visiter tous les sites web de son choix selon son utilisation habituelle. Il avait pour consigne d'effectuer son activité comme il a l'habitude de le faire quotidiennement, d'énoncer à haute voix ce qu'il fait, pourquoi il le fait, de préciser la raison de sa façon de procéder ainsi, d'explicitier les difficultés rencontrées, la résolution trouvée à ces difficultés et le besoin pour éviter celles-ci. Le rôle du participant était défini comme celui d'un professeur qui tâcherait d'apprendre à naviguer à un apprenti, c'est-à-dire à une personne novice qui ne sait pas naviguer sur le Web. L'enquêtrice endossait le rôle d'apprenti. La verbalisation du participant était à la fois concomitante à l'activité afin de révéler des stratégies implicites et consécutive en répondant au post-questionnaire. Toutefois, le participant ne pouvait être ni conseillé, ni aidé lors de sa navigation web. Par la suite, l'enquêtrice expliquait les objectifs de l'enquête et répondait aux éventuelles questions posées par le participant. L'ensemble de la passation durait environ 1h. Les consignes et les informations données par l'enquêtrice avant et après l'entretien sont présentées en Annexe 10.

8.1.3. Participants

En raison des difficultés rencontrées lors de l'observation armée pour recruter des volontaires déficients visuels correspondant aux critères de sélection dans la région niçoise,

l'étude s'est déroulée dans la région parisienne³⁴. Les participants ont été contactés par message électronique par le biais de forums traitant du handicap et de nombreux déficients visuels ont également relayé cette information par voie électronique. Pour être inclus dans l'échantillon, les participants devaient être aveugles ou malvoyants profonds, être âgés de 18 à 65 ans et maîtriser la langue française. Ils devaient également naviguer quotidiennement sur Internet et utiliser différents types de sites web. Le nombre de participants n'a pas été défini au préalable afin de découvrir les besoins des ULEDV de manière exhaustive. Ainsi, l'étude s'est arrêtée une fois qu'un nouveau participant ne manifestait que des besoins déjà exprimés par les participants précédents (Bastien & Tricot, 2008). Au total, onze participants déficients visuels ont volontairement participé à l'enquête. Parmi eux, deux participants étaient malvoyants profonds et tous les autres participants étaient aveugles. Les participants étaient 2 femmes et 9 hommes, âgés de 27 à 64 ans (médiane = 38). Aucun d'entre eux n'avait participé à l'observation armée. Leurs caractéristiques personnelles et d'utilisation des systèmes informatiques sont présentées en Annexe E dans le CD joint à cette thèse.

8.2. Résultats

8.2.1. Codage des vidéos

Les analyses des enregistrements (captures d'écran et actions réalisées au clavier) ont été effectuées à l'aide du logiciel « Morae Manager » (TechSmith) associé au logiciel d'enregistrement « Morae Recorder ». A partir de ces enregistrements, nous avons retranscrit et codé l'activité des participants en la décomposant en plusieurs catégories listées ci-après :

- les sous-tâches, elles-mêmes décomposées en 3 catégories, qui déterminent des objectifs intermédiaires permettant d'atteindre l'objectif final :

³⁴ De nombreuses institutions, associations ou formations pour les déficients visuels se situent à Paris, facilitant ainsi le recrutement de volontaires correspondant aux critères de sélection.

- les sous-tâches d'entrée et de sortie d'un site web, d'une page web ou d'une zone de la page web (par exemple, l'atteinte d'un lien) ;
- les sous-tâches d'ouverture et de fermeture du navigateur web ;
- les sous-tâches de prise et de modification de l'information (par exemple, lire les actualités ou modifier un statut sur un forum) ;
- les actions réalisées par le participant pour se déplacer à partir des touches du clavier ou de combinaisons de ces touches (par exemple, se déplacer dans la page web avec les flèches) ;
- les micro-incidents dus aux erreurs du système informatique (par exemple, une erreur de chargement de la page web) ;
- les besoins exprimés par les participants lors de leur navigation web ;
- les commentaires, c'est-à-dire ce qui a été dit à voix haute par les participants ou ce qui a été observé par l'enquêtrice pour expliquer certaines actions effectuées par les participants pour la bonne compréhension des enchaînements des opérations.

Pour faciliter le codage des vidéos, des couleurs ont été attribuées à chaque catégorie. Les sous-tâches d'entrée et de sortie sont notées de couleur orange, les sous-tâches d'ouverture et de fermeture du navigateur web sont notées de couleur bleue, les sous-tâches de prise et de modification de l'information sont notées de couleur violette, les actions sont notées de couleur noire, les micro-incidents sont notés de couleur rouge, les besoins sont notés de couleur rose et les commentaires sont notés de couleur verte. La Figure 20 présente un exemple de codage. Un exemple complet de codage des tâches réalisées par un des participants est présenté en Annexe 11. Les analyses complètes des vidéos des participants sont présentées en Annexe F dans le CD joint à cette thèse.

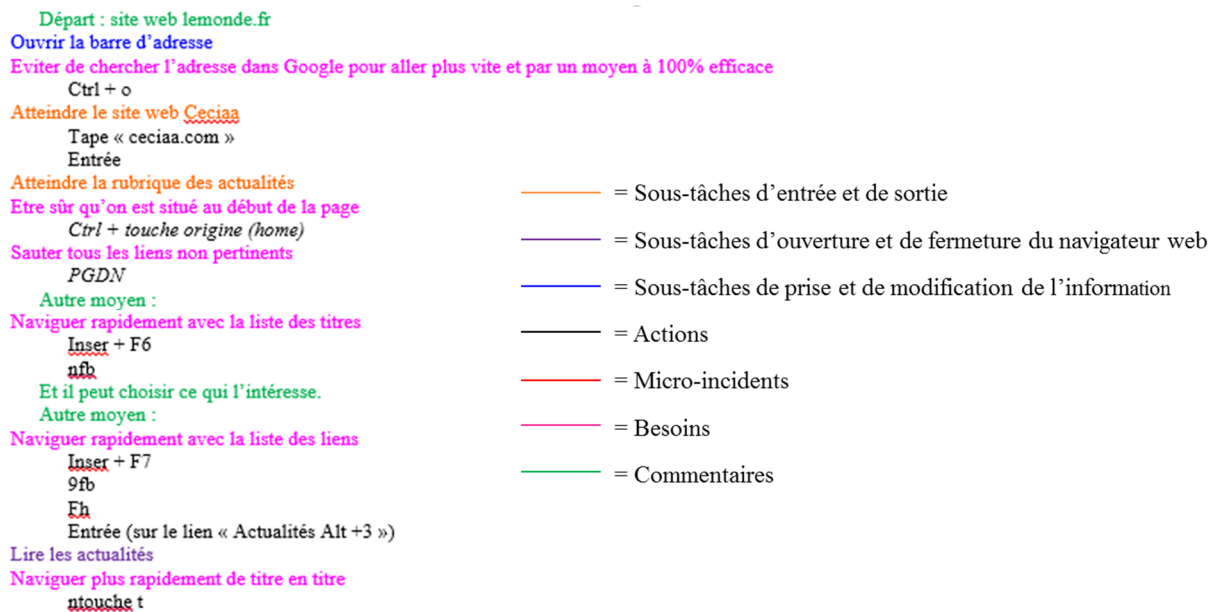


Figure 20. Exemple de codage d'une partie d'une tâche.

8.2.2. Les types de tâches

A partir de ce codage, nous avons pu mettre en correspondance les sous-tâches et les actions réalisées par les participants avec les 5 types de tâches du modèle SOLID (Uzan et al., 2011). Ces 5 types de tâches ne correspondent pas au terme « tâche » tel qu'il est défini par Leplat (2001) (cf. section 5.1). En effet, les tâches de ce modèle sont des étapes intermédiaires que l'utilisateur réalise pour atteindre le but, correspondant alors à des sous-tâches ou des actions selon le type de tâches concerné. De ce fait, le terme « tâche » n'est pas utilisé à bon escient dans ce cas. Néanmoins, pour être cohérent avec le modèle SOLID (Uzan et al., 2011), nous conserverons ce terme pour la caractérisation des comportements des ULEDV. Ainsi, par transposition de ce modèle, 5 types de tâches ont été observées lors de la navigation web des participants :

1. les tâches transitionnelles correspondant aux sous-tâches d'entrée et de sortie d'un site web, d'une page web ou d'une zone de la page web ;

2. les tâches liées à la navigation proprement dite correspondant aux actions réalisées par le participant pour se déplacer à partir des touches du clavier ou de combinaisons de ces touches ;
3. les tâches connexes relatives à la navigation correspondant aux sous-tâches d'ouverture et de fermeture du navigateur web ;
4. les tâches relatives à l'activité de l'utilisateur correspondant aux sous-tâches de prise et de modification de l'information ;
5. les tâches relatives aux incidents correspondant aux actions réalisées suite aux micro-incidents.

Afin que les termes utilisés soient adaptés à la navigation web, seuls les intitulés du premier et du dernier type de tâches sont identiques à ceux du modèle SOLID (Uzan et al., 2011). Les autres intitulés ont été renommés. Ainsi, les tâches liées à la navigation proprement dite correspondent aux tâches liées au déplacement. Les tâches connexes relatives à la navigation correspondent aux tâches connexes relatives au transport. Les tâches relatives à l'activité de l'utilisateur correspondent aux tâches durant le déplacement.

8.2.3. Les catégories de méthodes d'utilisation de raccourcis

Lors de la réalisation des 5 types de tâches, nous avons constaté que les participants ont utilisé de nombreux raccourcis dont une grande partie n'a pas été observée lors de l'observation armée. Afin de réaliser une synthèse de l'utilisation de ces raccourcis, nous les avons répartis en 4 catégories : les méthodes d'atteinte rapide d'un élément permettant d'atteindre plus rapidement le lien ou l'information souhaitée, les méthodes de localisation dans le site web permettant de se localiser rapidement dans le site web, les méthodes d'accès et de fermeture rapides permettant d'ouvrir et de fermer plus rapidement le navigateur web et les méthodes de résolution de problèmes permettant de résoudre des problèmes imposés par le système

informatique plus rapidement. Ces raccourcis peuvent être exécutés à partir de touches alphanumériques, de défilement, de fonction ou de combinaisons de ces touches. Ils sont répertoriés en fonction des méthodes et des touches utilisées dans le Tableau 12.

Tableau 12. Raccourcis utilisés par les participants en fonction des méthodes et des touches utilisées.

	Méthodes d'atteinte rapide d'un élément	Méthodes de localisation dans le site web	Méthodes d'accès et de fermeture rapides	Méthodes de résolution de problèmes
Touches alphanumériques	Touches « x », « y », « u », « e », « b », « z », « c », « f », « t », « h », « l », « 2 », « 3 ».			
Combinaisons de touches	« Inser + F7 » « Inser + F6 » « Alt + f » « Ctrl + f »	« Ctrl + Origine » « Inser + t »	« Ctrl + o » « Ctrl + l » « Alt + d » « Windows + r » « Alt + F4 »	« Inser + Echap » « Alt + Tab » « Alt + flèche bas »
Touches de défilement	Touches « PGDN » et « PGUP »			
Touches de fonction	F5			

Sauf mention particulière, tous les raccourcis sont des raccourcis spécifiques au lecteur d'écran. Les raccourcis utilisés lors des méthodes d'atteinte rapide d'un élément et leur fonction correspondante sont listés ci-après en fonction du groupe de touches utilisées :

• **Touches alphanumériques :**

- La touche « X » permet d'atteindre directement la prochaine case à cocher.
- La touche « Y » permet d'atteindre directement le prochain tableau.
- La touche « U » permet d'atteindre directement le prochain bouton.
- La touche « E » permet d'atteindre directement le prochain champ d'édition.
- La touche « B » permet d'atteindre directement le prochain bloc de texte.
- La touche « Z » ou « C » permet d'atteindre directement le prochain menu déroulant (« Z » pour le lecteur d'écran « JAWS » et « C » pour le lecteur d'écran « NVDA »).

- La touche « F » permet d'atteindre directement le prochain formulaire.
- La touche « T » ou « H » permet de naviguer de titre en titre (« T » pour le lecteur d'écran « JAWS » et « H » pour le lecteur d'écran « NVDA »).
- La touche « 1 » permet de naviguer de titre 1 en titre 1.
- La touche « 2 » permet de naviguer de titre 2 en titre 2.
- La touche « 3 » permet de naviguer de titre 3 en titre 3.

• **Combinaisons de touches :**

- La combinaison « Inser + F7 » permet d'ouvrir la boîte de dialogue des liens de la page web pour atteindre directement le lien souhaité³⁵.
- La combinaison « Inser + F6 » permet d'ouvrir la boîte de dialogue des titres de la page web pour atteindre directement le titre souhaité.
- La combinaison « Alt + F » permet d'atteindre directement le moteur de recherche du site web.
- La combinaison « Ctrl + F » permet de faire une recherche dans la page web par mots-clés (connus de l'utilisateur) pour atteindre directement l'élément souhaité.

• **Touches de défilement :**

- Les touches « PGDN » (« Page Down ») et « PGUP » (« Page Up ») permettent de naviguer de zone d'informations en zone d'informations afin de sauter un maximum d'informations non pertinentes avec la tâche. La touche « PGDN » permet de sauter des zones d'informations de haut en bas alors que la touche « PGUP » permet de sauter des zones d'informations de bas en haut.

Ces 2 derniers raccourcis (« Ctrl + F » et « PGDN »/« PGUP ») sont des raccourcis du système d'exploitation « Windows » qui ne sont pas destinés à atteindre rapidement un élément,

³⁵ cf. Section 7.4 (p.115)

contrairement aux raccourcis spécifiques du lecteur d'écran. Plusieurs participants ont parlé d'« astuces » afin d'éviter de lire ou relire de nombreuses informations pour atteindre plus rapidement le contenu recherché. Cependant, le raccourci « PGDN »/« PGUP » ne fonctionne pas correctement avec tous les sites web car la zone d'atteinte du curseur est dépendante de la structure du site web.

Les raccourcis utilisés lors des méthodes de localisation dans le site web et leur fonction correspondante sont énumérés ci-après :

- La combinaison « Inser + T » permet de lire le titre de la page actuelle afin de se localiser dans le site web.
- La combinaison « Ctrl + Origine » permet de revenir au premier élément de la page web pour se donner un point de départ et ainsi se localiser dans la page web. Ce raccourci est un raccourci spécifique au système d'exploitation « Windows ».

Les raccourcis utilisés lors des méthodes d'accès et de fermeture rapides et leur fonction correspondante sont listés ci-après :

- Les combinaisons « Ctrl + O » et « Windows + R » permettent d'ouvrir directement la barre d'adresse du navigateur web.
- Les combinaisons « Ctrl + L » et « Alt + D » permettent de positionner directement le curseur dans la barre d'adresse du navigateur web.
- La combinaison « Alt + F4 » permet de fermer le navigateur web.

Les raccourcis utilisés lors des méthodes de résolution de problèmes et leur fonction correspondante sont énumérés ci-après en fonction du groupe de touches utilisées :

• **Combinaisons de touches :**

- La combinaison « Alt + Tab » permet de naviguer d'application en application (permettant ainsi d'éviter un escamot qui vient de s'ouvrir, par exemple).

- La combinaison « Inser + Echap » permet de rafraîchir l'écran lorsqu'il est surchargé.
- La combinaison « Alt + Flèche bas » permet de dérouler les menus déroulants qui ne sont pas accessibles.

- **Touches de fonction :**

- La touche de fonction « F5 » permet de rafraîchir la page web.

Les raccourcis des 2 dernières catégories de méthodes sont tous des raccourcis spécifiques au système d'exploitation « Windows ».

Par ailleurs, les méthodes d'atteinte rapide d'un élément sont les plus utilisées par les participants. Tous les participants ont effectivement navigué à l'aide de ces méthodes au moins une fois (100%). En revanche, ce taux varie selon le type de touches utilisées. En effet, 91% des participants utilisent ces méthodes avec des touches alphanumériques ou des combinaisons de touches alors qu'ils ne sont plus que 27% à les utiliser avec des touches de défilement. En outre, 45% des participants ont utilisé ces méthodes avec les raccourcis spécifiques au système d'exploitation « Windows » qui ne sont pas prévus à cet effet. En effet, les participants détournent ces raccourcis de leur fonction principale afin d'éviter de lire de nombreuses informations non pertinentes avec leur tâche pour atteindre plus rapidement le contenu recherché. Les méthodes de localisation dans le site web ainsi que d'accès et de fermeture rapides font partie des méthodes les plus utilisées (91% des participants) à la différence des méthodes de résolution de problèmes (18%). Le pourcentage des participants ayant utilisé ces méthodes au moins une fois est présenté dans le Tableau 13.

Tableau 13. Pourcentage des participants selon les méthodes utilisées.

Méthodes d'atteinte d'un élément avec des touches alphanumériques	Méthodes d'atteinte d'un élément avec une combinaison de touches	Méthodes d'atteinte d'un élément avec des touches de défilement	Méthodes de localisation dans le site web	Méthodes d'accès et de fermeture rapides	Méthodes de résolution de problèmes
91%	91%	27%	91%	91%	18%

8.2.4. Les catégories de motifs

Les motifs de navigation web des participants ont été relevés à partir de leurs réponses au post-questionnaire. Nous les avons répartis en 5 catégories : le divertissement, les relations sociales, la connaissance d'un élément, l'acquisition d'un service ou d'un bien et la gestion de compte. Ces 5 catégories de motifs trouvent leurs correspondances avec celles du modèle SOLID (Uzan et al., 2011) : le divertissement correspondant à l'activité physique, les relations sociales correspondant à la catégorie du même intitulé, la connaissance d'un élément correspondant à la connaissance d'un environnement, l'acquisition d'un service ou d'un bien correspondant à l'atteinte d'un lieu, d'une personne ou d'un objet et la gestion de compte correspondant à la fois à la connaissance d'un environnement lorsqu'il s'agit de consulter de l'information (consultation du solde bancaire, par exemple) et à l'atteinte d'un lieu, d'une personne ou d'un objet lorsqu'il s'agit de réaliser une action (réaliser un virement bancaire, par exemple). Chacune de ces catégories est composée de sous-motifs présentés dans le Tableau 14.

Tableau 14. Les 5 catégories de motifs de navigation web.

Relations sociales	<ul style="list-style-type: none"> - Communiquer verbalement - Communiquer textuellement (par courriel ou messages instantanés) - Retrouver des anciens amis - Rencontrer de nouvelles personnes - Echanger entre membres d'un même groupe sur un sujet en commun (répondre à une question sur un forum) - Echanger des fichiers
Divertissement	<ul style="list-style-type: none"> - Jouer - Consulter des vidéos - Ecouter de la musique - Consulter une bande-annonce de film - Consulter le contenu d'amis sur les réseaux sociaux - Partager du contenu sur les réseaux sociaux
Connaissance d'un élément	<ul style="list-style-type: none"> - Se cultiver sur un sujet précis - Travailler (pour faire des comptes rendus, donner des renseignements) - Cuisiner (chercher une recette) - Sortir (Connaître les événements de la ville) - Approfondir une actualité entendue à la radio/TV - Rechercher une réponse à une question - Rechercher la séance d'un film dans une salle de cinéma précise - Lire ses nouveaux messages - Consulter son solde bancaire - Consulter ses versements de l'allocation logement - Consulter ses remboursements de la sécurité sociale - Consulter sa facture de téléphone - Consulter les nouvelles offres de téléphone et de forfait - Consulter ses remboursements - Consulter les offres d'emploi - Connaître les anniversaires de ses amis - Consulter le contenu d'amis sur les réseaux sociaux - Diffuser de l'information sur les réseaux sociaux - Connaître qui est qui est en relation sur les réseaux sociaux - Connaître les actualités (générales, technologiques, sur le handicap, sur la santé, sportives, la météo, le programme TV, musicales, cinématographiques, culturelles, scientifiques, politiques) - Connaître les horaires de train - Connaître l'itinéraire piéton pour prendre le métro - Connaître les films projetés en audiodescription au cinéma, quelle séance et quelle salle - Connaître le contenu du panier de légumes bio de la semaine - Rechercher des coordonnées téléphoniques - Consulter le catalogue des livres en braille afin de les emprunter à la bibliothèque - Consulter des vidéos - S'abonner à des flux RSS et lire les nouvelles actualités pour être à jour en permanence sans rechercher l'information
Acquisition d'un service ou d'un bien	<ul style="list-style-type: none"> - Commander un menu d'un restaurant et se faire livrer - Effectuer ses courses alimentaires - Effectuer ses courses de produits informatiques - Effectuer ses courses de produits de loisirs (sport) - Effectuer ses courses de produits High Tech (TV) - Effectuer ses courses de produits mobiliers/électroménagers - Effectuer ses courses de produits scolaires (livres) - Réserver un billet de train/avion/spectacle
Gestion de compte	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser des virements d'argent - Commander son chéquier - Modifier/ajouter/supprimer des options à son forfait de téléphone - Actualiser son CV et postuler à des offres d'emploi - Réinitialiser sa box - Gérer des listes de discussion

A partir des réponses au post-questionnaire, nous avons également réalisé une analyse supplémentaire sur les différentes technologies numériques utilisées par les participants pour accéder aux différents services en ligne (actualités, achat en ligne, réseaux sociaux, etc.) classifiés selon les 5 catégories de motifs. Nous avons constaté que le Web est la technologie numérique la plus utilisée peu importe la catégorie de motifs. Néanmoins, l'utilisation de la technologie numérique « Application mobile » n'est pas pour autant marginale. En effet, selon les propos des participants, cette technologie semble être préférée pour les activités de courte durée leur évitant d'allumer leur ordinateur, notamment pour les catégories de motifs « Relations sociales », « Divertissement » et « Gestion de compte ». La technologie numérique « Application de bureau³⁶ » n'est utilisée que pour les catégories de motifs « Connaissance d'un élément » et « Acquisition d'un service ou d'un bien », qui plus est son utilisation reste modeste. Le Tableau 15 présente le pourcentage des participants en fonction des différentes technologies numériques et des 5 catégories de motifs.

Tableau 15. Pourcentage des participants utilisant les différentes technologies numériques selon les 5 catégories de motifs.

	Web	Application mobile	Application de bureau	Aucun
Relations sociales	45%	45%	/	27%
Divertissement	73%	45%	/	27%
Connaissance d'un élément	100%	27%	9%	/
Acquisition d'un service ou d'un bien	73%	27%	18%	/
Gestion de compte	91%	45%	/	/

Les réponses obtenues au post-questionnaire sont présentées en Annexe G dans le CD joint à cette thèse.

³⁶ Une application de bureau est un logiciel applicatif qui est l'équivalent d'une application mobile, à la différence qu'elle est installée sur l'ordinateur. Dans le cas d'applications de bureau échangeant des données via Internet, ces applications sont souvent plus épurées que les sites web correspondants.

8.2.5. Les catégories de besoins

A partir du codage des entretiens, nous avons distingué de nombreux besoins que nous avons répartis en 5 catégories par transposition du modèle SOLID (Uzan et al., 2011) : le besoin de sécurité, le besoin d'orientation, le besoin de localisation, le besoin d'information et le besoin au niveau de la navigation web (correspondant au besoin au niveau du déplacement physique). Le besoin de sécurité correspond au besoin d'accès à certaines informations inaccessibles comme les captchas et d'éviter la perte de l'utilisateur par la perte de repères dans sa lecture (par exemple, la lecture inadaptée d'un tableau). Le besoin d'orientation correspond au besoin de vision globale du site web et d'aide à la mémorisation de la structure du site web. Le besoin de localisation correspond au besoin de se localiser inter et intra-pages dans le site web (par exemple : « Sur quel site web suis-je ? », « Où suis-je dans la page web ? »). Le besoin d'information correspond au besoin de retours sur l'action réalisée par l'utilisateur mais également par l'interface (lors de l'apparition d'un message d'erreur, par exemple). Le besoin au niveau de la navigation web correspond au besoin d'éviter les difficultés de lecture (cohérence de la lecture interrompue, par exemple) et d'éviter la pénibilité, c'est-à-dire les difficultés pour atteindre rapidement l'information souhaitée alourdissant la charge mentale, qui concerne alors la problématique du filtrage des informations. Ces 5 catégories de besoins ont été relevées pour chacune des catégories de motifs citées précédemment. Le Tableau 16 présente la répartition des besoins exprimés par les participants selon leur catégorie.

Tableau 16. Répartition des besoins exprimés par les participants en fonction des 5 catégories de besoins.

Sécurité	Orientation	Localisation	Information	Besoin au niveau de la navigation web
6%	21%	16%	16%	41%

Bien que tous les participants aient exprimé au moins l'un des besoins des 4 dernières catégories, une catégorie de besoin apparaît comme prédominante. En effet, 41% des besoins exprimés par les participants appartiennent à la catégorie du besoin au niveau de la navigation

web. Le Tableau 17 présente le pourcentage de participants ayant exprimé les différents besoins par catégorie de besoins.

Tableau 17. Les 5 catégories de besoins et le pourcentage des participants ayant exprimé chacun des besoins.

Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> - Flash accessible ou ne pas être perturbé par celui-ci dans le cas de sa non-disponibilité (27%) - Captchas accessibles, soit correctement audibles pour le lecteur d'écran (18%) - Listes déroulantes des onglets accessibles, soit lisibles par le lecteur d'écran (18%) - Messages d'erreur accessibles, soit lisibles par le lecteur d'écran (9%) - Tableaux lus correctement de façon accessible (9%) - Etre sûr que le site web est sécurisé lors d'un achat en ligne (9%)
Orientation	<ul style="list-style-type: none"> - Exploration préalable du site web afin de connaître sa structure, son organisation et sa mise en page (sous forme de tableau ou non, titre de niveau 1 ou 2 ou 3, etc.) (100%) - Mémorisation permanente de la structure des pages web et des liens de chaque site web pour naviguer plus rapidement sur les sites web (mémoriser le nombre de liens à passer avant d'atteindre celui souhaité) (100%) - Efficacité certaine (100%) pour accéder à un site web. par exemple, éviter de chercher l'adresse dans Google pour aller plus vite et par un moyen à 100% efficace en tapant l'adresse directement dans la barre d'adresse (73%) - Vision globale avec un plan du site par exemple (45%) - Mémorisation de certaines informations (exemple : courriels lus ou non lus) (18%) - Stabilité de l'interface pour ne pas perdre ses repères (9%)
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> - Savoir où il est positionné dans la page ou dans une boîte de dialogue (82%) - Etre sûr d'être positionné dans le champ d'édition pour ne pas taper dans le vide et donc de ne pas perdre du temps (100%) - Connaître où est positionné tel lien ou contenu par rapport à un autre (45%) - Savoir dans quelle page web il se situe (revenir en arrière ou Inser + t) (36%)
Information	<ul style="list-style-type: none"> - Retour sur l'état du système (page en chargement, page chargée) (100%) - Retour sur le résultat de leur action (par exemple, savoir immédiatement si les résultats de leur recherche sont cohérents avec ce qu'il souhaite, s'il n'y a pas une erreur de frappe, être sûr de l'orthographe d'un mot sans avoir besoin de l'épeler) (100%) - Etre sûr d'obtenir l'information souhaitée (55%) - Retour comme quoi un message d'erreur est apparu (9%)
Besoin au niveau de la navigation web	<ul style="list-style-type: none"> - Aller directement au contenu souhaité et éviter les menus et les liens non pertinents (100%) - Atteindre le lien le plus efficace et le plus rapide pour obtenir l'information souhaitée (100%) - Naviguer rapidement pour atteindre le lien souhaité par divers raccourcis (100%) - Epuraison des pages web (éviter le nombre de liens trop important, configurer certains sites web en Html 5 simplifié pour qu'il soit plus épuré) (100%) - Elaboration de moyens d'accès rapide (100%) - Utilisabilité pour tous (45%) - Intuitivité et de simplicité dans la navigation web du site (27%) - Clarté (ex : titres devraient être clairs et intuitifs) (36%) - Tout tester (exemple : si la touche « Entrée » fonctionne ou s'il faut chercher le bouton « Rechercher » et cliquer dessus) (18%) - Légèrer les liens et/ou les images car souvent des tas de liens ne veulent rien dire (18%) - Cohérence dans la lecture (que les mots ne soient pas coupés/hachurés) (9%)

8.3. Discussion

Conformément à notre objectif, cette enquête contextuelle a permis de caractériser les types de tâches, les catégories de motifs et de besoins des ULEDV lors de leur navigation web par transposition du modèle SOLID (Uzan et al., 2011) mais a également permis d'identifier

les catégories de méthodes d'utilisation de raccourcis. Cette caractérisation peut constituer un modèle selon la définition de Rossi (1997) par la retranscription d'une réalité et selon la définition de Falzon (2004) par le caractère opératoire d'un modèle orienté vers l'action permettant d'agir sur la situation. Sur la base de ces définitions, nous proposons alors un modèle descriptif qui permet de retranscrire la réalité de la navigation web des ULEDV par la caractérisation des types de tâches, des catégories de motifs, de besoins et de méthodes d'utilisation des raccourcis mais également d'agir sur la conception d'interfaces web par la prise en compte de ces besoins tel que le préconise l'approche holistique (Phipps et al., 2006; Sloan et al., 2006). Dans ce modèle, les motifs initient la navigation web qui requiert l'exécution de différents types de tâches pendant lesquelles émergent plusieurs besoins entraînant l'usage de méthodes d'utilisation de raccourcis. Nous rappelons que le terme « tâche » ne se réfère pas à la définition de la tâche telle que l'a déterminé Leplat (2001). Selon sa définition, il s'agit d'une sous-tâche comme nous l'avons expliqué dans la sous-section 8.2.2. Néanmoins, nous avons préservé cette terminologie dans notre modèle pour rester cohérent avec le modèle SOLID. La Figure 21 présente le modèle de la navigation web des ULEDV. A l'instar du modèle SOLID (Uzan et al., 2011), nous nommerons ce modèle : SOLIN (Sécurité, Orientation, Localisation, Information et Navigation web).

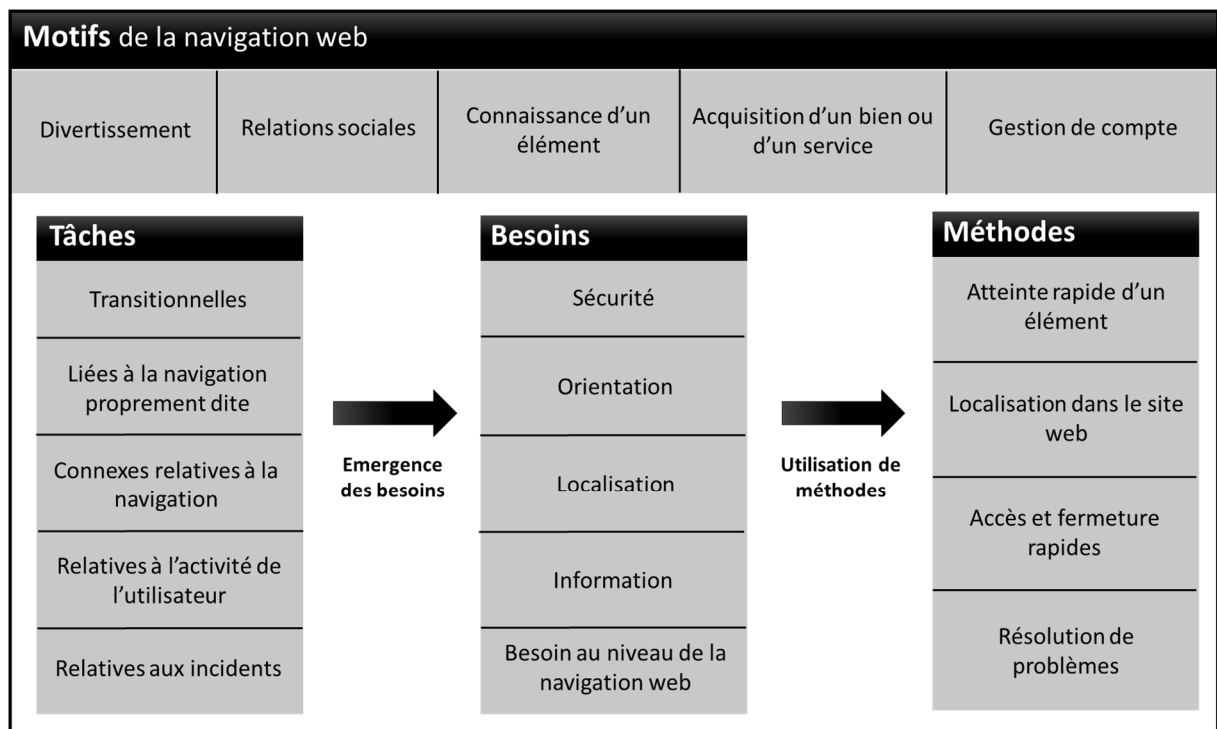


Figure 21. Le modèle de la navigation web des ULEDV : SOLIN.

La navigation web des ULEDV est initiée à partir d'un motif de navigation parmi les 5 catégories suivantes (en haut dans la Figure 21) : le divertissement, les relations sociales, la connaissance d'un élément, l'acquisition d'un service ou d'un bien et la gestion de compte. Ces catégories de motifs trouvent leurs correspondances avec celles du modèle SOLID (Uzan et al., 2011) mais également avec celles d'utilisateurs voyants dans le cadre de la navigation web (Rodgers, Jin, Rettie, Alpert & Yoon, 2005). En effet, les travaux de ces auteurs ont mis en évidence 4 catégories de motifs identiques lors de la navigation web d'utilisateurs voyants de plusieurs pays (Etats-Unis, Royaume-Uni, Australie et Corée) : la recherche d'information, les relations sociales, le divertissement et l'acquisition d'un service ou d'un bien. En revanche, ces auteurs n'évoquent pas l'activité de gestion de compte. Il est possible que cette activité n'était pas très répandue à l'époque de cette étude. En somme, les motifs de navigation web des ULEDV sont analogues à ceux de la navigation physique des piétons-voyageurs déficients visuels mais également similaires à ceux de la navigation web d'utilisateurs voyants, ce qui

conforte nos résultats. Par ailleurs, l'analyse supplémentaire réalisée sur les différentes technologies numériques utilisées selon ces 5 catégories de motifs a montré que le Web est la technologie numérique privilégiée des ULEDV. Ce résultat peut s'expliquer par 2 raisons explicitées par les participants pendant l'entretien ou suite au post-questionnaire. Premièrement, le Web a permis un gain d'autonomie pour les ULEDV qui peuvent désormais réaliser des tâches qu'ils ne pouvaient effectuer auparavant sans l'aide d'un tiers, qui plus est des tâches impliquant des informations confidentielles telles que gérer leur compte bancaire. Secondement, il s'agit d'un moyen plus rapide d'obtenir ce qu'ils souhaitent, voire instantané, sans se déplacer et sans contraintes d'horaires (par exemple, connaître le solde de leur compte bancaire). En outre, la technologie numérique « Application mobile » est également un moyen très utilisé par les participants. Certains combinent cette technologie avec le Web tandis que d'autres la privilégient car les applications mobile sont plus rapides à l'allumage de l'appareil et certaines applications mobile sont plus accessibles, car plus épurées, que le site web correspondant, notamment pour les réseaux sociaux. En revanche, l'utilisation du Web est préférée lorsque les utilisateurs réalisent une activité d'approfondissement, souvent de plus longue durée, telle que la recherche d'information ou l'acquisition d'un bien.

Une fois la navigation web des ULEDV initiée par un motif, elle comprend 5 types de tâches (à gauche de la Figure 21) : les tâches transitionnelles, les tâches liées à la navigation proprement dite, les tâches connexes relatives à la navigation, les tâches relatives à l'activité de l'utilisateur et les tâches relatives aux incidents. La réalisation de ces différentes tâches compose alors le parcours de l'utilisateur inter et intra-pages d'un site web.

Lors de ce parcours, plusieurs besoins des ULEDV émergent (au centre de la Figure 21). Nous les avons classés en 5 catégories : le besoin de sécurité, le besoin d'orientation, le besoin de localisation, le besoin d'information et le besoin au niveau de la navigation web. Le besoin de sécurité a été le besoin le moins exprimé par les participants (6%). Ce résultat peut

s'expliquer par le fait que les participants ont réalisé leur navigation sur des sites web qu'ils ont l'habitude d'utiliser. De ce fait, ils ont été peu nombreux à naviguer sur des sites web susceptibles d'engendrer des problèmes d'accès à certaines informations telles que les captchas. Les besoins d'orientation, de localisation et d'information ont été exprimés en proportion plus élevée que ce premier besoin (respectivement 21%, 16% et 16%). En effet, il est important pour les ULEDV de pouvoir se localiser dans la page web pour éviter de se perdre dans leur navigation, d'obtenir des retours sur le résultat de leurs actions et du système pour planifier la suite de leurs opérations et d'avoir une vision globale de l'architecture du site web pour savoir quel chemin de navigation emprunté. Néanmoins, le besoin à avoir été le plus exprimé par les participants est le besoin au niveau de la navigation web (41%). En effet, pratiquement la moitié des besoins exprimés par les participants concernait cette catégorie. Il est alors fondamental pour les ULEDV de pouvoir naviguer le plus rapidement possible de manière efficace afin d'atteindre leur objectif sans être surchargés d'informations non pertinentes.

Ce résultat est cohérent avec les 4 catégories de méthodes d'utilisation de raccourcis qu'utilisent les ULEDV (à droite de la Figure 21) : les méthodes d'atteinte rapide d'un élément, les méthodes de localisation dans le site web, les méthodes d'accès et de fermeture rapides et les méthodes de résolution de problèmes. En effet, les ULEDV tentent de répondre à leurs besoins par l'utilisation de raccourcis leur permettant soit d'atteindre un élément plus rapidement, de se localiser rapidement dans le site web, d'ouvrir ou fermer rapidement le navigateur web ou de résoudre rapidement un incident. Les méthodes d'atteinte rapide d'un élément sont les plus utilisées (100% des participants). Sachant que l'information recherchée se trouve dans un tableau, dans un bloc de texte, proche d'un bouton ou autre, l'ULEDV utilise le raccourci correspondant à cette zone pour atteindre plus rapidement l'information souhaitée (cf. sous-section 8.2.3). Par exemple, l'utilisateur, sachant que l'information recherchée est localisée dans le quatrième bloc de texte de la page web, appuiera 4 fois sur la touche « B »

pour atteindre ce qu'il souhaite. Ces raccourcis permettent ainsi d'atteindre un élément beaucoup plus rapidement qu'en utilisant uniquement les flèches. De plus, certains ULEDV vont jusqu'à utiliser des raccourcis spécifiques au système d'exploitation « Windows » en détournant leur fonction principale afin de sauter un maximum de liens non pertinents avec leur tâche. Toutefois, seulement 45% des participants ont utilisé ces raccourcis. Ce taux est encore plus faible lorsqu'il s'agit de touches de défilement (27%). En effet, la zone d'atteinte du curseur de ces touches étant dépendante de la structure du site web, leur utilisation nécessite une exploration préalable des pages web, un essai à tâtons de celles-ci à différentes positions du curseur dans la page web et une mémorisation de l'architecture du site web. Ces méthodes restent alors condamnées au rang d'« astuce ». Les méthodes de localisation dans le site web ainsi que d'accès et de fermeture rapides sont également très utilisées (91% des participants) car elles permettent, elles aussi, une navigation web plus rapide. En revanche, les méthodes de résolution de problèmes sont peu utilisées alors qu'elles permettent de résoudre les problèmes de manière efficace et très rapide, tel qu'un arrêt brutal de la lecture dû à une surcharge de l'écran. En effet, seulement 18% des participants les ont utilisées. Néanmoins, seulement 45% des participants ont rencontré des incidents où l'utilisation de ces méthodes aurait été bénéfique du point de vue de l'efficacité de la réalisation de la tâche. De ce fait, le taux de participants qui ont utilisé ces méthodes parmi ceux qui en ont eu besoin atteint 40% alors que les autres 60% ont fermé la page web et ont recommencé leur navigation depuis le départ, allongeant fortement leur temps de navigation. Ainsi, ces méthodes ne sont pas utilisées par une majorité des participants. Nous pouvons raisonnablement penser que ce résultat peut s'expliquer par une méconnaissance de celles-ci pour 2 raisons. Premièrement, les raccourcis utilisés lors de ces méthodes fonctionnent peu importe le site web (à l'exception d'un seul). L'absence d'utilisation de ces raccourcis par certains participants ne peut donc pas s'expliquer par le fait que ces raccourcis n'étaient pas utilisables sur le site web dans lequel est survenu l'incident.

Secondement, ces méthodes permettent d'éviter un problème entraînant de la chronophagie par la relecture complète des informations déjà lues jusqu'à l'atteinte de l'élément où le problème est survenu. De ce fait, elles permettent d'offrir une solution efficace à un problème importun qui augmente fortement le temps de réalisation de la tâche des ULEDV.

De surcroît, tous les raccourcis utilisés par ces méthodes n'ont pas été relevés lors de l'observation armée. Deux raisons peuvent expliquer ce constat. Premièrement, les sites web et scénarios des tâches étaient imposés aux participants dans l'observation armée. Il est donc possible que l'utilisation de ces raccourcis n'était pas adaptée lors de la navigation dans ces sites web ou lors de la réalisation de ces tâches spécifiques. Secondement, la taille réduite de l'échantillon a pu limiter les possibilités d'observation de l'usage effectif des différents raccourcis. Par ailleurs, ces raccourcis peuvent varier selon le système d'exploitation, le navigateur web, le site web ou le lecteur d'écran utilisé. Par exemple, naviguer de titre en titre avec le lecteur d'écran « JAWS » est possible avec la touche « T » alors qu'il s'agit de la touche « H » pour le lecteur d'écran « NVDA ». Toutefois, notre objectif n'était pas de recenser de manière exhaustive toutes les interactions possibles selon la configuration du système informatique utilisé mais d'identifier les types de tâches, de motifs et de besoins indépendamment de celle-ci.

Pour conclure, nous avons élaboré un modèle descriptif de la navigation web des ULEDV qui a 2 objectifs. Premièrement, ce modèle a pour vocation d'améliorer la compréhension des interactions entre les ULEDV et les interfaces web. Secondement, par l'identification des besoins des ULEDV, ce modèle permet d'appliquer l'approche holistique (Phipps et al., 2006; Sloan et al., 2006) qui préconise la prise en compte de ces besoins dans le but d'apporter une meilleure adaptation des interfaces web. De plus, il a révélé l'importance d'une catégorie de besoins en particulier : le besoin au niveau de la navigation web. C'est

pourquoi nous avons décidé d'opérationnaliser la confrontation entre l'approche holistique et l'approche exhaustive par la prise en compte de ce besoin lors des 3 prochaines expériences.

9. Les études expérimentales

L'objectif général des 3 expériences est de confronter l'approche holistique à l'approche exhaustive afin de découvrir si l'application de l'approche holistique apporte un bénéfice substantiel en termes de charge cognitive, d'efficacité, d'efficience et de satisfaction. Les 2 premières expériences permettent de répondre à notre objectif de façon complémentaire. En effet, la première expérience permet d'évaluer la charge cognitive à partir d'une mesure subjective et la seconde expérience permet de l'évaluer à partir d'une mesure comportementale. Ainsi, nous présenterons ces 2 expériences ensemble dans la section suivante. La troisième expérience découle directement des 2 premières expériences en répondant à des objectifs similaires mais dans des conditions plus naturelles. Nous la présenterons alors à la suite des 2 premières expériences.

9.1. Problématique et hypothèses des expériences 1 et 2

Comme nous venons de l'expliquer, l'objectif des 2 premières expériences présentées ici est de confronter l'approche holistique, qui préconise la prise en compte des besoins des utilisateurs, à l'approche exhaustive qui retranscrit exhaustivement les informations visuelles en informations auditives. Afin d'appliquer l'approche holistique, nous avons privilégié le besoin au niveau de la navigation web du modèle SOLIN précédemment élaboré. Nous avons choisi ce besoin car il s'agit du besoin le plus exprimé par les participants. En effet, pratiquement la moitié des besoins exprimés par les participants concernait celui-ci. Les ULEDV ont alors besoin d'une navigation efficace mais également efficiente, c'est-à-dire qu'ils ont besoin d'atteindre leur but dans un délai et avec une charge cognitive raisonnables. Pour satisfaire ce besoin, le nombre d'informations présentées doit être réduit, notamment en

éliminant les informations redondantes et non pertinentes avec la tâche, allégeant ainsi la charge cognitive (Bastien, 1997; DeStefano et al., 2007; Dinet et al., 2002; Rouet, 2003; Rouet et al., 1998; Sweller, 2010). Cette réduction est d'autant plus avantageuse lors de la phase de sélection car ces informations, alourdissant la charge cognitive (Ignacio et al., 2009), peuvent entraîner une désactivation de la représentation du but (Dinet et al., 2002; Rouet et al., 1998) et activer inutilement des schémas non pertinents en MLT, ce qui peut favoriser de mauvaises décisions quant au choix des éléments essentiels à traiter lors de cette phase (Le Bohec et al., 2005). La conception de l'interface suivant l'approche holistique a alors pour vocation de répondre à ce besoin à partir d'une retranscription contextualisée des informations au moyen d'un filtrage des informations redondantes et non pertinentes avec la tâche, à la différence de la conception de l'interface suivant l'approche exhaustive qui fournit une retranscription exhaustive de toutes les informations. Ce filtrage est réalisé à partir d'un accès direct au contenu associé à l'action réalisée par l'ULEDV (soit la lecture immédiate du contenu souhaité), réduisant alors le nombre d'informations retranscrites. Ainsi, nous émettons les hypothèses générales selon lesquelles l'application de l'approche holistique lors de la conception d'interfaces web permet de diminuer la charge cognitive des participants lors de la navigation web par rapport à celle de l'approche exhaustive (hypothèse 1), ce bénéfice étant plus important lors de la phase de sélection (hypothèse 2), et améliore également l'utilisabilité de l'interface en termes d'efficacité et d'efficience (hypothèse 3). De plus, les utilisateurs les moins experts éprouvent davantage de difficultés à filtrer les informations pertinentes et non pertinentes. En effet, ils perçoivent moins rapidement les informations pertinentes, traitent davantage les informations pertinentes comme non pertinentes et n'ont pas ou peu de stratégies pour diminuer la quantité d'informations à traiter (Cellier et al., 2010; Kirschner, 2002). En outre, la désactivation de la représentation du but semble être amoindrie, voire absente, lorsque les utilisateurs sont experts. (Dinet et al.,

2002). Nous faisons alors l'hypothèse selon laquelle le bénéfice apporté par l'approche holistique augmente avec la diminution du niveau d'expertise des participants (hypothèse 4).

Deux expériences ont été élaborées pour mettre à l'épreuve ces hypothèses. Dans l'expérience 1, la charge cognitive était mesurée à l'aide du questionnaire NASA-RTLX pour l'évaluer sur une séquence complète de la tâche allant jusqu'à l'atteinte du but. L'expérience 2 recourait au paradigme de la double tâche où la tâche secondaire consistait à appuyer le plus vite possible sur une touche spécifique lors de l'apparition d'un signal sonore. La charge cognitive relative à la tâche principale était alors mesurée par le temps de réaction (TR) à un signal sonore intervenant à deux moments distincts afin d'évaluer la charge cognitive (phase de sélection et phase de lecture du contenu). Ces 2 phases correspondaient à la lecture de 2 zones différentes de l'interface que nous avons opérationnalisé par le facteur Zone (menu ; contenu). La phase de sélection correspondait à la lecture de la zone du menu de l'interface alors que la phase de lecture du contenu correspondait à la lecture de la zone du contenu. Ces 2 expériences ont donc permis de recueillir des mesures complémentaires de la charge cognitive. Deux versions des interfaces ont été également conçues selon l'approche appliquée :

- une version sans l'accès direct au contenu qui retranscrit exhaustivement toutes les informations correspondant à l'approche exhaustive, dite « version exhaustive » ;
- une version avec l'accès direct au contenu qui filtre les informations redondantes et non pertinentes avec la tâche correspondant à l'approche holistique, dite « version holistique ».

Afin de mettre à l'épreuve l'hypothèse 3 concernant les performances des participants, et plus précisément pour le temps d'exécution des tâches, le même nombre d'informations délivré par l'interface devait être identique dans les 2 versions. Afin de respecter cette contrainte tout en simulant l'accès direct au contenu de la version holistique, les informations ont été lues par deux voix différentes : une voix masculine pour les informations pertinentes avec la tâche

et une voix féminine pour les informations redondantes et non pertinentes avec la tâche et vice versa selon le contrebalancement. Ce procédé était identique dans les 2 versions à l'exception de la consigne. Pour la version holistique, les participants avaient pour consigne de ne tenir compte que d'une seule voix. Cette voix était celle qui lisait les informations pertinentes mais cette information n'était pas divulguée aux participants³⁷. Pour la version exhaustive, les participants devaient tenir compte des 2 voix. En revanche, cette troisième hypothèse ne pouvait être correctement mise à l'épreuve dans l'expérience 2 à cause de la tâche secondaire imposée par le paradigme de la double tâche qui interférait avec les performances des participants.

Comme indiqué précédemment, notre première hypothèse porte sur l'impact de la version holistique sur la charge cognitive, qui sera évaluée de deux façons dans nos études. Ainsi, nous formulons les 2 hypothèses opérationnelles suivantes :

Hypothèse 1a : Lors de l'expérience 1, les scores obtenus au questionnaire NASA-RTLX avec la version holistique sont inférieurs à ceux avec la version exhaustive.

Hypothèse 1b : Lors de l'expérience 2, les TR au signal sonore sont plus courts avec la version holistique qu'avec la version exhaustive.

Notre deuxième hypothèse porte sur l'impact du bénéfice apporté par la version holistique sur la charge cognitive en fonction de la phase (phase de sélection ou phase de lecture du contenu). Cette hypothèse sera mise à l'épreuve uniquement lors de l'expérience 2 et nous amène à formuler l'hypothèse opérationnelle suivante :

³⁷ Par exemple, les participants savaient qu'ils devaient prendre en compte la voix féminine mais ils ne savaient pas qu'il s'agissait de la voix qui lisait les informations pertinentes.

Hypothèse 2 : il existe un effet d'interaction entre le facteur Version (holistique et exhaustive) et le facteur Zone (menu et contenu). Autrement dit, la différence des TR au signal sonore entre la version holistique et la version exhaustive est plus importante lors de la phase de sélection que lors de la phase de lecture du contenu.

Notre troisième hypothèse porte sur l'impact de la version holistique sur les performances en termes d'efficacité et d'efficience. Cette hypothèse sera mise à l'épreuve uniquement lors de l'expérience 1 et nous amène à formuler l'hypothèse opérationnelle suivante :

Hypothèse 3 : le taux d'abandons, le taux d'échecs, le nombre de pages visitées, le nombre de boucles et de déviations par rapport au chemin de navigation optimal ainsi que les temps d'exécution des tâches sont inférieurs avec la version holistique que ceux avec la version exhaustive.

Notre quatrième hypothèse porte sur l'impact du bénéfice apporté par la version holistique en fonction de l'expertise des participants sur la charge cognitive et sur les performances en termes d'efficacité et d'efficience. Ainsi, nous formulons 3 hypothèses opérationnelles :

Hypothèse 4a : Lors de l'expérience 1, plus le niveau d'expertise du participant est faible, plus la différence des scores obtenus au questionnaire NASA-RTLX entre la version holistique et la version exhaustive est importante.

Hypothèse 4b : Lors de l'expérience 2, plus le niveau d'expertise du participant est faible, plus la différence des TR au signal sonore entre la version holistique et la version exhaustive est importante.

Hypothèse 4c : Lors de l'expérience 1, plus le niveau d'expertise du participant est faible, plus la différence du taux d'abandons, du taux d'échecs, du nombre de pages visitées, du nombre de boucles et de déviations par rapport au chemin de navigation optimal ainsi que des temps d'exécution des tâches entre la version holistique et la version exhaustive est importante.

9.2. Méthodologie des expériences 1 et 2

9.2.1. Matériel

Deux sites web ont été créés : un site web d'achat en ligne, intitulé « Tecktictope » et un site web d'une collectivité locale, intitulé « Chanterolle ». Un site web supplémentaire a été conçu spécifiquement pour la phase de familiarisation avec le protocole et l'interface. Ce site web était un site web d'actualité culturelle, intitulé « Actuculture ». L'arborescence de ces 3 sites web est présentée en Annexe 12.

Un questionnaire de sélection a été constitué pour sélectionner les participants à partir de leurs caractéristiques (âge, type de cécité, maîtrise de la langue française, etc.) et de leurs usages des systèmes informatiques. Ce questionnaire a également permis d'évaluer leur expertise selon la fréquence d'utilisation des systèmes informatiques, d'Internet et des différents types de sites web consultés. Au total, 8 questions ont été posées. Chaque question comportait 5 éventualités de réponses qui étaient rattachées à une note de 0 à 4. Ainsi, le score du participant pouvait aller de 0 à 32. Des scores élevés indiquaient un niveau d'expertise important. Ce questionnaire de sélection est présenté en Annexe 13.

Le questionnaire NASA-RTLX a été utilisé pour mesurer la charge cognitive lors de l'expérience 1. Nous avons opté pour cette variante du questionnaire initial NASA-TLX pour 2 raisons. Premièrement, le résultat obtenu avec le questionnaire NASA-RTLX est étroitement corrélé au résultat obtenu avec le questionnaire NASA-TLX (Byers et al., 1989; cité par Cegarra

et al., 2008). Secondement, le questionnaire NASA-RTLX permet de supprimer l'étape de pondération qui allongerait le temps d'expérimentation déjà important (cf. sous-section 3.4.2). Ce questionnaire est traduit en français du questionnaire NASA-RTLX (Cegarra et al., 2009) et a été adapté à l'oral³⁸. Il est présenté en Annexe 14.

9.2.2. Procédure

La présentation des sites web et l'enregistrement des données étaient réalisés par un programme développé par un ingénieur³⁹ à partir du logiciel « Sublime Text 2 » en langage informatique « Ruby ». Ce programme simulait à la fois un navigateur web, un site web, un lecteur d'écran et un générateur de signaux sonores, tout en enregistrant les données. Il assurait ainsi la présentation des informations auditives et des signaux sonores ainsi que l'enregistrement de toute action réalisée par le participant à l'aide du clavier, des temps d'exécution des tâches, des TR au signal sonore et des signaux sonores manqués (SSM). Lors de l'enregistrement des TR au signal sonore et des SSM, la zone de l'interface (menu ou contenu) associée à ces TR ou SSM était enregistrée. Les fichiers audio ont été créés à partir de la synthèse vocale « DSpeech » (Dimitrios Coustoumbas) en format Wave (22 kHz, 16 bits Mono) avec la voix féminine de Virginie et la voix masculine de Sébastien (RealSpeak Solo : SAPI 5). Ces voix françaises ont été choisies pour leur diction intelligible, claire et distincte. La vitesse d'élocution n'a été ni accélérée, ni ralentie par rapport au niveau par défaut de la synthèse vocale de sorte à maximiser cette intelligibilité. Le programme fournissait un retour visuel destiné uniquement à l'expérimentatrice afin de s'assurer du bon déroulement de l'expérience. La Figure 22 présente une capture d'écran du programme en question. Les informations de couleur verte permettaient de vérifier les conditions de la passation de

³⁸ Des pré-tests ont été réalisés auprès d'ULEDV afin de s'assurer de la bonne compréhension des questions à l'oral.

³⁹ Romain Hill, Ingénieur de l'école des Mines ParisTech et Directeur de l'entreprise 1Year1Book.

l'expérience. Le temps de navigation écoulé, l'apparition ou non de signaux sonores ainsi que les commandes autorisées étaient précisés (à gauche de la figure). Un historique des données enregistrées défilait à l'écran (à droite de la figure). L'élément lu par le programme à chaque instant était affiché à l'écran afin de permettre à l'expérimentatrice de savoir où se situait le participant dans le site web (en bas de la figure).

```

Expérience
-----
Participant : 1
Site : site2
Consigne : 2) Holistique
Tache : 1) Ajouter au panier un disque dur d'une capacité d'un téra octet de moins de 150 euros
-----
Expérience en cours : 56.143
Appuyer sur ESPACE (49) pour mettre en pause l'expérience
-----
Pas de beeps prévus
-----
Commandes :
- ENTER (36) : suivre le lien
- fleche HAUT (126) : retour a l'element precedent
- BACKSPACE (51) : retour a la page precedente
- F (3) : arreter le beep
- F2 (120) : arreter l'expérience

Page actuelle : Accueil
Lien (sebastien): Lien_Photo - sounds/site2/sebastien/Lien_Photo.wav => photo_camescope

LECTURE 47.524279 sounds/shared/Silence.wav
LECTURE 48.058615 Texte (sebastien): DebutListe_Conter
LECTURE 49.352435 Texte (sebastien): Liste6_Contentu - s
LECTURE 50.769203 Lien (sebastien): Lien_CD_DVD - sou
LECTURE 52.669109 sounds/shared/Silence.wav
LECTURE 53.202954 Lien (sebastien): Lien_TV_Son - soun
LECTURE 54.839785 sounds/shared/Silence.wav
LECTURE 55.374242 Lien (sebastien): Lien_Photo - sound:

```

Figure 22. Programme de présentation des sites web et d'enregistrement des données.

Ce programme a été conçu de sorte à ce qu'un nombre restreint d'interactions soit possible pour naviguer sur les sites web afin de pouvoir contrôler l'environnement et d'empêcher l'utilisation de raccourcis qui diffère selon l'utilisateur tant du point de vue du nombre de ces raccourcis utilisés que du point de vue de la nature de ceux-ci. De ce fait, aucun raccourci n'était disponible, et la lecture des sites web était automatique afin d'obliger les participants à entendre chaque lien entièrement sans avoir la possibilité de le sauter. Ainsi, ils pouvaient interagir uniquement à l'aide de 3 touches :

- la touche « Entrée » pour sélectionner un lien et accéder au contenu ;

- la touche « Retour arrière » pour revenir sur la page précédente ;
- la touche de la flèche du haut pour revenir sur le lien précédent.

La sélection des participants a été réalisée au préalable à partir du questionnaire de sélection lors d'un entretien téléphonique. Les participants faisaient l'objet d'une passation individuelle dans une pièce calme et isolée. Les sites web étaient présentés aux participants avec un niveau sonore correct, par l'intermédiaire d'un casque semi-fermé (Sennheiser PX100-II) relié directement à l'ordinateur. L'ordinateur utilisé était le même pour tous les participants. Cet ordinateur était un ordinateur portable muni d'un clavier avec pavé numérique. Les consignes des tâches étaient présentées oralement par l'expérimentatrice. Elles sont présentées en Annexe 15 avec le discours tenu par l'expérimentatrice avant et après les expériences.

Pour les 2 expériences, chaque participant réalisait deux tâches de recherche d'information sur le site web d'actualité culturelle, nommé « Actuculture », afin de se familiariser avec le protocole et l'interface. Lors de cette phase, l'expérimentatrice restait présente dans la pièce afin de s'assurer que le participant avait correctement compris les consignes. Une phase d'entraînement à la tâche secondaire a été ajoutée uniquement pour l'expérience 2 afin de familiariser le participant à réagir aux signaux sonores mais également dans le but d'obtenir son TR de référence au signal sonore. Cette tâche secondaire consistait à appuyer le plus vite possible sur la touche « F » avec l'index gauche lors de l'apparition du signal sonore. Cette touche a été choisie parce qu'elle possède un repère tactile facilement identifiable pour les participants déficients visuels. Les signaux sonores étaient des sons sinusoïdaux de 700 hertz et 100 ms. L'intervalle entre 2 signaux sonores variait aléatoirement entre 1 et 20 secondes (s). Pour obtenir le TR de référence du participant, 30 signaux sonores ont été présentés. Les 5 premiers signaux sonores n'ont pas été comptabilisés afin de limiter l'effet d'apprentissage sur le calcul de ce temps de référence (Ignacio et al., 2009). Lorsqu'un

signal sonore était sans réponse pendant 3 secondes, il était considéré comme manqué et un autre signal sonore était présenté (Chevalier et al., 2006).

Lors de la phase expérimentale, les participants réalisaient 3 tâches par site web. Pour chaque tâche, un seul chemin de navigation permettait de parvenir à la réponse attendue. Ces tâches ont été choisies de sorte à ce que chacune des 5 catégories de motifs relevées lors de l'enquête contextuelle se retrouvent dans l'expérimentation. Pour le site web d'achat en ligne, nommé « Tecktictope », les 3 tâches comprenaient une tâche d'acquisition d'un bien, une tâche de relations sociales et une tâche de gestion de compte. Pour le site web de la collectivité locale, nommé « Chanterolle », les 3 tâches comprenaient une tâche de divertissement, une tâche d'acquisition d'un service et une tâche de recherche d'information. Le chemin de navigation aboutissant à la réussite de la tâche est présenté en Annexe 16 pour chaque tâche et chacun des 3 sites web. Pour l'expérience 2, une tâche secondaire devait être effectuée par les participants en même temps que les tâches principales. Il s'agissait de la même tâche secondaire que celle de la phase d'entraînement. Seul l'intervalle entre 2 signaux sonores était différent, il variait aléatoirement entre 3 et 15 secondes (Chevalier et al., 2006). Lors de la présentation des consignes, l'expérimentatrice insistait sur le fait que la réalisation de la tâche principale était prioritaire à la réalisation de la tâche secondaire. Les participants pouvaient abandonner la tâche principale s'ils le souhaitaient. Un abandon était déterminé à partir du moment où le participant prononçait la phrase « Je souhaite abandonner. ». Un échec était noté en cas de mauvaise réponse, qu'elle soit verbale ou suite à l'exécution d'une action (par exemple, lors de la tâche d'ajout au panier d'un disque dur spécifique, le participant ajoute au panier un disque dur ne correspondant pas à la consigne et dit avoir fini sa tâche). L'expérimentatrice restait également présente lors de la phase expérimentale afin d'arrêter la tâche lorsque le participant souhaitait abandonner, de noter un éventuel échec et de vérifier qu'il respectait les consignes données. Un contrebalancement a été réalisé de sorte que chaque participant soit confronté aux 2 sites web

et aux 2 versions (holistique et exhaustive), que chaque site web apparaisse dans les 2 versions et que le participant ne soit confronté qu'une seule fois à chaque site web et à chaque version. Ce contrebalancement est présenté en Annexe 17. Dans l'expérience 1, les participants répondaient au questionnaire NASA-RTLX à la fin de chaque tâche. Cette étape était absente pour l'expérience 2. Les participants pouvaient également prendre une pause à la fin de chaque tâche. La Figure 23 montre un exemple de participant en train d'effectuer la procédure expérimentale décrite ci-dessus. A titre d'exemple, un fichier son d'une séquence possible de la tâche d'acquisition d'un bien sur le site web « Tecktictope » lors de l'expérience 1 est fourni dans le CD joint à cette thèse.



Figure 23. Démonstration d'un participant effectuant la procédure expérimentale (Expérience 1).

A la fin de l'expérience, l'expérimentatrice expliquait les objectifs de la recherche et répondait aux éventuelles questions posées par le participant. L'ensemble de la passation durait environ 1h30.

9.2.3. Participants

Les participants ont été contactés par message électronique par le biais de forums traitant du handicap, et de nombreux déficients visuels ont également relayé cette information par voie électronique. Pour être inclus dans l'échantillon, les participants devaient être aveugles ou malvoyants profonds, être âgés de 18 à 80 ans et maîtriser la langue française ainsi qu'utiliser quotidiennement les systèmes informatiques et Internet. Au total, 50 participants déficients visuels de différentes villes de France (Nantes, Angers, Caen, Lille, Paris, Clermont-Ferrand, Lyon, Grenoble, Marseille, Toulon et Nice) ont volontairement participé aux expériences. Aucun de ces participants n'avait participé aux deux précédentes études.

Parmi les 25 participants de l'expérience 1, sept participants étaient malvoyants profonds et tous les autres participants étaient aveugles. Les participants étaient 12 femmes et 12 hommes, âgés de 21 à 76 ans (médiane = 42). Les caractéristiques personnelles et d'utilisation des systèmes informatiques des participants sont présentées en Annexe H dans le CD joint à cette thèse.

Parmi les 25 participants de l'expérience 2, cinq participants étaient malvoyants profonds et tous les autres participants étaient aveugles. Les participants étaient 11 femmes et 13 hommes, âgés de 21 ans à 66 ans (médiane = 44). Les caractéristiques personnelles et d'utilisation des systèmes informatiques des participants sont présentées en Annexe I dans le CD joint à cette thèse.

9.3. Résultats des expériences 1 et 2

Toutes les analyses statistiques des 2 expériences ont été effectuées à l'aide du logiciel Statistica (version 7). Pour chacune des expériences, les observations d'un participant n'ont pas été comptabilisées dû à un non-respect manifeste des consignes pour l'un des 2 participants

(expérience 1) et à une perturbation extérieure pendant la réalisation de l'une des tâches pour l'autre participant (expérience 2).

9.3.1. Résultats de l'expérience 1

La variable *Version* est une variable qualitative à 2 modalités : holistique ou exhaustive. La variable *Expertise* est une variable quantitative discrète dont ses modalités sont des entiers compris entre 0 et 32, correspondant au score du niveau d'expertise de chaque participant. Ce score a été déterminé à partir des réponses données au questionnaire de sélection.

Pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 1 portant sur l'impact de la version holistique sur la charge cognitive, l'analyse du t de Student a été réalisée sur les scores moyens obtenus au questionnaire NASA-RTLX selon la variable *Version*.

Pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 3 portant sur l'impact de la version holistique sur les performances à la tâche principale, les analyses du t de Student ont été effectuées sur le pourcentage moyen d'abandons et d'échecs, les temps moyens d'exécution des tâches réussies, le nombre moyen de pages visitées, le nombre moyen de déviations par rapport au chemin de navigation optimal calculé à partir de la distance de Levenshtein (Colombi, 2004) ainsi que le nombre moyen de boucles effectuées selon la variable *Version*. La distance de Levenshtein est un indice de dissimilarité qui permet de connaître la déviation ou l'écart réalisé par les participants par rapport au chemin de navigation optimal. Dans notre cas, la distance de Levenshtein comparait le chemin de navigation parcouru par le participant avec le chemin de navigation optimal pour atteindre le but de la tâche et calculait le nombre de pages web visitées inutilement. Une boucle est une séquence de pages visitées plusieurs fois par les participants. Elle peut avoir plusieurs tailles. Une boucle de taille 1 est une répétition d'une seule page visitée plusieurs fois. Une boucle de taille 2 est une répétition d'une séquence de 2 pages visitées à la

suite et ainsi de suite. La taille des boucles variait entre 1 et 4. Nos analyses ont porté sur le nombre de boucles toute taille confondue.

Pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 4 portant sur l'impact du bénéfice apporté par la version holistique en fonction du niveau d'expertise sur la charge cognitive et les performances à la tâche principale, nous avons calculé la différence entre les 2 versions (version exhaustive moins version holistique) des scores moyens obtenus au questionnaire NASA-RTLX, du pourcentage moyen d'abandons et d'échecs, des temps d'exécution moyen des tâches réussies, du nombre moyen de pages visitées, du nombre moyen de déviations par rapport au chemin de navigation optimal calculé à partir de la distance de Levenshtein et du nombre moyen de boucles effectuées. Puis, les coefficients de corrélations linéaires ont été calculés entre ces différences obtenues et la variable *Expertise*.

Les temps d'exécution des tâches s'éloignant de plus de 3 écart-types de la moyenne des participants toutes conditions confondues ont été considérés comme des valeurs aberrantes et ont été retirés des analyses (0,8 % des essais expérimentaux). Le Tableau 18 présente les résultats de l'expérience 1. Les tableaux complets des analyses statistiques sont présentés en Annexe J dans le CD joint à cette thèse.

Tableau 18. Moyenne et écart-type (entre parenthèses) du score au questionnaire NASA-RTLX et des variables dépendantes relatives à la tâche principale, et coefficient de corrélation entre ces variables et le niveau d'expertise des participants.

	VD	VE	VH	t(23)	r Expertise * VE-VH
Evaluation de la charge cognitive	Score au NASA-RTLX	30,76 (21,48)	16,26 (13,28)	4,20*** $\eta^2 = 0,43$	-0,58* $r^2 = 0,33$
	Pourcentage d'abandons	26,4 % (34,02)	5,6 % (12,69)	4,31*** $\eta^2 = 0,45$	-0,73*** $r^2 = 0,53$
	Pourcentage d'échecs	1,39 % (6,80)	2,78 % (9,41)	-0,57 ^{ns} $\eta^2 = 0,01$	-0,27 ^{ns} $r^2 = 0,07$
Tâche principale	Temps d'exécution (s)	291 s (70,32)	310 s (66,54)	-0,86 ^{ns} $\eta^2 = 0,03$	-0,09 ^{ns} $r^2 = 0,008$
	Nombre de pages visitées	5,55 (1,45)	6,25 (2,25)	-1,70 ^{ns} $\eta^2 = 0,11$	0,24 ^{ns} $r^2 = 0,06$
	Distance de Levenshtein	2,53 (3,10)	2,46 (2,26)	0,15 ^{ns} $\eta^2 = 0,001$	-0,37 ^{ns} $r^2 = 0,14$
	Nombre de boucles	2,90 (5,91)	2,62 (4,24)	0,33 ^{ns} $\eta^2 = 0,005$	-0,30 ^{ns} $r^2 = 0,09$

Note : N = 24. *** : $p < .001$. * : $p < .05$. ^{ns} : $p > .05$.

9.3.1.1. Score au questionnaire NASA-RTLX

Conformément à notre hypothèse 1, les scores au questionnaire NASA-RTLX étaient significativement inférieurs avec la version holistique qu'avec la version exhaustive [$t(23) = 4.20$, $p < .001$, $\eta^2 = .43$]. Conformément à notre hypothèse 4, la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence des scores au questionnaire NASA-RTLX entre les 2 versions était significative et négative [$r = -0.58$, $p < .05$, $\eta^2 = .33$].

9.3.1.2. Pourcentage d'abandons

Conformément à notre hypothèse 3, le pourcentage d'abandons était significativement inférieur avec la version holistique qu'avec la version exhaustive [$t(23) = 4.31$, $p < .001$, $\eta^2 = .45$]. Conformément à notre hypothèse 4, la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du pourcentage d'abandons entre les 2 versions était significative et négative [$r = -0.73$, $p < .001$, $\eta^2 = .53$].

9.3.1.3. Pourcentage d'échecs

Contrairement à notre hypothèse 3, la différence entre les 2 versions pour le pourcentage d'échecs n'était pas significative [$t(23) = -0.57, p > .57, \eta^2 = .01$]. Il en est de même pour la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du pourcentage d'échecs entre les 2 versions [$r = -0.27, p > .19, \eta^2 = .07$], ne confirmant alors pas notre hypothèse 4.

9.3.1.4. Temps d'exécution des tâches

Contrairement à notre hypothèse 3, la différence entre les 2 versions pour les temps d'exécution des tâches n'était pas significative [$t(20) = -0.86, p > .40, \eta^2 = .03$]. Il en est de même pour la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence des temps d'exécution des tâches entre les 2 versions [$r = -0.09, p > .68, \eta^2 = .008$], ne confirmant alors pas notre hypothèse 4.

9.3.1.5. Nombre de pages visitées

Contrairement à notre hypothèse 3, la différence entre les 2 versions pour le nombre de pages visitées n'était pas significative [$t(20) = -1.70, p > .10, \eta^2 = .11$]. Il en est de même pour la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du nombre de pages visitées entre les 2 versions [$r = 0.24, p > .28, \eta^2 = .06$], ne confirmant alors pas notre hypothèse 4.

9.3.1.6. Distance de Levenshtein

Contrairement à notre hypothèse 3, la différence entre les 2 versions pour la distance de Levenshtein n'était pas significative [$t(23) = 0.15, p > .88, \eta^2 = .001$]. Il en est de même pour la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence de la distance de Levenshtein entre les 2 versions [$r = -0.37, p > .07, \eta^2 = .14$], ne confirmant alors pas notre hypothèse 4.

9.3.1.7. Nombre de boucles

Contrairement à notre hypothèse 3, la différence entre les 2 versions pour le nombre de boucles n'était pas significative [$t(23) = 0.33, p > .74, \eta^2 = .005$]. Il en est de même pour la

corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du nombre de boucles entre les 2 versions [$r = -0.30, p > .15, \eta^2 = .09$], ne confirmant alors pas notre hypothèse 4.

En somme, l'hypothèse 1 portant sur l'impact de la version holistique sur la charge cognitive a été validée. En effet, nous avons constaté une réduction significative de la charge cognitive avec la version holistique. L'hypothèse 3 portant sur l'impact de la version holistique sur les performances en termes d'efficacité et d'efficacité n'a été que partiellement validée. En effet, seule une réduction significative du nombre d'abandons avec la version holistique a été observée. En revanche, l'hypothèse 4 portant sur l'impact du bénéfice apporté par la version holistique en fonction du niveau d'expertise sur la charge cognitive et les performances à la tâche principale n'a pas été validée. Nous discuterons de ces résultats lors de la discussion des expériences 1 et 2 dans la section 9.4.

9.3.2. Résultats de l'expérience 2

Les analyses statistiques réalisées étaient identiques à celles de l'expérience 1, à l'exception d'analyses supplémentaires. En effet, des analyses de variance ont été également réalisées pour les variables *Version* et *Zone* selon le plan suivant : $S_{24} * V_2 * Z_2$, dans lesquels les lettres S , V et Z renvoient respectivement aux facteurs Sujets, Version (holistique ; exhaustive) et Zone (menu ; contenu). Les analyses statistiques ont été effectuées sur les TR au signal sonore mais également sur le pourcentage de SSM, de sorte à s'assurer que les résultats obtenus pour les SSM ne contredisent pas les résultats obtenus pour les TR. Les TR analysés ont été les TR obtenus en soustrayant le TR de référence du participant à ses TR expérimentaux moyens (Chevalier et al., 2006 ; Ignacio et al., 2009). Les TR moyens ont été calculés à partir de la moyenne de l'ensemble des TR des 3 tâches confondues. Il a été de même pour le pourcentage moyen de SSM.

Pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 1 portant sur l'impact de la version holistique sur la charge cognitive et l'hypothèse 2 portant sur l'impact du bénéfice apporté par la version holistique sur la charge cognitive en fonction de la phase (phase de sélection ou phase de lecture du contenu), les analyses de variance ont été réalisées sur les TR moyens au signal sonore et le pourcentage moyen de signaux sonores manqués (SSM) selon les variables *Version* et *Zone*.

L'hypothèse 3 portant sur l'impact de la version holistique sur les performances à la tâche principale a été mise à l'épreuve uniquement lors de l'expérience 1. Néanmoins, nous avons souhaité s'assurer que les résultats obtenus pour les performances globales ne contredisent pas ceux de l'expérience 1. Ainsi, nous avons réalisé des analyses du t de Student sur le pourcentage moyen d'abandons, le pourcentage moyen d'échecs et les temps moyens d'exécution des tâches réussies, bien que l'interprétation des données soit délicate à cause de la tâche secondaire qui interfère avec les performances.

Pour mettre à l'épreuve l'hypothèse 4 portant sur l'impact du bénéfice apporté par la version holistique en fonction du niveau d'expertise sur la charge cognitive et les performances à la tâche principale, nous avons calculé la différence entre les 2 versions des TR moyens au signal sonore, du pourcentage moyen de SSM, du pourcentage moyen d'abandons, du pourcentage moyen d'échecs et des temps d'exécution moyen des tâches réussies. Puis, les coefficients de corrélations linéaires ont été calculés entre ces différences obtenues et la variable *Expertise*.

Les temps d'exécution des tâches s'éloignant de plus de 3 écart-types de la moyenne des participants toutes conditions confondues ont été considérés comme des valeurs aberrantes et ont été retirés des analyses (2 % des essais expérimentaux). Le Tableau 19 présente les résultats de l'expérience 2. Les tableaux complets des analyses statistiques sont présentés en Annexe K dans le CD joint à cette thèse.

Tableau 19. Moyenne, écart-type (entre parenthèses) et t de Student des variables dépendantes relatives à la tâche principale, et coefficient de corrélation entre ces variables et le niveau d'expertise des participants.

	VD	VE	VH	t(23)	r Expertise * VE-VH
Evaluation de la charge cognitive	TR	311 ms (0,15)	266 ms (0,12)	-	-0,11 ^{ns} $r^2 = 0,001$
	TR Menu	288 ms (0,14)	251 ms (0,14)	-	-
	TR Contenu	330 ms (0,17)	276 ms (0,11)	-	-
	Pourcentage de SSM	9,42 % (16,01)	8,74 % (11,87)	-	0,03 ^{ns} $r^2 = 0,001$
	Pourcentage de SSM Menu	9,31 % (16,96)	9,17 % (13,99)	-	-
	Pourcentage de SSM Contenu	9,79 % (15,58)	8,30 % (10,64)	-	-
	Tâche principale	Pourcentage d'abandons	13,89 % (25,85)	0 % (0)	2,63* $\eta^2 = 0,23$
Pourcentage d'échecs		9,72 % (20,80)	0 % (0)	2,29* $\eta^2 = 0,19$	-0,06 ^{ns} $r^2 = 0,004$
Temps d'exécution (s)		304 s (88,35)	285 s (77,77)	0,73 ^{ns} $\eta^2 = 0,02$	-0,01 ^{ns} $r^2 = 0,0001$

Note : N = 24. * : $p < .05$. ^{ns} : $p > .05$.

9.3.2.1. Temps de réaction au signal sonore

Conformément à notre hypothèse 1, les TR étaient significativement plus courts avec la version holistique qu'avec la version exhaustive [$F(1, 23) = 8.77, p < .01, \eta^2 = .28$]. De plus, les TR lors de la phase de sélection étaient significativement plus courts que ceux lors de la phase de lecture du contenu [$F(1, 23) = 8.49, p < .01, \eta^2 = .27$]. En revanche, contrairement à notre hypothèse 2, l'effet d'interaction entre les facteurs Version et Zone n'était pas significatif, [$F(1, 23) = 0.52, p > .47, \eta^2 = .02$]

Contrairement à notre hypothèse 4, la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence des TR entre les 2 versions n'était pas significative [$r = -0.11, p > .60, \eta^2 = .01$].

9.3.2.2. Pourcentage de signaux sonores manqués

Les résultats obtenus pour les SSM ne contredisent pas les résultats obtenus pour les TR. En effet, les effets principaux pour le facteur Version [$F(1, 23) = 0.28, p > .59, \eta^2 = .01$] et le facteur Zone n'étaient pas significatifs [$F(1, 23) = 0.04, p > .84, \eta^2 = .02$]. De même, l'effet

d'interaction entre les facteurs Version et Zone n'était pas significatif [$F(1, 23) = 0.85, p > .36, \eta^2 = .02$]. Il en est de même pour la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du pourcentage de SSM entre les 2 versions [$r = 0.03, p > .90, \eta^2 = .001$].

9.3.2.3. Pourcentage d'abandons

Conformément aux résultats obtenus lors de l'expérience 1, le pourcentage d'abandons était significativement inférieur avec la version holistique qu'avec la version exhaustive [$t(23) = 2.63, p < .05, \eta^2 = .23$]. En revanche, la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du pourcentage d'abandons entre les 2 versions n'était pas significative [$r = -0.17, p > .44, \eta^2 = .03$].

9.3.2.4. Pourcentage d'échecs

A la différence de l'expérience 1, le pourcentage d'échecs était significativement inférieur avec la version holistique qu'avec la version exhaustive [$t(23) = 2.29, p < .05, \eta^2 = .19$], confirmant notre hypothèse 3. En revanche, tout comme pour l'expérience 1, la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du pourcentage d'échecs entre les 2 versions n'était pas significative [$r = -0.06, p > .79, \eta^2 = .004$].

9.3.2.5. Temps d'exécution des tâches

Tout comme pour l'expérience 1, la différence entre les 2 versions pour les temps d'exécution des tâches n'était pas significative [$t(21) = 0.73, p > .47, \eta^2 = .02$]. Il est en de même pour la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence des temps d'exécution des tâches entre les 2 versions [$r = -0.01, p > .96, \eta^2 = .0001$].

En somme, l'hypothèse 1 portant sur l'impact de la version holistique sur la charge cognitive a été validée. En effet, nous avons constaté une réduction significative de la charge cognitive avec la version holistique. En revanche, l'hypothèse 2 portant sur l'impact du bénéfice

apporté par la version holistique sur la charge cognitive en fonction de la phase (phase de sélection ou phase de lecture du contenu) n'a pas été validée. De surcroît, les résultats obtenus ont étayé ceux obtenus lors de l'expérience 1 pour l'hypothèse 3 portant sur l'impact de la version holistique sur les performances en termes d'efficacité et d'efficience. En effet, une réduction significative du nombre d'abandons et d'échecs avec la version holistique a été observée. En revanche, l'hypothèse 4 portant sur l'impact du bénéfice apporté par la version holistique en fonction du niveau d'expertise sur la charge cognitive et les performances à la tâche principale n'a pas été validée. Nous discuterons de ces résultats dans la section suivante.

9.4. Discussion des expériences 1 & 2

Tout d'abord, les résultats obtenus confirment l'hypothèse 1 selon laquelle la charge cognitive est plus faible avec la version holistique qu'avec la version exhaustive. En effet, les scores au questionnaire NASA-RTLX étaient significativement plus bas et les TR au signal sonore étaient significativement plus courts avec la version holistique qu'avec la version exhaustive. De plus, cet effet est important pour les 2 expériences puisque la variable *Version* explique respectivement 43% et 28 % de la variance de la charge cognitive. Ainsi, la charge cognitive est plus faible avec la version holistique.

En revanche, l'hypothèse 2 n'a pas été confirmée. En effet, l'effet d'interaction entre le facteur *Version* et le facteur *Zone* n'était pas significatif. Ainsi, nous ne pouvons conclure que le bénéfice apporté par la version holistique est plus important lors de la phase de sélection. Néanmoins, en réalisant des analyses supplémentaires, nous avons constaté que les TR au signal sonore étaient significativement plus courts avec la version holistique qu'avec la version exhaustive lors de la phase de sélection [$t(23) = 2.14, p < .05, \eta^2 = .17$] et lors de la phase de lecture du contenu [$t(23) = 2.64, p < .05, \eta^2 = .23$]. Ainsi, l'allègement de la charge cognitive engendré par la version holistique est constaté aussi bien lors de la phase de sélection que lors

de la phase de lecture du contenu. Ces résultats peuvent s'expliquer par l'influence indirecte subie par la charge cognitive lors de la phase de lecture du contenu (DeStefano et al., 2007). En effet, ces auteurs expliquent que lorsque le lien choisi lors de la phase de sélection n'est pas pertinent, cela interrompt le processus de compréhension lors de la phase de lecture du contenu, influençant alors indirectement la charge cognitive lors de cette phase. Dans notre cas, le processus de compréhension n'aurait donc pas été interrompu grâce à l'allègement de la charge cognitive lors de la phase de sélection, influençant indirectement et positivement la charge cognitive lors de la phase de lecture du contenu, permettant l'allègement de celle-ci, qui ne se différencie pas significativement d'une phase à l'autre. Ainsi, la phase de sélection et la phase de lecture du contenu sont toutes deux des étapes de traitement de l'information qui sont demandeuses de ressources cognitives profitant grandement d'être allégées. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été observée entre les 2 versions pour le pourcentage de SSM. Ce résultat ne contredit alors pas les résultats obtenus au niveau des TR.

En outre, l'hypothèse 3 est partiellement validée. En effet, le taux d'abandons était significativement inférieur avec la version holistique qu'avec la version exhaustive pour les 2 expériences avec une taille d'effet importante (45% de variance expliquée par la variable *Version* pour l'expérience 1 et 23% pour l'expérience 2). En revanche, le taux d'échecs était significativement inférieur avec la version holistique qu'avec la version exhaustive uniquement pour l'expérience 2. Ce dernier résultat peut s'expliquer par le fait que lors de l'expérience 1, le taux d'échecs était très faible peu importe la version (un seul échec avec la version holistique et 2 échecs avec la version exhaustive). De plus, les temps d'exécution des tâches ne différaient pas significativement selon la version. Cette absence d'effet significatif peut s'expliquer par 3 raisons. Premièrement, nous avons réalisé les analyses uniquement sur les temps d'exécution des tâches réussies. En effet, si nous avions analysé les temps d'exécution des tâches réussies et abandonnées, une trop grande variabilité interindividuelle aurait pu affecter les résultats car

certains participants peuvent être plus persistants que d'autres avant d'abandonner leur tâche. Cependant, l'une des tâches d'un des 2 sites web⁴⁰ a engendré des temps considérablement longs (environ 1,7 fois plus longs que ceux des autres tâches en moyenne) peu importe la version. Or, les participants ont davantage abandonné cette tâche avec la version exhaustive. Ainsi, un plus grand nombre de temps d'exécution de cette tâche a été obtenu pour la version holistique, ce qui est susceptible de biaiser l'effet de la version sur ces temps. Ce problème peut venir du fait que ce type de tâche peut généralement être réalisé par plusieurs chemins de navigation. Or, un seul chemin de navigation aboutissait à la réussite de cette tâche dans ces expériences, ce qui a pu troubler les participants qui ne trouvaient pas rapidement le chemin de navigation approprié. Ceci dit, cela représente de manière assez réaliste les difficultés que peuvent rencontrer les ULEDV. Pour éviter ce biais, nous aurions pu forcer la poursuite de la tâche et noter les fois où les participants souhaitaient abandonner, ce que nous ferons lors de la prochaine expérience. Deuxièmement, l'architecture des sites web était simplifiée. En effet, malgré que nous ayons essayé de créer des sites avec un large contenu et une arborescence à plusieurs niveaux, cette arborescence comportait au maximum 5 niveaux et les menus étaient constitués au maximum de 6 liens. De surcroît, il n'existait pas plusieurs chemins de navigation différents pour réaliser la même tâche et les intitulés des titres de la page web et des liens étaient explicites par rapport au contenu auxquels ils étaient rattachés. De ce fait, les sites web possédaient une structure claire et épurée (Cf. Annexes 12 et 16). Toutefois, nous avons rajouté de la publicité par endroit pour nous rapprocher au maximum de la réalité. Nous avons opté pour cette architecture simplifiée afin que l'expérience ne soit pas trop longue et fatigante pour les participants. En effet, l'expérimentation en soi durait déjà 1h30 ; nous ne pouvions nous permettre d'allonger ce temps en complexifiant les sites web. Troisièmement, nous contrôlions

⁴⁰ Il s'agit de la tâche de recherche d'information du site web « Chanterolle » correspondant à la tâche 3.

le nombre d'informations délivré dans les sites web afin de pouvoir mettre à l'épreuve l'hypothèse 3 concernant les performances, plus précisément pour les temps d'exécution des tâches. De ce fait, ce nombre était rigoureusement identique dans les 2 versions. Ainsi, pour un chemin de navigation strictement identique, le temps d'exécution des tâches l'était également entre les 2 versions. Cependant, nous avons fait l'hypothèse selon laquelle les temps d'exécution des tâches seraient plus courts avec la version holistique grâce à l'allègement de la charge cognitive qu'elle procure. En effet, cet allègement, laissant disponible une quantité de ressources cognitives plus grande avec la version holistique qu'avec la version exhaustive, aurait été susceptible d'éviter la perte de localisation dans la navigation, engendrant un temps d'exécution plus court. En outre, aucune différence significative n'a été relevée entre les 2 versions, que ce soit pour le nombre de pages visitées, la distance de Levenshtein ou le nombre de boucles⁴¹ lors de l'expérience 1. Ainsi, nous pouvons seulement conclure que l'augmentation de la charge cognitive ne se traduit pas ici par une désorientation observable⁴², probablement à cause de l'architecture simplifiée des sites web créés pour les expériences. Cependant, pour le nombre de pages visitées, 11% de la variance est expliquée par la variable *Version*. Ainsi, nous ne pouvons affirmer avec certitude que la différence du nombre de pages visitées entre les 2 versions n'existe pas. Cet effet est peut-être trop faible (quoique non négligeable) pour être significatif avec un échantillon de seulement 24 participants. Par ailleurs, les résultats des performances de l'expérience 2 ne contredisent pas, et confortent même, les résultats de l'expérience 1. Néanmoins, ils ne peuvent être considérés isolément puisque la tâche

⁴¹ Nous avons réalisé des analyses exploratoires sur le nombre de boucles selon leur taille (de 1 à 4). Cependant, nous n'avons également observé aucun effet significatif pour toutes les analyses.

⁴² Le terme de désorientation est évoqué selon le point de vue de Lin (2003). Il s'agit alors de difficultés de repérage du chemin de navigation web pour trouver l'information.

secondaire, permettant de relever la charge cognitive des participants, a pu interférer dans ces performances.

Enfin, les résultats ont partiellement confirmé l'hypothèse 4 selon laquelle les participants les moins experts bénéficient davantage de la version holistique, bien que ce constat n'ait été observé que dans l'expérience 1. En effet, la différence des scores obtenus au questionnaire NASA-RTLX entre les 2 versions est significativement plus grande pour les participants les moins experts que pour les plus experts. Ainsi, la réduction de la charge cognitive est plus importante pour les participants les moins experts que pour les plus experts. De plus, cet effet est important puisque la variable *Expertise* explique 33% de la variance de la différence de la charge cognitive entre les 2 versions. De surcroît, la différence du pourcentage d'abandons entre les 2 versions est significativement plus importante pour les participants les moins experts que pour les plus experts, avec un effet substantiel (53% de la variance expliquée). Ainsi, la diminution du taux d'abandons est plus importante pour les participants les moins experts que pour les plus experts. En revanche, la corrélation entre le niveau d'expertise des participants et la différence du pourcentage d'échecs entre les 2 versions n'était pas significative, probablement à cause du faible taux d'échecs. Il en est de même concernant les temps d'exécution des tâches, le nombre de pages visitées, la distance de Levenshtein et le nombre de boucles, possiblement pour la raison citée précédemment pour l'hypothèse 3, soit que l'architecture des sites web créés pour les expériences était simplifiée. Cependant, il est judicieux de s'intéresser à la taille d'effet constatée pour la distance de Levenshtein et pour le nombre de boucles. En effet, pour la distance de Levenshtein, 14% de variance est expliquée par la variable *Expertise* et 9% pour le nombre de boucles (ce pourcentage reste tout de même léger). Néanmoins, dès que nous portons notre attention sur le nombre de boucles selon leur taille, la taille d'effet est plus importante. En effet, la variable *Expertise* explique 10% de variance pour le nombre de boucles de taille 1, 7% pour le nombre de boucles de taille 2, 14%

pour le nombre de boucles de taille 3 et 13% pour le nombre de boucles de taille 4. Ainsi, nous ne sommes pas certains que ces effets n'existent pas au vue de la taille réduite de notre échantillon. Pour l'expérience 2, aucune corrélation significative n'a été relevée entre le niveau d'expertise des participants et la différence entre les 2 versions pour les TR au signal sonore, le pourcentage de SSM, le pourcentage d'abandons, le pourcentage d'échecs et les temps d'exécution des tâches. Ainsi, nous ne pouvons pas statuer sur l'impact du bénéfice apporté par l'approche holistique selon l'expertise des ULEDV.

Pour conclure, la conception d'interfaces suivant l'approche holistique basée sur un filtrage des informations non pertinentes et redondantes offre un profit substantiel lors de la navigation web des ULEDV tant d'un point de vue de la charge cognitive que d'un point de vue de l'efficacité de la tâche. Néanmoins, nous n'avons pas pu vérifier ces effets sur des interfaces riches telles que nous l'avons défini dans la section 2.3. En effet, nous avons dû restreindre les fonctionnalités des sites web présentés afin de contrôler l'environnement pour mettre à l'épreuve nos hypothèses. Malgré cette limite, ces résultats sont des arguments probants en faveur de l'application de l'approche holistique lors de la conception d'interfaces web. Cependant, cela nécessite de s'assurer que l'application réelle du filtrage des informations non pertinentes et redondantes, c'est-à-dire en permettant l'accès direct au contenu de manière effective, offre véritablement de meilleures performances en termes d'efficacité et d'efficience lors de la navigation web des ULEDV. C'est pourquoi nous avons souhaité vérifier si la version holistique, en situation plus naturelle, permet de réaliser une tâche avec une plus grande efficacité et une plus grande efficience que la version exhaustive lors d'une prochaine expérience. Néanmoins, certaines modifications seront nécessaires par rapport aux expériences 1 et 2. Premièrement, il faudra modifier la tâche qui a posé problème pour trouver le chemin de navigation aboutissant à sa réussite, en s'assurant que la nouvelle tâche proposée ne correspond pas à une tâche habituellement réalisable par plusieurs chemins de navigation. Secondement, il

faudra encourager les participants à poursuivre leur navigation suite à un souhait d'abandonner pour que les analyses sur les temps d'exécution des tâches ne soient pas affectées par la réussite ou non de la tâche.

9.5. Problématique et hypothèses de l'expérience 3

Lors de cette expérience, nous avons souhaité vérifier, dans des conditions plus naturelles, si la conception suivant l'approche holistique permet une réduction de la charge cognitive, de meilleures performances selon les 3 critères d'utilisabilité (efficacité, efficience et satisfaction) et si le bénéfice apporté par cette approche augmente avec la diminution du niveau d'expertise des participants. Afin de placer les participants dans des conditions plus naturelles, l'accès direct au contenu associé à l'action réalisée par l'ULEDV a été réalisé et non plus simulé comme lors des 2 expériences précédentes, permettant ainsi le filtrage effectif des informations redondantes et non pertinentes avec la tâche par l'inhibition de la lecture de ces informations. Par conséquent, l'utilisation de 2 voix différentes n'était plus nécessaire. En outre, la charge cognitive était mesurée à l'aide du questionnaire NASA-RTLX plutôt qu'à l'aide du paradigme de la double tâche afin d'éviter l'effet d'interférence sur les performances à la tâche principale causé par la tâche secondaire. De plus, un objectif supplémentaire a été ajouté, celui de tester la satisfaction des ULEDV en fonction de la version. Enfin, nous avons tenu compte des modifications proposées lors de la discussion des expériences 1 et 2 dans cette expérience. Ainsi, nous avons émis les hypothèses générales selon lesquelles l'application de l'approche holistique permet de diminuer la charge cognitive des participants lors de la navigation web par rapport à celle de l'approche exhaustive (hypothèse 1) et d'améliorer l'utilisabilité de l'interface en termes d'efficacité, d'efficience et de satisfaction (hypothèse 2), ce bénéfice augmentant avec la diminution du niveau d'expertise des participants (hypothèse 3).

Comme indiqué précédemment, notre première hypothèse porte sur l'impact de la version holistique sur la charge cognitive :

Hypothèse 1 : les scores obtenus au questionnaire NASA-RTLX avec la version holistique sont inférieurs à ceux avec la version exhaustive.

Notre deuxième hypothèse porte sur l'impact de la version holistique sur les performances en termes d'efficacité, d'efficience et de satisfaction :

Hypothèse 2a : le taux d'abandons, le taux d'échecs, le nombre de pages visitées, le nombre de boucles et le nombre de déviations par rapport au chemin de navigation optimal ainsi que les temps d'exécution des tâches sont inférieurs avec la version holistique que ceux avec la version exhaustive.

Hypothèse 2b : le taux de satisfaction avec la version holistique est plus élevé que celui avec la version exhaustive.

Notre troisième hypothèse porte sur l'impact du bénéfice apporté par la version holistique en fonction de l'expertise des participants sur la charge cognitive et sur les performances en termes d'efficacité, d'efficience et de satisfaction.

Hypothèse 3a : plus le niveau d'expertise du participant est faible, plus la différence des scores obtenus au questionnaire NASA-RTLX entre la version holistique et la version exhaustive est importante.

Hypothèse 3b : plus le niveau d'expertise du participant est faible, plus la différence du taux d'abandons, du taux d'échecs, du nombre de pages visitées, du nombre de boucles, du nombre de déviations par rapport au chemin de navigation optimal, des temps d'exécution des tâches ainsi que du taux de satisfaction entre la version holistique et la version exhaustive est importante.

9.6. Méthodologie de l'expérience 3

9.6.1. Matériel

Le matériel utilisé était le même que celui de l'expérience 1, à l'exception d'un questionnaire de satisfaction présenté à la fin de la navigation de chacun des 2 sites web afin de relever le taux de satisfaction des participants. Ce questionnaire est traduit du questionnaire de satisfaction « System Usability Scale » (Brooke, 1996) par Colombi (2009). Il est présenté en Annexe 3.

9.6.2. Procédure

Le matériel informatique utilisé était le même que celui de l'expérience 1. La procédure était également identique à celle de l'expérience 1, à l'exception de 4 différences. Premièrement, toutes les informations des sites web étaient présentées uniquement avec la voix masculine. Deuxièmement, lorsque les participants émettaient le souhait d'abandonner la tâche, l'expérimentatrice mettait en pause la lecture du site web et les encourageait à poursuivre leur tâche à l'aide d'un protocole de relance défini au préalable. Ce protocole de relance était composé de 2 injonctions d'intensité croissante énumérées ci-après :

- Etes-vous sûr(e) de vraiment vouloir abandonner ?
- Vous sentez-vous de tenter une nouvelle fois de continuer votre tâche dans l'intérêt de l'étude ?

Si le participant répondait positivement à la première injonction, la deuxième injonction lui était présentée. S'il répondait de nouveau positivement, la tâche s'arrêtait. En revanche, s'il répondait négativement à la première comme à la deuxième injonction, la lecture du site web reprenait là où elle s'était arrêtée. Troisièmement, la tâche de recherche d'information à réaliser par les participants sur le site web « Chanterolle » a été modifiée suite aux difficultés rencontrées par les participants lors des expériences 1 et 2. Comme expliqué lors de la

discussion des expériences 1 et 2, ce type de tâche pouvait généralement être réalisé par plusieurs chemins de navigation. Or, un seul chemin de navigation aboutissait à la réussite de cette tâche, ce qui a perturbé les participants. La nouvelle tâche proposée pallie ce problème. Son chemin de navigation aboutissant à la réussite de la tâche est présenté en Annexe 16. Quatrièmement, les participants répondaient au questionnaire de satisfaction à la fin de la navigation des 2 sites web. Le contrebalancement était également le même que celui des précédentes expériences (cf. Annexe 17). Les consignes des tâches sont présentées en Annexe 15, ainsi que le discours tenu par l'expérimentatrice avant et après les expériences. L'ensemble de la passation durait environ 1h30.

9.6.3. Participants

Le recrutement des participants s'est déroulé de la même manière que pour les expériences 1 et 2 avec les mêmes critères de sélection, à l'exception que les participants devaient utiliser Internet au moins une fois par mois au lieu d'une utilisation quotidienne et que l'étude se déroulait uniquement dans la région parisienne. Au total, 26 participants ont volontairement participé à cette expérience. Parmi eux, cinq participants étaient malvoyants profonds et tous les autres participants étaient aveugles. Les participants étaient 7 femmes et 19 hommes, âgés de 29 à 79 ans (médiane = 40). Aucun de ces participants n'avait participé aux deux précédentes expériences et 3 de ces participants avaient participé à l'enquête contextuelle. Les caractéristiques personnelles et d'utilisation des systèmes informatiques des participants sont présentées en Annexe L dans le CD joint à cette thèse.

9.7. Résultats de l'expérience 3

Le logiciel d'analyse statistique utilisé était le même que celui pour les 2 expériences précédentes. Les analyses statistiques étaient identiques à celles de l'expérience 1, à l'exception de 2 variations. Premièrement, une variable dépendante a été modifiée : les temps d'exécution

des tâches analysés n'étaient plus uniquement les temps d'exécution des tâches réussies mais également les temps d'exécution des tâches avec tentative d'abandon. Du fait qu'aucun souhait d'abandonner n'a été jusqu'à l'arrêt de la tâche, tous les temps d'exécution des tâches ont été comptabilisés dans les analyses. Secondement, une variable dépendante a été ajoutée : le taux de satisfaction des participants. Le Tableau 20 présente les résultats de l'expérience 3. Les tableaux complets des analyses statistiques sont présentés en Annexe M dans le CD joint à cette thèse.

Tableau 20. Moyenne, écart-type (entre parenthèses) et t de Student du score au questionnaire NASA-RTLX, des variables dépendantes relatives à la tâche principale et du taux de satisfaction, et coefficient de corrélation entre ces variables et le niveau d'expertise des participants.

	VD	VE	VH	t(23)	r Expertise * VE-VH
Evaluation de la charge cognitive	Score au NASA-RTLX	26,94 (17,12)	10,48 (9,29)	5,53*** $\eta^2 = 0,55$	-0,35 ^{ns} $r^2 = 0,12$
	Pourcentage d'abandons	8,97 % (20,13)	0 % (0)	2,27* $\eta^2 = 0,17$	-0,39 ^{ns} $r^2 = 0,15$
	Pourcentage d'échecs	5,13 % (12,26)	1,28 % (6,54)	1,81 ^{ns} $\eta^2 = 0,11$	-0,11 ^{ns} $r^2 = 0,01$
Tâche principale	Temps d'exécution (s)	311 s (139,01)	148 s (39,84)	5,48*** $\eta^2 = 0,55$	-0,27 ^{ns} $r^2 = 0,07$
	Nombre de pages visitées	5,80 (2,24)	5,37 (1,27)	0,83 ^{ns} $\eta^2 = 0,03$	-0,31 ^{ns} $r^2 = 0,10$
	Distance de Levenshtein	1,37 (2,26)	1 (1,29)	0,70 ^{ns} $\eta^2 = 0,02$	-0,32 ^{ns} $r^2 = 0,10$
	Nombre de boucles	0,32 (0,58)	0,28 (0,50)	0,26 ^{ns} $\eta^2 = 0,003$	-0,27 ^{ns} $r^2 = 0,07$
	Taux de satisfaction	66,15 % (21,88)	87,40 % (9,53)	-5,12*** $\eta^2 = 0,51$	0,41* $r^2 = 0,17$

Note : N = 26. *** : $p < .001$. * : $p < .05$. ^{ns} : $p > .05$.

9.7.1. Score au questionnaire NASA-RTLX

Conformément à notre hypothèse 1, les scores au questionnaire NASA-RTLX étaient significativement inférieurs avec la version holistique qu'avec la version exhaustive [$t(25) = 5.53$, $p < .001$, $\eta^2 = .55$]. En revanche, contrairement à notre hypothèse 3, la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence des scores au questionnaire NASA-RTLX entre les 2 versions n'était pas significative [$r = -0.35$, $p > .07$, $\eta^2 = .12$].

9.7.2. Pourcentage d'abandons

Conformément à notre hypothèse 2, le pourcentage d'abandons était significativement inférieur avec la version holistique qu'avec la version exhaustive [$t(25) = 2.27, p < .05, \eta^2 = .17$]. En revanche, contrairement à notre hypothèse 3, la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du pourcentage d'abandons entre les 2 versions n'était pas significative [$r = -0.39, p > .05, \eta^2 = .15$].

9.7.3. Pourcentage d'échecs

Contrairement à notre hypothèse 2, la différence entre les 2 versions pour le pourcentage d'échecs n'était pas significative [$t(25) = 1.81, p > .08, \eta^2 = .11$]. Il en est de même pour la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du pourcentage d'échecs entre les 2 versions [$r = -0.11, p > .58, \eta^2 = .01$], ne confirmant alors pas notre hypothèse 3.

9.7.4. Temps d'exécution des tâches

Conformément à notre hypothèse 2, les temps d'exécution des tâches étaient significativement inférieurs avec la version holistique qu'avec la version exhaustive [$t(25) = 5.48, p < .001, \eta^2 = .55$]. En revanche, contrairement à notre hypothèse 3, la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence des temps d'exécution des tâches entre les 2 versions n'était pas significative [$r = -0.27, p > .18, \eta^2 = .07$].

9.7.5. Nombre de pages visitées

Contrairement à notre hypothèse 2, la différence entre les 2 versions pour le nombre de pages visitées n'était pas significative [$t(25) = 0.83, p > .41, \eta^2 = .03$]. Il en est de même pour la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du nombre de pages visitées entre les 2 versions [$r = -0.31, p > .12, \eta^2 = .10$], ne confirmant alors pas notre hypothèse 3.

9.7.6. Distance de Levenshtein

Contrairement à notre hypothèse 2, la différence entre les 2 versions pour la distance de Levenshtein n'était pas significative [$t(25) = 0.7, p > .49, \eta^2 = .02$]. Il en est de même pour la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence de la distance de Levenshtein entre les 2 versions [$r = -0.32, p > .10, \eta^2 = .10$], ne confirmant alors pas notre hypothèse 3.

9.7.7. Nombre de boucles

Contrairement à notre hypothèse 2, la différence entre les 2 versions pour le nombre de boucles n'était pas significative [$t(25) = 0.26, p > .79, \eta^2 = .003$]. Il en est de même pour la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du nombre de boucles entre les 2 versions [$r = -0.27, p > .17, \eta^2 = .07$], ne confirmant alors pas notre hypothèse 3.

9.7.8. Taux de satisfaction

Conformément à notre hypothèse 2, le taux de satisfaction était significativement plus important avec la version holistique qu'avec la version exhaustive, [$t(25) = -5.12, p < .001, \eta^2 = .51$]. Conformément à notre hypothèse 3, la corrélation entre le niveau d'expertise et la différence du taux de satisfaction entre les 2 versions était significative et positive, [$r = 0.41, p < .05, \eta^2 = .17$].

9.8. Discussion de l'expérience 3

Tout comme pour les 2 expériences précédentes, les résultats obtenus confirment l'hypothèse 1 selon laquelle la charge cognitive est plus faible avec la version holistique qu'avec la version exhaustive, avec une plus grande taille d'effet que lors des expériences 1 et 2 (55% de la variance est expliquée par la variable *Version* lors de l'expérience 3 tandis que ce taux était de 43% lors de l'expérience 1 et 28% lors de l'expérience 2).

De manière similaire aux 2 expériences précédentes, l'hypothèse 2 selon laquelle les performances sont améliorées avec la version holistique est partiellement validée. En effet, le

taux d'abandons était significativement inférieur avec la version holistique qu'avec la version exhaustive. En revanche, la différence du taux d'échecs entre les 2 versions n'était pas significative, probablement du fait que le taux d'échecs était très faible peu importe la version (un seul échec avec la version holistique et 3 échecs avec la version exhaustive). A la différence des 2 expériences précédentes, les temps d'exécution des tâches étaient significativement plus courts avec la version holistique qu'avec la version exhaustive, qui plus est avec une taille d'effet importante (55% de la variance est expliquée par la variable *Version*). Autrement dit, la version holistique a permis un gain de temps considérable pour réaliser les tâches sur les sites web. Cependant, étant donné que l'accès direct au contenu associé à l'action réalisée par l'ULEDV inhibait la lecture des informations non pertinentes et redondantes, le nombre d'informations lues était plus réduit avec la version holistique qu'avec la version exhaustive. En conséquence, le temps d'exécution de la tâche l'était également avec la version holistique pour un chemin de navigation strictement identique. Malgré cette réserve, ce résultat est néanmoins intéressant puisque cet accès direct aurait pu perturber les habitudes des ULEDV, entraînant une désorientation lors de leur navigation web avec la version holistique et, par conséquent, allongeant leur temps d'exécution. Le bénéfice apporté par l'approche holistique en termes de temps d'exécution aurait donc été contrecarré, n'entraînant pas de différence significative, voire un effet inverse en faveur de l'approche exhaustive. Ainsi, ce résultat est encourageant pour une application de l'approche holistique dans des conditions plus naturelles au moyen d'un accès direct au contenu. En revanche, malgré le fait que les résultats aillent dans le sens de nos hypothèses, nous n'avons relevé aucun effet significatif de la variable *Version*, que ce soit sur le nombre de pages visitées, la distance de Levenshtein ou le nombre de

boucles⁴³. Cette absence d'effet significatif peut s'expliquer par l'architecture simplifiée des sites web. Cette architecture n'a probablement pas permis d'observer une désorientation assez importante des participants lors de leur navigation web pour constater une différence significative entre les 2 versions. L'architecture des sites web était la même que celle des 2 expériences précédentes. Nous avons décidé de la conserver afin que la durée de l'expérience et la fatigue des participants restent raisonnables. En outre, le taux de satisfaction était significativement supérieur avec la version holistique qu'avec la version exhaustive. La version holistique permet donc une meilleure satisfaction des ULEDV lors de leur navigation web.

De plus, l'hypothèse 3 n'a pas pu être entièrement validée. En effet, aucun effet significatif de la variable *Expertise* n'a été observé sur toutes les différences des variables dépendantes entre les 2 versions, à l'exception de celle du taux de satisfaction. Comme nous l'avions prédit, les participants les moins experts ont davantage été satisfaits du bénéfice apporté par la version holistique que les participants les plus experts. Pour les autres variables dépendantes, nous ne pouvons conclure si le bénéfice apporté par la version holistique est plus important pour les participants les moins experts. Cependant, lorsque nous portons notre attention sur la taille des effets de ces variables, nous pouvons remarquer que la variable *Expertise* explique 12% de la variance pour la charge cognitive, 15% pour le taux d'abandons et 10 % pour le nombre de pages visitées ainsi que pour la distance de Levenshtein. Ainsi, ces tailles d'effet, potentiellement intéressantes en termes pratiques pour les utilisateurs, pourraient s'avérer significatives auprès d'un échantillon plus important. Notre puissance statistique est actuellement limitée par un échantillon de 26 participants.

⁴³ Nous avons réalisé des analyses exploratoires sur le nombre de boucle selon leur taille (de 1 à 4). Cependant, nous n'avons également observé aucun effet significatif pour toutes les analyses.

Pour conclure, nous avons pu mettre à l'épreuve l'application de l'approche holistique basée sur le filtrage effectif des informations redondantes et non pertinentes avec la tâche en situation plus naturelle. Néanmoins, le protocole de l'expérience restreignait les interactions possibles avec l'interface afin de contrôler l'environnement, notamment en empêchant l'utilisation de raccourcis, ce qui introduit une limitation en termes de validité écologique. En dépit de cette réserve, nous pouvons affirmer que la conception d'interfaces suivant l'approche holistique permet un allègement de la charge cognitive, un taux d'abandons des tâches réduit, un temps d'exécution des tâches plus court ainsi qu'une plus grande satisfaction des participants. Autrement dit, la version holistique allège la charge cognitive et améliore l'utilisabilité des interfaces web pour les ULEDV en termes d'efficacité, d'efficience et de satisfaction. Certes, cette approche n'a été appliquée qu'à partir de la satisfaction d'un seul besoin des ULEDV, celui au niveau de la navigation web du modèle SOLIN. Toutefois, si nous avons pu montrer que cette approche apporte un bénéfice substantiel lors de la navigation web des ULEDV en satisfaisant un seul besoin, il est raisonnable de penser que ce bénéfice ne pourra être que plus important en satisfaisant leurs autres besoins.

Conclusion générale

Pour terminer l'exposé de cette thèse, nous présenterons une synthèse des résultats de nos études et discuterons des perspectives de recherche envisagées. Puis, nous aborderons l'approche holistique, que nous défendons dans cette thèse, sous l'angle de l'acceptabilité (Nielsen, 1993). Pour finir, nous conclurons en proposant une solution d'assistance pour les ULEDV suivant l'approche holistique afin de permettre une meilleure adaptation des interfaces web.

Synthèse et perspectives de recherche

L'objectif de cette thèse s'apparente à celui de l'ergonomie en tant que discipline scientifique, visant ici à comprendre les interactions entre les ULEDV et les interfaces informatiques, de sorte à alimenter la pratique professionnelle qui a pour vocation d'améliorer ces interactions pour le bien-être de ces utilisateurs et la performance globale des systèmes. Les travaux de cette thèse s'appuient alors sur plusieurs méthodes allant de l'observation aux expérimentations. Pour commencer, il ne serait pas possible de comprendre le fonctionnement et le comportement de l'utilisateur, ses besoins et les problèmes qu'il rencontre, sans une analyse de l'activité que nous avons réalisée au moyen de 2 études.

La première étude consistait en une observation armée qui a permis de mettre en évidence les différents moyens de navigation utilisés par les ULEDV (pas à pas, lien en lien, raccourcis, lecture automatique, « JAWS à PC virtuel ») mais également les différences de performances sur les interfaces riches entre les ULEDV et les utilisateurs voyants. En effet, les ULEDV réalisaient les tâches avec un temps d'exécution plus long, un nombre d'opérations plus important, un nombre de pages réduit et un taux de satisfaction moins élevé que les utilisateurs voyants. De plus, nous n'avons pas observé des chemins de navigation qui

différait de manière substantielle entre ces 2 populations. En revanche, nous avons remarqué que les utilisateurs voyants réalisaient davantage de détours que les ULEDV en effectuant des étapes supplémentaires (par exemple, lire une fiche technique d'un produit) mais également en réalisant davantage d'aller-retour entre les pages web pour trouver une information dont ils ignoraient la localisation dans le site web (stratégie en marguerite). A l'inverse, les ULEDV sélectionnaient les liens pour entrer dans une nouvelle page avec minutie, d'où un nombre de pages visitées inférieur à celui des personnes voyantes. Ce constat est expliqué par l'allongement du temps de navigation web dû à la relecture d'informations déjà lues et non pertinentes pour l'utilisateur à chaque chargement de page, causée par la sérialisation du lecteur d'écran et la retranscription exhaustive des informations visuelles en informations auditives. Ainsi, les résultats de cette étude ont souligné l'importance du respect de l'accessibilité effective des interfaces riches, c'est-à-dire que les ULEDV puissent effectivement réaliser leurs tâches jusqu'à l'atteinte du but avec un temps et des ressources cognitives raisonnables. C'est pourquoi une adaptation des interfaces en prenant en compte leurs besoins tels que le préconise l'approche holistique (Phipps et al., 2006; Sloan et al., 2006) semble être une solution pertinente pour assurer pleinement l'accessibilité.

Lors de la seconde étude, nous avons réalisé une enquête contextuelle auprès des ULEDV dans le but de caractériser leurs types de tâches, motifs et besoins. Cette enquête a alors permis d'établir un modèle descriptif de la navigation web des ULEDV, le modèle SOLIN, par transposition du modèle SOLID (Uzan et al., 2011), comprenant 5 catégories de motifs, 5 types de tâches, 5 catégories de besoins et 4 catégories de méthodes d'utilisation de raccourcis. Dans ce modèle, les motifs initient la navigation web des ULEDV qui exécutent différents types de tâches pendant lesquelles émergent plusieurs besoins entraînant l'usage de méthodes d'utilisation de raccourcis. Premièrement, les 5 catégories de motifs sont le divertissement, les relations sociales, la connaissance d'un élément, l'acquisition d'un service ou d'un bien et la

gestion de compte. En outre, peu importe le motif, le Web est devenu la technologie numérique la plus utilisée par les ULEDV, notamment grâce au gain d'autonomie qu'il offre. Deuxièmement, les 5 types de tâches sont les tâches transitionnelles, les tâches liées à la navigation proprement dite, les tâches connexes relatives à la navigation, les tâches relatives à l'activité de l'utilisateur et les tâches relatives aux incidents. Troisièmement, les 5 catégories de besoins sont : le besoin de sécurité, le besoin d'orientation, le besoin de localisation, le besoin d'information et le besoin au niveau de la navigation web. Le besoin le plus exprimé par les ULEDV a été le besoin au niveau de la navigation web, c'est-à-dire le besoin de naviguer le plus rapidement possible pour atteindre le contenu recherché en évitant tous les éléments redondants et non pertinents avec leur tâche afin que leur navigation soit intuitive et cohérente avec l'objectif à atteindre. Quatrièmement, les 4 catégories de méthodes d'utilisation de raccourcis sont : les méthodes d'atteinte rapide d'un élément, les méthodes de localisation dans le site web, les méthodes d'accès et de fermeture rapides et les méthodes de résolution de problèmes. Le recours à ces méthodes par les ULEDV souligne l'importance du besoin au niveau de la navigation web. En effet, elles permettent d'exécuter la tâche plus rapidement, que ce soit pour atteindre un élément, pour se localiser dans le site web, pour ouvrir ou fermer le navigateur web ou pour résoudre un incident. Par exemple, l'utilisation de la première catégorie de méthodes permet d'atteindre directement un élément ou de sauter de nombreuses informations non pertinentes avec la tâche. Néanmoins, ces méthodes nécessitent une certaine expertise de l'utilisateur, tant du point de vue de la connaissance de ces raccourcis que du point de vue de la connaissance de l'organisation du site web et sa mémorisation, ce qui limite l'exploration des sites web en termes de quantité et entrave, par conséquent, l'autonomie des ULEDV. C'est pourquoi nous avons choisi de nous focaliser sur ce besoin afin d'appliquer l'approche holistique dans le cadre de 3 expériences.

Lors de ces 3 expériences, nous avons proposé un filtrage des informations non pertinentes et redondantes en donnant l'accès directement au contenu associé à l'action réalisée par l'ULEDV pour répondre à ce besoin. Nous avons ainsi pu confronter l'approche holistique à l'approche exhaustive en mettant à l'épreuve 4 hypothèses. Les résultats relatifs aux 3 premières hypothèses sont résumés dans le Tableau 21.

Tableau 21. Récapitulatif des résultats des 3 expériences comparant l'approche holistique à l'approche exhaustive pour chaque variable dépendante.

		Expérience 1 NASA-RTLX	Expérience 2 Double tâche	Expérience 3 Accès direct Contenu
Charge cognitive	NASA-RTLX ou TR	H < E*** $\eta^2 = 43\%$	H < E** $\eta^2 = 28\%$	H < E*** $\eta^2 = 55\%$
Efficacité	Abandon	H < E*** $\eta^2 = 45\%$	H < E* $\eta^2 = 23\%$	H < E* $\eta^2 = 17\%$
	Echec	<i>ns</i>	H < E* $\eta^2 = 19\%$	<i>ns</i>
Efficiace	Temps d'exécution	<i>ns</i>	<i>ns</i>	H < E*** $\eta^2 = 55\%$
Désorientation	Pages visitées	<i>ns</i>	--	<i>ns</i>
	Distance de Levenshtein	<i>ns</i>	--	<i>ns</i>
	Boucles	<i>ns</i>	--	<i>ns</i>
Satisfaction	SUS	--	--	H < E*** $\eta^2 = 51\%$

Note : H = version holistique. E = version exhaustive. -- = Variable dépendante non éprouvée.

*** : $p < .001$. * : $p < .05$. *ns* : $p > 0.5$. Pour les TR, l'effet d'interaction entre les facteurs Version et Zone n'était pas significatif [$F(1, 23) = 0.52$, $p > .47$, $\eta^2 = .02$].

La première hypothèse portant sur l'impact de l'application de l'approche holistique sur la charge cognitive a été validée. Ainsi, nous pouvons affirmer que la conception d'interfaces web suivant l'approche holistique permet d'alléger la charge cognitive des ULEDV.

En revanche, la deuxième hypothèse selon laquelle le bénéfice apporté par l'approche holistique est plus important lors de la phase de sélection que lors de la phase de lecture du contenu n'a pas été confirmée. En effet, l'effet d'interaction des facteurs Version et Zone sur les TR au signal sonore n'était pas significatif. Par conséquent, nous ne pouvons statuer sur le fait que le bénéfice apporté par l'approche holistique est plus important lors de la phase de sélection que de la phase de lecture du contenu. Comme nous l'avons expliqué lors de la

discussion des 2 premières expériences, l'allègement de la charge cognitive engendré par le filtrage des informations non pertinentes et redondantes a été constaté lors des 2 phases. Ce résultat peut s'expliquer par l'influence indirecte et positive subie par la charge cognitive lors de la phase de lecture du contenu (DeStefano et al., 2007). La charge cognitive lors de cette phase aurait ainsi bénéficié de l'allègement de la charge cognitive lors de la phase de sélection. En tout état de cause, ces 2 phases profitent grandement d'être allégées.

La troisième hypothèse portant sur l'impact de l'application de l'approche holistique sur les performances des ULEDV a été partiellement validée. En effet, nous avons découvert que la conception d'interfaces suivant l'approche holistique permet d'améliorer partiellement leurs performances selon les 3 critères d'utilisabilité (efficacité, efficience et satisfaction). Néanmoins, cette application permet de réduire significativement le taux d'échecs uniquement lors de l'expérience 2, l'absence d'effet significatif lors des 2 autres expériences s'expliquant par un très faible taux d'échec. De surcroît, nous n'avons pas observé de différence significative entre les temps d'exécution des tâches, aussi bien lors de l'expérience 1 que lors de l'expérience 2, ce qui peut s'expliquer notamment par le protocole de ces expériences en lui-même, qui imposait un nombre identique d'informations délivrées par l'interface entre les 2 versions mais également par le fait que les analyses ont été réalisées uniquement sur les temps d'exécution des tâches réussies. Etant donné que le nombre de tâches abandonnées était significativement plus important lors de la version exhaustive, cela a pu introduire un biais dans nos résultats. C'est pourquoi nous avons proposé de mettre à l'épreuve cette hypothèse en modifiant notre protocole dans lequel l'accès direct effectif au contenu était permis et dans lequel un protocole de relance suite à un souhait d'abandonner des participants a été ajouté lors de l'expérience 3. Ainsi, nous avons pu observer que le filtrage des informations non pertinentes et redondantes permet de diminuer le temps d'exécution des tâches. Néanmoins, comme nous l'avons expliqué lors de la discussion de cette expérience, l'accès direct entraînait un nombre d'informations lues

plus réduit avec la version holistique qu'avec la version exhaustive pour un chemin de navigation strictement identique. Cependant, il était possible qu'en perturbant les habitudes des ULEDV, cet accès direct puisse entraîner une désorientation lors de leur navigation web avec la version holistique et, par conséquent, un allongement de leur temps d'exécution. L'application de l'approche holistique n'aurait alors pas été avantageuse en termes de temps d'exécution, voire désavantageuse, ce que nous avons vérifié en réalisant une expérience dans des conditions plus naturelles. C'est pourquoi ce résultat encourage l'application holistique lors de la conception d'interfaces web.

En revanche, aucune réduction significative de la désorientation des participants lors leur navigation web n'a été observée peu importe l'expérience. Deux raisons peuvent expliquer cette absence d'effet significatif. Premièrement, l'architecture des sites web créés était simplifiée, compromis réalisé en faveur du temps de passation de l'expérience et de la fatigue du participant. Ainsi, une perspective d'amélioration serait de mettre à l'épreuve nos hypothèses en complexifiant l'architecture des sites web tant du point de vue du nombre de niveaux de profondeur du site web que du nombre de liens dans les menus ou dans les pages web. Bien que cela soit coûteux pour le participant en termes de temps et de disponibilité, nous pourrions envisager de réaliser l'expérience en 2 temps⁴⁴ afin de garder un niveau de fatigue des participants acceptable. Une autre possibilité serait que chaque participant réalise l'expérience sur un seul site web avec une seule version, résolvant le problème de temps et de la fatigue des participants. Néanmoins, cela nécessiterait de recruter un grand nombre de participants de sorte qu'un nombre suffisant d'observations soit obtenu pour chacune des conditions, sans parler de la nécessité de s'assurer de l'équivalence des groupes de participants. Or, l'accès à cette

⁴⁴ Par exemple, le participant naviguerait sur un des 2 sites web avec une des 2 versions le jour du rendez-vous et reviendrait le lendemain pour naviguer sur le second site web avec l'autre version ou alors l'expérience pourrait se dérouler dans la même journée avec une partie le matin et une partie l'après-midi.

population étant actuellement difficile, cette solution semble peu réaliste. Secondement, les tâches à réaliser, imposées par le protocole, avaient des objectifs bien définis. Or, la navigation web est également composée d'activités dont le but est flou. De ce fait, lors d'une tâche avec un objectif flou, la représentation du but est indéterminée. Etant en perpétuelle évolution en fonction des résultats intermédiaires, sa désactivation est alors plus probable (Dinet et al., 2002; Rouet et al., 1998). Ainsi, une nouvelle piste de recherche serait de mettre à l'épreuve l'hypothèse selon laquelle le filtrage des informations non pertinentes et redondantes réduirait significativement la désorientation des ULEDV lors d'activités à but flou (par exemple, acheter en ligne un cadeau pour son fils). Cette hypothèse pourrait alors être éprouvée à partir de mesures traduisant la désorientation lors de leur navigation web différentes de celles que nous avons utilisé. En effet, nous avons utilisé des mesures absolues (nombre de pages visitées, nombre de boucles et distance de Levenshtein) pour traduire cette désorientation, tel que Lin (2003), alors que d'autres auteurs utilisent des mesures relatives. Par exemple, Smith (1996) mesure cette désorientation à partir d'indices relatifs de redondance et de précision indissociables l'un de l'autre. Cet auteur utilise un coefficient de désorientation qui additionne les carrés du pourcentage de nœuds⁴⁵ ouverts redondants par rapport à la totalité de nœuds ouverts et du pourcentage de nœuds ouverts non pertinents avec l'atteinte du but par rapport à la totalité de nœuds ouverts. D'autres auteurs utilisent un indice d'économie qui calcule le pourcentage de nœuds ouverts pertinents par rapport à la totalité de nœuds ouverts (Tricot, Puigserver, Berdugo & Diallo, 1999). Ainsi, ces mesures pourraient être utilisées pour mettre à l'épreuve cette hypothèse portant sur la désorientation des ULEDV lors de leur navigation web. Toutefois, l'interprétation des données devra prendre en considération que les résultats ont été

⁴⁵ Il s'agit d'un terme générique pour désigner une unité documentaire. Un nœud peut-être un article, une page, une image, etc.

obtenus suite au rapport effectué avec le nombre total de nœuds ouverts. Il n'est pas certain qu'un ULEDV qui a ouvert 3 nœuds redondants sur 10 nœuds au total ressent la même désorientation que s'il avait ouvert 30 nœuds redondants sur 100. Cette différence pourrait avoir un impact important, notamment en termes de satisfaction.

Pour la quatrième hypothèse, il est difficile de conclure sur l'impact du bénéfice apporté par l'approche holistique selon l'expertise des ULEDV, étant donné que des effets significatifs ont été observés uniquement pour les scores au NASA-RTLX et pour le taux d'abandons lors de l'expérience 1 ainsi que pour le taux de satisfaction lors de l'expérience 3. Le Tableau 22 résume ces résultats.

Tableau 22. Récapitulatif des résultats des 3 expériences portant sur le bénéfice apporté par l'approche holistique en fonction du niveau d'expertise des participants.

		Expérience 1 NASA-RTLX	Expérience 2 Double tâche	Expérience 3 Accès direct Contenu
Charge cognitive	NASA-RTLX ou TR	$Ex^- > Ex^{+*}$ $\eta^2 = 33\%$	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Efficacité	Abandon	$Ex^- > Ex^{+***}$ $\eta^2 = 53\%$	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	Echec	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Efficiace	Temps d'exécution	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Désorientation	Pages visitées	<i>ns</i>	--	<i>ns</i>
	Distance de Levenshtein	<i>ns</i>	--	<i>ns</i>
	Boucles	<i>ns</i>	--	<i>ns</i>
Satisfaction	SUS	--	--	$Ex^- > Ex^{+*}$ $\eta^2 = 17\%$

Note : Ex^- = participants les moins experts. Ex^+ = participants les plus experts. -- = Variable dépendante non éprouvée. *** : $p < .001$. * : $p < .05$. *ns* : $p > 0.5$.

Néanmoins, pour certaines variables dépendantes examinées, l'importance de la relation avec l'expertise des participants est potentiellement intéressante (pour les expériences 1 et 3), notamment en ce qui concerne la charge cognitive, les abandons et la désorientation dans la navigation web. Cependant, les effectifs étant faibles pour nos expériences, nous ne disposons pas d'une puissance statistique suffisante pour obtenir des résultats significatifs (cf. Tableau 18 de la sous-section 9.3.1 et Tableau 20 de la section 9.7). Toutefois, les tailles d'effet, avec un

échantillon de taille plus importante, sont susceptibles d'être inférieures de celles obtenues en raison du caractère biaisé de ces estimateurs. Or, en termes pratiques pour les déficients visuels, le bénéfice apporté par l'approche holistique doit être substantiel. Ainsi, une perspective de recherche serait de mettre à l'épreuve cette hypothèse sur une population de déficients visuels novices avec le lecteur d'écran, c'est-à-dire ne l'ayant jamais utilisé. Un apprentissage des fonctionnalités du lecteur d'écran serait donc nécessaire. Une phase de formation pourrait être envisagée afin que tous les participants aient les mêmes moyens d'interagir avec les interfaces web. Pour faciliter cet apprentissage, la population visée pourrait être constituée de personnes aveugles tardives qui auraient déjà expérimenté la navigation web en tant que personnes voyantes. Néanmoins, toutes contraintes temporelles, techniques ou d'accès à une telle population mises à part, l'âge moyen de cette population risque d'être élevé puisque la cécité acquise tardivement est généralement liée à l'âge, rendant l'interprétation de ces résultats plus délicate.

En conclusion, cette thèse a apporté un éclairage sur la navigation web des ULEDV, élaboré un modèle descriptif de cette navigation avec le modèle SOLIN et montré le bénéfice important apporté par l'approche holistique en termes d'allègement de la charge cognitive des ULEDV et d'amélioration de leurs performances selon les 3 critères d'utilisabilité : efficacité, efficience et satisfaction.

Acceptabilité de l'approche holistique et perspectives d'application

Au cours de cette thèse, nous avons mis en exergue l'amélioration substantielle apportée par l'approche holistique tant du point de vue de l'allègement de la charge cognitive que du point de vue de l'utilisabilité de l'interface. Son application par les concepteurs d'interfaces web dans le sens large du terme (décideurs, éditeurs web, développeurs, etc.) est alors cruciale. Néanmoins, elle peut poser des problèmes d'acceptabilité, tant de la part des concepteurs que

de la part des ULEDV. Selon Nielsen (1993), l'acceptabilité se décompose sous 2 formes : l'acceptabilité pratique et l'acceptabilité sociale. L'acceptabilité pratique concerne le coût, le temps, la facilité d'utilisation, l'utilité, etc. L'acceptabilité sociale est définie par la manière dont les utilisateurs réagissent face à l'introduction d'un nouveau système (acceptation ou rejet). Dans un premier temps, nous aborderons les problèmes d'acceptabilité pratique de la part des concepteurs d'interfaces web et dans un second temps, nous traiterons des problèmes d'acceptabilité sociale de la part des ULEDV.

Premièrement, du point de vue de l'acceptabilité pratique, les concepteurs d'interfaces web peuvent mal accepter l'application de l'approche holistique, notamment par le coût qu'elle engendre. En effet, cette approche, qui place l'utilisateur au centre de la conception des interfaces, requiert l'application d'une méthodologie d'analyse des besoins des utilisateurs. Cette approche nécessite alors du temps, des connaissances sur la population visée et des compétences pour mettre en œuvre les méthodes appropriées, engendrant un coût plus ou moins élevé. Par conséquent, cela peut poser des problèmes d'acceptation de la part des concepteurs d'interfaces web. La prise en compte du modèle SOLIN décrivant la navigation web des ULEDV peut alors réduire ce coût. Ce modèle a en effet pour vocation de guider les concepteurs lors de la conception d'interfaces web pour améliorer leur compréhension des interactions entre les ULEDV et ces interfaces par la connaissance des motifs, des types de tâches réalisées, des besoins et des méthodes qu'utilisent les ULEDV pour naviguer sur le Web. Ainsi, ce modèle facilite l'application de l'approche holistique. Néanmoins, cette application ne nécessite pas de rajouter quelques lignes de codes supplémentaires pour rendre accessible une interface web mais implique généralement de devoir retravailler complètement la structure de l'interface (Nevile, 2005). C'est pourquoi, des réticences de la part des concepteurs d'interfaces web peuvent demeurer.

Secondement, du point de vue de l'acceptabilité sociale, le fait de proposer une solution alternative équivalente comme le préconise l'approche holistique peut être mal reçu par les ULEDV. Selon Nevile (2005), les personnes handicapées ne veulent pas être traitées comme telles et souhaitent avoir les mêmes moyens que tout un chacun pour participer à la vie sociale. De ce fait, l'accessibilité universelle est une des solutions pour concevoir ou guider la conception d'interfaces utilisable par tous malgré leurs différences physiques, motrices ou cognitives. Dans ce sens, l'accessibilité améliore l'utilisabilité pour tous. Sperandio (2007) a illustré de nombreux exemples où les difficultés rencontrées par des personnes handicapées sont souvent révélatrices des difficultés que rencontrent également, à un niveau mineur et dans certaines circonstances, des utilisateurs complètement valides. Par exemple, un texte imprimé avec de très petits caractères ou affiché sur un écran de mauvaise qualité est illisible par un malvoyant mais il est fatigant pour tous, diminue la vitesse de lecture et peut induire des erreurs. Bien que l'idée en soi de la conception pour tous (« Design For All ») soit séduisante, cette approche reste utopique. Il serait déraisonnable de vouloir que la même interface puisse convenir à toutes les catégories de handicap (Sperandio, 2007). En effet, la conception pour tous est souvent difficile à réaliser, voire impossible car les besoins de tous étant différents et parfois même opposés, elle ne peut tous les satisfaire (Shinohara & Tenenbergh, 2009). Ainsi, fournir l'accès pour des personnes ayant un certain type d'handicap va rendre difficile l'accès pour les personnes sans handicap et impossible pour d'autres personnes avec un autre type d'handicap (Newell et al., 2000). Dans ce cas, le mieux est l'ennemi du bien. C'est pourquoi, une conception centrée sur l'utilisateur, tel que l'approche holistique, semble plus adaptée pour répondre aux problèmes des personnes en situation de handicap, en prenant en compte la situation, les caractéristiques des utilisateurs et leurs besoins ainsi que les fonctionnalités dont ils ont besoin (Newell et al., 2000).

En somme, 2 problèmes persistent pour l'application de l'approche holistique en termes d'acceptabilité. Premièrement, le coût de l'application de l'approche holistique en faveur des ULEDV ne peut qu'être réduit par le modèle SOLIN que nous avons élaboré. Ainsi, compte tenu des exigences de délais imposés et du budget négocié lors de la conception d'interfaces web, l'accessibilité est généralement placée en dernier plan. Secondement, l'élaboration d'une solution alternative préconisée par l'approche holistique est potentiellement mal perçue par les ULEDV. C'est pourquoi, à la suite de cette thèse, nous proposons une solution technique suivant l'approche holistique, qui viendrait s'insérer entre le navigateur web et le lecteur d'écran, s'appliquant ainsi sur n'importe quel site web. De ce fait, cette solution répondrait au problème du coût de l'application de l'approche holistique puisqu'elle permettrait d'être indépendant des contraintes temporelles et financières subies par les concepteurs de sites web. Parallèlement, cette solution répondrait au problème d'acceptation de la part des ULEDV. En effet, les ULEDV ne se sentiraient pas traités différemment des voyants, étant donné que les interfaces web seraient les mêmes pour les ULEDV et les voyants. Seule la présentation de l'information serait différente grâce à un filtrage des informations non pertinentes et redondantes des sites web. Pour cela, la solution technique repose sur un algorithme qui analyse le contenu HTML des pages web, compare les éléments présents dans la page web à ceux des pages déjà visitées et à ceux enregistrés dans une base de données partagée auto-alimentée en ligne et filtre, en conséquence, les informations superflues, tel que le présente la figure ci-après. La Figure 24 présente de manière simplifiée un exemple de navigation web d'un ULEDV avec et sans la solution technique. Pour commencer, l'ULEDV entre dans la page 1 du site web puis sélectionne un lien du menu. Une fois sur la page 2, il sélectionne un lien du Menu 2 afin d'entrer dans la page 3 et lire le contenu souhaité. Le filtrage des informations non pertinentes et redondantes apporté par la solution technique permet dans cet exemple de réduire le nombre d'étapes (lecture de zones d'informations par le lecteur d'écran) de 11 à 4. Ainsi, l'outil

informatique développé à partir de cette solution technique offrira un gain considérable en termes de charge cognitive, d'efficacité, d'efficience et de satisfaction lors de la navigation web des ULEDV. Néanmoins, cet outil permet uniquement de satisfaire un seul type de besoins des ULEDV, celui du filtrage des informations afin d'atteindre leur objectif avec un temps et une quantité de ressources cognitives réduits, assurant le respect de l'accessibilité effective. C'est pourquoi, le respect des standards, tels que ceux du W3C, garantissant l'accessibilité normative ne doit pas pour autant être négligé afin de résoudre d'autres problèmes rencontrés par les ULEDV tels que l'impossibilité de lire les captchas.

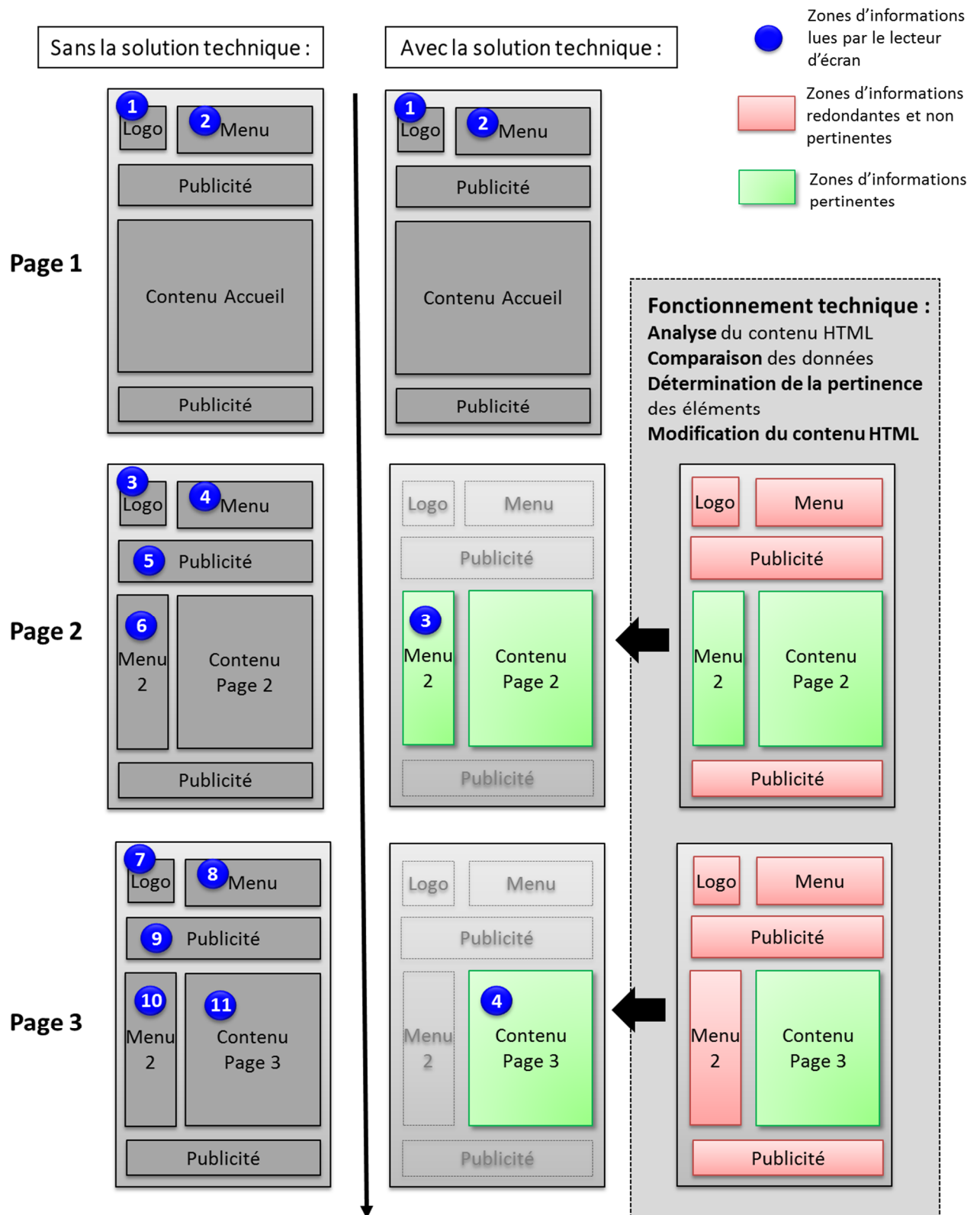


Figure 24. Proposition d'un filtrage des informations redondantes et non pertinentes grâce à une solution technique.

Suite à l'élaboration de cet outil, plusieurs perspectives d'application sont envisageables.

Une première perspective serait d'évaluer l'acceptabilité de cet outil à partir d'entretiens semi-directifs pour recueillir la perception des ULEDV d'une telle solution (atouts, bénéfices, risques, opportunité) mais également à partir de la navigation web avec cet outil pour en évaluer son utilisabilité, tel que le pratiquent Bobillier Chaumon, Dubois et Retour (2006). Ainsi, nous pourrions éprouver si cet outil serait accepté ou rejeté en fonction de sa facilité d'utilisation et de sa pertinence tout en s'inscrivant dans un contexte social qui l'accepte, critères nécessaires pour qu'il soit utilisé (Brangier, Hammes-Adelé & Bastien, 2010)

Une deuxième perspective serait d'étendre la conception de cet outil à d'autres domaines à partir du même fonctionnement, c'est-à-dire en s'insérant entre l'interface informatique (applications mobile, logiciel, PDF, etc.) et le lecteur d'écran pour permettre le filtrage des informations non pertinentes et redondantes. Toutefois, cette conception doit tenir compte du contexte d'utilisation. En effet, selon le domaine concerné, elle nécessiterait une nouvelle analyse de l'activité puisque l'activité de navigation sur le Web est différente de celle sur une application mobile ou sur un PDF (qui ne concerne d'ailleurs pas la navigation proprement dite).

Une troisième perspective serait de combiner cet outil avec l'agent intelligent d'assistance à la navigation web des ULEDV proposé par Sperandio et al. (2002) qui préconisent l'assistance de la mémoire de l'utilisateur, l'assistance de veille, l'assistance d'enrichissement des contenus et l'assistance au filtrage des informations (cf. sous-section 5.3.3). Cet agent pourra alors couvrir un large panel des besoins des ULEDV.

Pour clore l'exposé de cette thèse, elle a alors pour ambition, tant d'un point de vue théorique qu'appliqué, d'être un soutien important pour les futures recherches, encore rares, dans le domaine de l'accessibilité du Web pour les déficients visuels, de contribuer au

développement de l'ergonomie cognitive et de la psychologie cognitive ainsi que de contribuer à l'élaboration d'un agent d'assistance destiné aux déficients visuels.

Références bibliographiques

- Amedi, A., Floel, A., Knecht, S., Zohary, E., & Cohen, L. G. (2004). Transcranial magnetic stimulation of the occipital pole interferes with verbal processing in blind subjects. *Nature Neuroscience*, 7(11), 1266-1270.
- Association Valentin Haüy (2009). Article de l'Agence France-Press paru en ligne sur www.handicap.fr. Récupéré le 31 juillet 2014, de <http://informations.handicap.fr/art-infos-handicap-archives-703-2732.php>
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes *The psychology of learning and motivation: II*. Oxford England: Academic Press.
- Auvray, M., & O'Regan, J. K. (2003). Voir avec les Oreilles. Enjeux de la substitution sensorielle. *Pour la Science*.
- Baccino, T., Bellino, C., & Colombi, T. (2005). *Mesure de l'utilisabilité des interfaces*. Paris: Hermès - Lavoisier.
- Bach-y-Rita, P., & Kercel, S. W. (2003). Sensory substitution and the human-machine interface. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 541-546.
- Baddeley, A. (1993). *La mémoire humaine : théorie et pratique*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.
- Baddeley, A. (2003). Working Memory: Looking Back and Looking Forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual review of Psychology*, 63, 1-29.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G.A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation*, 8, 47-90. New York: Academic Press.
- Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An empirical evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574-594.
- Barouillet, P. (1996). Ressources, capacités cognitives et mémoire de travail : Postulats, métaphores et modèles. *Psychologie Française*, 41(4), 319-338.
- Bastien, C. (1997). Les connaissances, de l'enfant à l'adulte. Paris: Armand Colin.
- Bastien, C. (2004). L'inspection ergonomique des logiciels inter-actifs : intérêts et limites. In J.-M. Hoc & F. Darses (Ed.), *Psychologie ergonomique : tendances actuelles* (pp. 49-70). Paris: PUF.
- Bastien, C., & Scapin, D. L. (1993). *Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer interfaces* (Technical report N°156, Programme 3 Artificial intelligence, cognitive systems, and man-machine interaction). Rocquencourt : Institut National de recherche en informatique et en automatique.
- Bastien, C., Scapin, D. L., & Leulier, C. (1999). The ergonomic criteria and the ISO/DIS 9241-10 dialogue principles: a pilot comparison in an evaluation task. *Interacting with Computers*, 11(2), p. 299-322.
- Bastien, C., & Tricot, A. (2008). L'évaluation ergonomique des documents électroniques. . In A. Chevalier & A. Tricot (Ed.), *Ergonomie des documents électroniques* (pp. 205-227). Paris: PUF.
- Bisseret, A., Sebillotte, S., & Falzon, P. (1999). *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes*. (1ère ed.). Toulouse: Octares.
- BrailleNet (2014). Enquête : "Ce que les sites Web publics nous disent de leur accessibilité". Récupéré le 21 juin 2014, de <http://www.brailletnet.org/>

- Bobillier Chaumon, M.-E., Dubois, M., & Retour, D. (2006). L'acceptation des nouvelles technologies d'information : le cas des systèmes d'information dans le milieu bancaire. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 12, 4, 247- 262.
- Bonnardel, N., & Piolat, A. (2003). Design activities: how to analyze cognitive effort associated to cognitive treatments? *International Journal of Cognitive Technology*, 8(1), 4-13.
- Boumenir, Y. (2011). *Navigation spatiale en milieu urbain réel ou virtuel*. (Thèse), Université de Montpellier II, Montpellier.
- Boumenir, Y., Kadri, A., Suire, N., Mury, C., & Klinger, E. (2012). *When sighted people are in the skin of visually impaired ones: perception and actions in virtual reality situation*. Paper presented at the Proceedings of the 9th international conference on disability, virtual reality and associated technologies, Laval, France.
- Brajnik, G., Yesilada, Y., & Harper, S. (2010). *Testability and Validity of WCAG 2.0 The Expertise Effect*. Paper presented at the ASSET'S 10, Orlando, Florida, USA.
- Brangier, E., Hammes-Adelé, S., & Bastien, C. (2010). Analyse critique des approches de l'acceptation des technologies : de l'utilisabilité à la symbiose humain-technologie-organisation. *European Revue of Applied Psychology*, 60, 129–146.
- Brangier, E., Lancry, A., & Louche, C. (2004). *Les dimensions humaines du travail. Théories et pratiques en psychologie du travail et des organisations*. Nancy: PUN.
- Brooke, J. (1996). SUS: A "quick and dirty" usability scale. In B. T. P. W. Jordan, B. A. Weerdmeester, & A. L. McClelland (Ed.), *Usability Evaluation in Industry*. (pp. 189-194). London: Taylor and Francis.
- Burton, H., Snyder, A. Z., Conturo, T. E., Akbudak, E., Ollinger, J. M., & Raichle, M. E. (2002). Adaptive changes in early and late blind: A fMRI study of Braille reading. *Journal of Neurophysiology*, 87(1), 589-607.
- Burton, H., Snyder, A. Z., Diamond, J. B., & Raichle, M. E. (2002). Adaptive Changes in Early and Late Blind: A fMRI Study of Verb Generation to Heard Nouns. *Journal of Neurophysiology*, 88(6), 3359-3371.
- Buzzi, M. C., Buzzi, M., Leporini, B., & Akhter, F. (2009). *Usability and Accessibility of eBay by Screen Reader*. Paper presented at the 5th Symposium USAB 2009, LNCS 5889, Springer, Heidelberg.
- Buzzi, M. C., Buzzi, M., Leporini, B., Mori, G., & Penichet, V. M. R. (2010). *Accessing Google Docs via Screen Reader*. Paper presented at the 12th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2010), Vienna, Austria.
- Camus, J.-F. (2003). L'attention et ses modèles. *Psychologie Française*, 48(1), 5-18.
- Cattaneo, Z., Vecchi, T., Cornoldi, C., Bonino, D., Pietrini, P., Ricciardi, E., et al. (2008). Imagery and spatial processes in blindness and visual impairment. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32(8), 1346-1360.
- Caro, S. & Bissere, A. (1997). Etude expérimentale de l'usage des organisateurs paralinguistiques de mise en retrait dans les documents électroniques. *Le Travail Humain*, 60(4), 409-437.
- Cavazza, F. (2009). Différentes interfaces riches pour différentes fonctions [Blog]. Récupéré le 20 septembre 2012, de <http://www.richcommerce.fr/2009/01/13/differentes-interfaces-riches-pour-differentes-fonctions/>
- Cavazza, F. (2011). Etat de l'art des interfaces riches [Blog]. Récupéré le 20 septembre 2012, de <http://www.fredcavazza.net/2011/02/24/etat-de-lart-des-interfaces-riches/>
- Ceaparu, I., Lazar, J., Bessiere, K., Robinson, J., & Shneiderman, B. (2004). Determining causes and severity of end-user frustration. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 17(3), 333-356.

- Cegarra, J., & Chevalier, A. (2008). The use of Tholos software for combining measures of mental workload: Toward theoretical and methodological improvements. *Behavior Research Methods*, 40(4), 988-1000.
- Cegarra, J., & Morgado, N. (2009). *Étude des propriétés de la version francophone du NASA-TLX*. Paper presented at the Epique 2009: 5ème Colloque de Psychologie Ergonomique, Nice, France.
- Cellier, J. M., Eyrolle, H., & Mariné, C. (1997). Expertise in dynamic environments. *Ergonomics*, 40(1), 28-50.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive*. Paris: A. Colin.
- Chauvey, V., Hatwell, Y., Verine, B., Kaminski, G., & Gentaz, E. (2012). Lexical references to sensory modalities in verbal descriptions of people and objects by congenitally blind, late blind and sighted adults. *PLoS ONE*, 7(8).
- Chevalier, A. (2013). *La conception des documents pour le web*. Lyon: Presses de l'enssib.
- Chevalier, A., & Kicka, M. (2006). Web designers and web users: Influence of the ergonomic quality of the web site on the information search. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(10), 1031-1048.
- Collignon, O., & De Volder, A. G. (2009). Further evidence that congenitally blind participants react faster to auditory and tactile spatial targets. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 63(4), 287-293.
- Colombi, T. (2004). *Les stratégies d'exploration visuelle dans les hypertextes*. (Thèse), Université de Nice Sophia Antipolis, Nice.
- Colombi, T. (2009). System Usability Scale : questionnaire de satisfaction traduit en langue française [Document interne à l'entreprise LudoTIC]. Instrument non publié.
- Conway, M. A., Singer, J. A. & Tagini, A. (2004). The Self and Autobiographical Memory: Correspondence and Coherence. *Social Cognition*, 22(5), 491-529.
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework*. Oxford Psychology Series (No. 26). New York: Oxford University Press.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Ed.), *Models of Working Memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62-101). Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, 19, 51-57.
- Cuvelier, L. (2012). Mesures quantitatives de la charge mentale : avancées, limites et usages pour la prévention des risques professionnels. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 73(2), 120-126.
- Dardailler, D. (2008). A World of Stakeholders: Lessons from Global Outreach. Récupéré le 30 juillet 2014, de <http://www.w3.org/2008/04/dd-global.html>
- Denis, M., & De Vega, M. (1993). Modèles mentaux et imagerie mentale. In M. F. Ehrlich (Ed.), *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations* (pp. p. 79-98). Paris: Masson.
- DeStefano, D., & LeFevre, J.-A. (2007). Cognitive load in hypertext reading: A review. *Computers in Human Behavior*, 23(3), 1616-1641.
- Dinet, J., & Rouet, J.-F. (2002). La recherche d'informations : processus cognitifs, facteurs de difficultés et dimensions de l'expertise. In C. Paganelli (Ed.), *Interaction homme-machine et recherche d'informations* (pp. 133-161). Paris: Hermès Science.
- Dinet, J., & Tricot, A. (2008). Recherche d'information dans les documents électroniques. In A. Chevalier & A. Tricot (Ed.), *Ergonomie des documents électroniques* (pp. 35-69). Paris: PUF.

- Disability Rights Commission. (2004). *The Web access and inclusion for disabled people*. London: Disability Rights Commission.
- Dubois, J. (2000). *Lexis, Dictionnaire de la langue française*. Paris: Larousse.
- Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). MNESIS: Towards the Integration of Current Multisystem Models of Memory. *Neuropsychology Review*, 18, 53–69.
- Eustache, F., Faure, S., & Desgranges, B. (2013). *Manuel de neuropsychologie* (4ème ed.). Paris: Dunod.
- Falzon, P. (2004). *Ergonomie*. Paris: PUF.
- Fisk, A. D., Derrick, W. L., & Schneider, W. (1986). A methodological assessment and evaluation of dual-task paradigms. *Current Psychological Research & Reviews*, 5(4), 315-327.
- Fougeyrollas, P., Cloutier, R., Bergeron, H., Côté, J., & St Michel, G., Classification québécoise : Processus de production du handicap. Québec : RIPPH/SCCIDIH, 1998.
- Galiano, A.-R. (2013). *Psychologie cognitive et clinique du handicap visuel*. Bruxelles, Belgique: De Boeck.
- Galiano, A.-R., & Baltenneck, N. (2007). Interactions verbales et déficience visuelle : le rôle de la vision dans la communication. *Revue électronique de Psychologie Sociale*, 1, 47-54.
- Gendron, B. (2010). Le coût des aides techniques. *Réadaptation*, 568, p. 30.
- Georgeon, O. (2008). *Analyse de traces d'activité pour la modélisation cognitive : Application à la conduite automobile*. (Thèse), Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- Ghiglione, R., & Matalon, B. (1998). *Les enquêtes sociologiques : théories et pratiques*. Paris: Armand Colin.
- Giraud, S., & Thérouanne, P. (2010). *Role of lexico-syntactic and prosodic cues in spoken comprehension of enumerations in sighted and blind adults*. Paper presented at the Multidisciplinary Approaches to Discourse (MAD 2010), Moissac, France.
- Giraud, S., Uzan, G., & Thérouanne, P. (2011). L'accessibilité des interfaces informatiques pour les déficients visuels. In J. Dinet & C. Bastien (Ed.), *L'ergonomie des objets et environnements physiques et numériques*. Paris: Hermes - Sciences Lavoisier.
- Guthrie, J. T. (1988). Locating information in documents: examination of a cognitive model. *Reading Research Quarterly*, 23, 178-199.
- Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F., Duraffourg, J., & Kerguelen, A. (2006). *Comprendre le travail pour le transformer : la pratique de l'ergonomie*. Lyon: ANACT.
- HandiCapZero. (2005). Enquête 2005 : qui êtes-vous ? Récupéré le 6 mai 2014, de http://www.handicapzero.org/fileadmin/user_upload/contenu/Enquete/Telechargez_1_enquete_complete_en_PDF.pdf
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Ed.), *Human mental workload* (pp. 139-183). Amsterdam: Elsevier
- Hatwell, Y. (2003). *Psychologie cognitive de la cécité précoce*. Paris: Dunod.
- Holtzblatt, K., & Beyer, H. R. (2011). Contextual Design. In M. a. D. Soegaard, Rikke Friis (Ed.), *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*. Aarhus, Denmark: The Interaction Design Foundation.
- Hugdahl, K., Ek, M., Takio, F., Rintee, T., Tuomainen, J., Haarala, C., & Hämäläinen, H. (2004). Blind individuals show enhanced perceptual and attentional sensitivity for identification of speech sounds. *Cognitive Brain Research*, 19(1), 28-32.
- Ignacio Madrid, R., Van Oostendorp, H., & Puerta Melguizo, M. C. (2009). The effects of the number of links and navigation support on cognitive load and learning with hypertext: The mediating role of reading order. *Computers in Human Behavior*, 25(1), 66-75.

- International Organization for Standardization (ISO) (Ed., 1998). *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 11: Guidance on usability (ISO 9241-11:1998)*.
- International Organization for Standardization (ISO) (Ed., 2008). *Ergonomics of human-system interaction - Part 171: Guidance on software accessibility (ISO 9241-171:2008)*.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kern, W. (2008). Web 2.0 - End of accessibility? Analysis of most common problems with Web 2.0 based applications regarding Web accessibility. *International Journal of Public Information Systems*, 2.
- Kintsch, W., & Van Dijk, T. A. (1978). Toward a Model of Text Comprehension and Production. *Psychological Review*, 85, 363-394.
- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 1-10.
- Kitajima, M., Blackmon, M. H., & Polson, P. G. (2000). A comprehension-based model of Web navigation and its application to Web usability analysis. In *People and computers XIV—Usability or else!* (pp. 357-373). London: Springer.
- Klatzky, R. L., Marston, J., Giudice, N. A., Golledge, R. G., & Loomis, J. M. (2006). Cognitive load of navigating without vision when guided by virtual sound versus spatial language. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 12(4), 223-232.
- Lazar, J., Allen, A., Kleinman, J., & Malarkey, C. (2007). What frustrates screen reader users on the web: A study of 100 blind users. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 22(3), 247-269.
- Le Bohec, O., & Jamet, E. (2005). Les effets de redondance dans l'apprentissage à partir de documents multimédia. *Travail Humain*, 68(2), 97-124.
- Leplat, J. (2000). *L'analyse psychologique de l'activité en ergonomie : aperçu sur son évolution, ses modèles et ses méthodes*. Toulouse: Octarès.
- Leplat, J. (2001). *L'analyse du travail en psychologie ergonomique* (Vol. 1). Toulouse: Octarès.
- Leporini, B., & Paterno, F. (2008). Applying Web usability criteria for vision-impaired users: Does it really improve task performance? *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(1), 17-47.
- Leuthold, S., Bargas-Avila, J. A., & Opwis, K. (2008). Beyond web content accessibility guidelines: Design of enhanced text user interfaces for blind internet users. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(4), 257-270.
- Levesque, V. (2005). *Blindness, Technology and Haptics*. Montreal, Canada: McGill University
- Lhermey, C. (2006). *Traitement des messages vocaux d'aide aux déplacements en autonomie des personnes déficientes visuelles*. (Master), Université Lumière Lyon 2.
- Lin, D.-Y. M. (2003). Hypertext for the aged: effects of text topologies. *Computers in Human Behavior*, 19, 201-209.
- Logie, R. H. (2011). The functional organization and capacity limits of working memory. *Current Directions in Psychological Science*, 20(4), 240-245.
- Loranger, H., Schade, A., & Nielsen, J. (2002). Usability of Rich Internet Applications and Web-Based Tools. Récupéré le 18 mars 2013, de <http://www.nngroup.com/reports/flash>
- Magnusson, C., Tan, C., & Yu, W. (2006). Haptic access to 3D objects on the web. *Eurohaptics*. Paris.
- Maguire, M., & Bevan, N. (2002). *User Requirements Analysis: A Review of Supporting Methods*. Paper presented at the Proceedings of the IFIP 17th World Computer Congress - TC13 Stream on Usability: Gaining a Competitive Edge.

- Marin-Lamellet, C., Pachiaudi, G., Huska-Chiroussel, V., Goupil, C., Blanchet, V., Auriol-Mercier, A., et al. (2003). Besoins en information et orientation des voyageurs aveugles et malvoyants dans les transports collectifs. Projet BIOVAM : INRETS.
- Maurel, F. (2004). *De l'écrit à l'oral : analyses et générations*. Paper presented at the 11ème Conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN'2004), Fès, Maroc.
- Maurel, F., Lemarié, J., & Vigouroux, N. (2003). *Evaluation cognitive d'une représentation du texte pour sa présentation multimodale*. Paper presented at the Conférence Internationale sur le Document Electronique (CIDE 6), Caen.
- Maurel, F., Luc, C., Vigouroux, N., Mojahid, M., Virbel, J., & Nespoulous, J.-L. (2002). *Transposition à l'oral des structures énumératives à partir de leurs paramètres formels*. Paper presented at the Inscription Spatiale du Langage structure et processus (ISLsp) 2002, Toulouse.
- McNamara, D. S., & Shapiro, A. M. (2005). Multimedia and hypermedia solutions for promoting metacognitive engagement, coherence, and learning. *Journal of Educational Computing Research*, 33(1), 1-29.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Montagné, G. (2007). L'inclusion des personnes aveugles et malvoyantes dans le monde d'aujourd'hui. Paris: Ministère du travail, des relations sociales et de la solidarité.
- Negro, I., & Chanquoy, L. (1996). La charge cognitive permet-elle d'expliquer les erreurs d'accord sujet-verbe chez des adultes ? *Psychologie Française*, 41(4), 355-363.
- Netcraft (2014). "July 2014 Web Server Survey" [Sondage]. Récupéré le 07 août 2014, de <http://news.netcraft.com/archives/2014/06/06/june-2014-web-server-survey.html>
- Nevile, L. (2005). *User-centred accessibility supported by distributed, cumulative authoring*. Paper presented at the The 11th AusWeb conference 2005, Lismore, Australia.
- Newell, A. F., & Gregor, P. (2000). *"User sensitive inclusive design" - in search of a new paradigm*. Paper presented at the Proceedings on the 2000 conference on Universal Usability, Arlington, Virginia, USA.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Boston: Academic Press.
- Nielsen, J. (1994). Heuristic evaluation. In J. Nielsen & R. L. Mack (Ed.), *Usability Inspection Methods* (pp. 25-62). New York: John Wiley and Sons.
- Nielsen, J. (2000). *Designing Web Usability*. Indianapolis: New Riders Publishing.
- Olive, T. (2004). Working Memory in Writing: Empirical Evidence From the Dual-Task Technique. *European Psychologist*, 9(1), 32-42.
- Olive, T., & Piolat, A. (2002). Suppressing visual feedback in written composition: Effects on processing demands and coordination of the writing processes. *International Journal of Psychology*, 37(4), 209-218.
- Olive, T., & Piolat, A. (2005). Le rôle de la mémoire de travail dans la production écrite de textes. *Psychologie Française*, 50(3), 373-390.
- Organisation Mondiale de la Santé (2001). *Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (CIH-2)*. Genève : OMS. Récupéré le 6 juillet 2014, de <http://dcalin.fr/fichiers/cif.pdf>
- Organisation Mondiale de la Santé (2008). *Classification Statistique Internationale des Maladies et des Problèmes de Santé Connexes (CIM-10)*, (Vol. 2). Récupéré le 6 juillet 2014, de

http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/Content/statichtml/ICD10Volume2_fr_2008.pdf

- Papadopoulos, K., Argyropoulos, V. S., & Kouroupetroglou, G. (2008). Discrimination, perception and comprehension of synthetic speech by visually impaired students: the case of similar acoustic patterns. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 102, 420-429.
- Phipps, L., & Kelly, B. (2006). Holistic approaches to e-learning accessibility. *ALT-J Association for Learning Technology Journal*, 14(1), 69-78.
- Pietrini, P., Furey, M. L., Ricciardi, E., Gobbin, M. I., Wu, W.-H. C., Cohen, L., Guazzelli, M., & Haxby, J. V. (2004). *Beyond sensory images: Object-based representation in the human ventral pathway*. Paper presented at the Proceedings of the National Academy of Science, Princeton, New Jersey, USA.
- Piolat, A., Roussey, J.-Y., Olive, T., & Farioli, F. (1996). Charge mentale et mobilisation des processus rédactionnels: Examen de la procédure de Kellogg. In A. Tricot & L. Chanquoy (Ed.), *La charge mentale, Psychologie française* (Vol. 41-4, pp. 339-354): Dunod.
- Pirolli, P., & Card, S. (1999). Information foraging. *Psychological Review*, 106, 643-675.
- Röder, B., & Rösler, F. (2003). Memory for environmental sounds in sighted, congenitally blind and late blind adults: Evidence for cross-modal compensation. *International Journal of Psychophysiology*, 50(1), 27-39.
- Röder, B., Rösler, F., & Neville, H. J. (2000). Event-related potentials during auditory language processing in congenitally blind and sighted people. *Neuropsychologia*, 38(11), 1482-1502.
- Röder, B., Rösler, F., & Neville, H. J. (2001). Auditory memory in congenitally blind adults: A behavioral-electrophysiological investigation. *Cognitive Brain Research*, 11(2), 289-303.
- Rodgers, S., Jin, Y., Rettie, R., Alpert, F., & Yoon, D. (2005). Internet Motives of Users in the United States, United Kingdom, Australia, and Korea: A Cross-Cultural Replication of the WMI. *Journal of Interactive Advertising*, 6(1), 61-67.
- Rokem, A., & Ahissar, M. (2009). Interactions of cognitive and auditory abilities in congenitally blind individuals. *Neuropsychologia*, 47(3), 843-848.
- Rossi, J.-P. (1997). *L'approche expérimentale en psychologie*. (7ème ed.). Paris: Dunod.
- Rouet, J.-F. (2003). La compréhension des documents électroniques. In D. Gaonac'h & M. Fayol (Ed.), *Aider les élèves à comprendre*. Paris: Hachette Education.
- Rouet, J.-F., & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte : vers un modèle des processus cognitifs. *Hypertextes et Hypermédiat*, 57-74.
- Roussey, J.-Y., & Piolat, A. (2003). Prendre des notes et apprendre. Effet du mode d'accès à l'information et de la méthode de prise de notes. *Arob@se 7* (Vol. 1-2, pp. 47-68). <http://www.arobase.to/somm.htm>
- Rubio, S., Diaz, E., Martin, J., & Puente, J. M. (2004). Evaluation of subjective mental workload: A comparison of SWAT, NASA-TLX, and workload profile methods. *Applied Psychology: An International Review*, 53(1), 61-86.
- Sander, M.-S., Bournot, M.-C., Lelièvre, F., & Tallec, A. (2005). Les personnes ayant un handicap visuel. Les apports de l'enquête Handicaps - Incapacités - Dépendances. . *Etudes et résultats de la DREES*, 416.
- Senette, C., Buzzi, M. C., Buzzi, M., & Leporini, B. (2009). *Enhancing Wikipedia Editing with WAI-ARIA*. Paper presented at the 5th Symposium USAB 2009, LNCS 5889, Springer, Heidelberg.

- Schacter, D. L. (1999). *A la recherche de la mémoire. Le passé, l'esprit et le cerveau*. Bruxelles: De Boeck.
- Schacter, D. L. (2003). *Science de la mémoire: oublier et se souvenir*: O. Jacob.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84(1), 1-66.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. New-York: Cambridge University Press.
- Shallice, T., & Warrington, EK. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: a neuropsychological study. *Q. J. Exp. Psychol.* 22:261-73
- Shinohara, K., & Tenenber, J. (2009). A blind person's interactions with technology. *Communications of the ACM*, 52(8), 58-66.
- Sloan, D., Heath, A., Hamilton, F., Kelly, B., Petrie, H., & Phipps, L. (2006). *Contextual web accessibility - Maximizing the benefit of accessibility guidelines*. Paper presented at the W4A at the 15th International World Wide Web Conference 2006, Edinburgh, UK.
- Smartlines Systemes. (2005). Livre blanc : "Accessibilité du Web : synthèse de l'enquête". Récupéré le 20 juillet 2010, de http://www.smartline-systems.com/Livre-Blanc-et-Enquete-sur-l-Accessibilite-du-Web_a985.html
- Smith, P. A. (1996). Towards a practical measure of hypertext usability. *Interacting with Computers*, 8(4), 365-381.
- Soergel, D. (1994). Indexing and retrieval performance: The logical evidence. *American Society for Information Science*, 45(8), 589-599.
- Sperandio, J.-C. (1980). *La psychologie en ergonomie*. Paris: PUF.
- Sperandio, J.-C. (2007). Concevoir des objets techniques pour une population normale, c'est-à-dire comprenant aussi des personnes handicapées ou très âgées. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 9(2). Récupéré le 20 juillet 2014, de <http://pistes.revues.org/2975>
- Sperandio, J.-C., Uzan, G., & Jobard, N. (2002). Difficultés rencontrées par les aveugles et déficients visuels pour la consultation de sites WEB sur les transports et le tourisme. Paris: Institut pour la Ville en Mouvement.
- Stankov, L., & Spilbury, G. (1978). The measurement of auditory abilities of blind, partially sighted, and sighted children. *Applied Psychological Measurement*, 2(4), 491-503.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138.
- Tasir, Z., & Pin, O. C. (2012). Trainee teachers' mental effort in learning spreadsheet through self-instructional module based on cognitive load theory. *Computers & Education*, 59(2), 449-465.
- Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Éducation*, 3, 37-64.
- Tricot, A., & Chanquoy, L. (1996). La charge mentale, « vertu dormitive » ou concept opérationnel ? Introduction. *Psychologie Française*, 41(4), 313-318.
- Tricot, A., Puigserver, E., Berdugo, D., & Diallo, M. (1999). The validity of rational criteria for the interpretation of user-hypertext interaction. *Interacting with Computers*, 12, 23-36.
- Tulving, E. (2001). Episodic memory and common sense: How far apart? *Episodic memory: New directions in research*. (pp. 269-287). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Tulving, E. (2002). Episodic memory: From mind to brain. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 1-25.

- Ünal, A. a. B., Steg, L., & Epstude, K. (2012). The influence of music on mental effort and driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 48, 271-278.
- Uzan, G. (1997). *La lecture par ordinateur de documents écrits : du vocal à l'oral*. In : Dix ans du Séminaire « Image, oral, écrit et nouvelles technologies ». Paris: L'Harmattan.
- Uzan, G. (2005). *Ergonomie cognitive du handicap visuel : une contribution à la conception d'aides informatiques*. (Thèse), Université Paris Descartes, Paris.
- Uzan, G., M'Ballo, S., Wagstaff, P., & Dejeammes, M. (2011). *SOLID: A Model of the information requirements in transport systems for sensory impaired people*. Paper presented at the 18th World Congress on Intelligent Transport Systems, Orlando, Florida, USA.
- Van Der Linden, M., & Colette, F. (2002). Attention et mémoire de travail. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni, & P. Azouvi (Ed.), *La neuropsychologie de l'attention*. Marseille: Solal.
- Van Oostendorp, H., & Juvina, I. (2007). Using a cognitive model to generate web navigation support. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65(10), 887-897.
- Vanlierde, A., & Wanet-Defalque, M.-C. (2005). The Role of Visual Experience in Mental Imagery. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 99(3), 165-178.
- Wästlund, E., Norlander, T., & Archer, T. (2008). The effect of page layout on mental workload: A dual-task experiment. *Computers in Human Behavior*, 24(3), 1229-1245.
- Weygand, Z. (2003). *Vivre sans voir : les aveugles dans la société française, du moyen âge au siècle de Louis Braille*. Paris: Créaphis.
- Wilson, D., Sperber, D., Kant, E., & Foucault, M. (1979). L'interprétation des énoncés. *Communications*, 30, 80-94.
- Withagen, A., Kappers, A. M. L., Vervloed, M. P. J., Knoors, H., & Verhoeven, L. (2013). Short term memory and working memory in blind versus sighted children. *Research in Developmental Disabilities*, 34(7), 2161-2172.
- Wood, P. H. N. (1980). *Classification of impairments, disabilities and handicaps*. Geneva: OMS.
- World Health Organization (2012). Global data on visual impairments 2010. Récupéré le 6 juillet 2014, de <http://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf>
- Xie, B., & Salvendy, G. (2000). Prediction of mental workload in single and multiple tasks environments. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 4(3), 213-242.
- Zumbach, J., & Mohraz, M. (2008). Cognitive load in hypermedia reading comprehension: Influence of text type and linearity. *Computers in Human Behavior*, 24(3), 875-887.

Annexes de l'observation armée

Annexe 1. Questionnaire de sélection des participants

- 1- Vous avez :
 - a. Moins de 18 ans → **STOP**
 - b. Entre 18 et 55 ans → **N=15**
 - c. Plus de 55 ans → **STOP**
- 2- Maîtrisez-vous correctement la langue maternelle française ?
 - a. Oui
 - b. Non → **STOP**
- 3- Etes-vous non-voyants ou malvoyants ?
 - a. Non-voyant
 - b. Malvoyant : quel degré ? Si acuité visuelle > 1/50^{ème} → **STOP**
 - c. Voyants
- 4- Quelle est votre fréquence d'utilisation des systèmes informatiques ?
 - a. Quotidienne
 - b. Trois fois par semaine
 - c. Une fois par semaine
 - d. Une à deux fois par mois
 - e. Jamais (ou moins qu'une fois par mois) → **STOP**
- 5- Quelle est votre fréquence moyenne d'utilisation d'Internet ?
 - a. Quotidienne
 - b. Trois fois par semaine
 - c. Une fois par semaine
 - d. Une à deux fois par mois
 - e. Une fois tous les trois mois
 - f. Jamais (ou moins qu'une fois par mois) → **STOP**
- 6- Quel lecteur d'écran utilisez-vous ?
 - a. JAWS
 - b. NVDA
 - c. Windows eye
 - d. Autres : lequel ?
- 7- Quel système d'exploitation utilisez-vous ?
 - a. Windows (XP, vista, 7, etc.)
 - b. Mac
 - c. Linux
 - d. Autres : lequel ?
- 8- Quel navigateur web utilisez-vous ?
 - a. Internet Explorer (quelle version ?)
 - b. Mozilla (quelle version ?)
 - c. Safari
 - d. Opera
 - e. Chrome
 - f. Autres : lequel ?
- 9- Utilisez-vous Internet pour envoyer et recevoir du courriel ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine

- d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 10- Utilisez-vous les moteurs de recherche ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 11- Utilisez-vous Internet pour lire les actualités ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 12- Utilisez-vous Internet pour faire vos achats en ligne ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 13- Utilisez-vous les réseaux sociaux ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais

Merci d'avoir répondu à ces questions. Vous faites potentiellement partie du panel d'utilisateurs recherchés. Nous allons valider votre profil et je reviendrai vers vous pour vous confirmer ou infirmer la possibilité de passer le test.

N.B. : Les différentes éventualités de réponses étaient énoncées qu'à la première occurrence et à titre d'exemple. Les participants pouvaient donner la réponse qu'il souhaitait.

Lorsque le participant donnait une réponse qui conduisait à un STOP, il était exclu de l'échantillon.

La question 6 n'a pas été posée pour les participants voyants.

Annexe 2. Pré-questionnaire

- Quel âge avez-vous ?
- De quelle nationalité êtes-vous ?
- Quel est votre niveau d'étude ?
- Avez-vous une activité professionnelle ?
- Si oui, laquelle ?
- Etes-vous aveugles congénitaux ou tardifs ?
- Dans le cas des aveugles tardifs, votre cécité était-elle progressive ou brutale ?
- Si cela ne vous dérange pas, pouvez-vous indiquer la raison de cette cécité.
- Quel lecteur d'écran utilisez-vous ?
 - a. JAWS
 - b. NVDA
 - c. Windows eye
 - d. Autres : lequel ?
- Quel système d'exploitation utilisez-vous ?
 - a. Windows (XP, vista, 7, etc.)
 - b. Mac
 - c. Linux
 - d. Autres : lequel ?
- Quel navigateur web utilisez-vous ?
 - a. Internet Explorer (quelle version ?)
 - b. Mozilla (quelle version ?)
 - c. Safari
 - d. Opera
 - e. Chrome
 - f. Autres : lequel ?
- Quelle est votre fréquence d'utilisation des systèmes informatiques ?
 - a. Quotidienne
 - b. Trois fois par semaine
 - c. Une fois par semaine
 - d. Une à deux fois par mois
 - e. Jamais (ou moins qu'une fois par mois)
- Quelle est votre fréquence moyenne d'utilisation d'Internet ?
 - a. Quotidienne
 - b. Trois fois par semaine
 - c. Une fois par semaine
 - d. Une à deux fois par mois
 - e. Une fois tous les trois mois
 - f. Jamais (ou moins qu'une fois par mois)
- Utilisez-vous Internet pour envoyer et recevoir du courriel ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- Utilisez-vous les moteurs de recherche ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine

- e. Oui, une à deux fois par mois
- f. Oui, une fois tous les trois mois
- g. Jamais
- Utilisez-vous Internet pour lire les actualités ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- Si vous lisez les actualités sur le web, quel support utilisez-vous ?
 - a. Revues en ligne (Journaux, magazines, etc.)
 - b. Portail web (yahoo, Windows live, etc.)
 - c. Moteur de recherche Google
 - d. Les sites des chaînes TV (TF1, France 2, France 3, etc.)
 - e. Flux RSS
 - f. Autres : lesquelles ?
- Utilisez-vous le site d'hébergement de vidéos Youtube ou Dailymotion pour écouter de la musique ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- Si vous utilisez Internet pour réaliser des achats, quels genres d'achats faites-vous en ligne (Préciser le site que vous utilisez pour chaque catégorie et la fréquence d'utilisation) ?
 - a. Alimentaires (Auchan, carrefour, etc.)
 - b. Musicaux (Fnac, virginmega, etc.)
 - c. Loisirs (sport : decathlon, livres audio : audible, etc.)
 - d. Vestimentaires (La redoute, 3suisses, etc.)
 - e. Mobiliers (Ikea, Ulbadi, etc.)
 - f. Autres : lesquels ? (Ebay, Priceminister, Amazon, etc.)
- Si vous utilisez des sites de distribution musicale, lesquels ?
 - a. Fnac
 - b. Virginmega
 - c. Apple (itunes)
 - d. Cdiscount
 - e. alapage
 - f. Carrefour
 - g. Amazon
 - h. Priceminsiter
 - i. Ebay
 - j. Autres : lesquels ?
 - k. Jamais
- Ecoutez-vous des extraits de musiques avant d'acheter la chanson ou l'album ?
 - a. Oui
 - b. Non
- Avez-vous vos sites d'achats en ligne dans vos favoris ?
 - a. Oui
 - b. Non

- Si vous utilisez les réseaux sociaux, lesquels utilisez-vous ?
 - a. Facebook
 - b. Twitter
 - c. Myspace
 - d. Friendster
 - e. Bebo
 - f. Windows live spaces
 - g. Orkut
 - h. Hi5
 - i. Skyrock blog
 - j. Viadeo
 - k. Trombi.com
 - l. Copainsdavant
 - m. Autres : lesquelles ?
- Dans quel but, utilisez-vous les réseaux sociaux ?
 - a. Pour partager du contenu
 - b. Pour consulter les contenus des autres utilisateurs
 - c. Pour communiquer en ligne avec vos amis
 - d. Pour discuter par mail avec vos amis
 - e. Pour retrouver des anciens amis
 - f. Autres : ...
- Avez-vous votre réseau social dans vos favoris ?
 - a. Oui
 - b. Non
- Consultez-vous des forums ?
 - a. Oui, pour donner mon opinion
 - b. Oui, mais je ne fais que lire les discussions
 - c. Jamais
- Dans le cas où vous consultez des forums, à quelle fréquence ?
 - a. Plusieurs fois par jour
 - b. Une fois par jour
 - c. Trois fois par semaine
 - d. Une fois par semaine
 - e. Une à deux fois par mois
 - f. Une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- Utilisez-vous les flux RSS ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- Utilisez-vous les boutons raccourcis mis à votre disposition (partage sur les réseaux sociaux comme Facebook ou Twitter, ou sur les blogs comme Skyrock, etc.) ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais

- Avez-vous l'habitude de commenter les musiques, les vidéos ou autres ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- Utilisez-vous des étiquettes (Tags) pour annoter des musiques ou autres ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- Publiez-vous souvent du contenu que vous avez créé vous- même sur le Web ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- Partagez-vous souvent du contenu sur le Web ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- Quels autres accessoires (widgets) utilisez-vous ? (question libre)

N.B : Les questions 6, 7, 8 et 11 n'étaient pas posées aux participants voyants.

Annexe 3. Questionnaire de satisfaction « System Usability Scale »

Sur une échelle de 1 à 5 (de pas du tout d'accord à tout à fait d'accord), les participants devaient exprimer leur accord/désaccord concernant les affirmations suivantes :

- J'aimerais utiliser ce site prochainement
- Je trouve ce site beaucoup trop complexe (trop de fonctionnalités, choix...)
- Je trouve que ce site est très facile à appréhender
- Je pense avoir besoin d'être guidé pour apprendre à utiliser correctement ce site web
- Je trouve que les différentes fonctionnalités de ce site sont très faciles à utiliser
- Je trouve que ce site contient beaucoup d'incohérences
- J'ai l'impression que n'importe qui pourrait apprendre à utiliser ce site très facilement
- Je trouve l'usage de ce site fastidieux (trop de boutons)
- Je me sens sûr de moi quand je manipule ce site
- Je pense avoir encore pas mal de choses à apprendre pour pouvoir profiter pleinement de ce site web

A la fin de ces 10 questions (uniquement pour l'observation armée), une question a été ajoutée afin d'obtenir de manière qualitative le ressenti des participants sur le site web avec lequel ils naviguaient.

La question est :

Quels sont les 3 adjectifs, positifs ou négatifs, que vous emploieriez pour décrire le site web ?

Annexe 4. Consignes des scénarios

Scénario du site web Fnac :

Tâche 1 : Acheter l'album "Les marquises" de Jacques Brel. La tâche consiste à trouver l'album, à l'ajouter dans son panier et passer la commande mais bien entendu comme nous n'allons pas vous faire acheter réellement l'album aujourd'hui. Je vais vous interrompre lors de l'identification du compte.

Tâche 2 : Trouver l'album "Made in Love" de Zazie et écoutez les chansons.

Tâche 3 : Trouver un dictaphone numérique de moins 59,90 euros qui soit compatible avec le système d'exploitation Macintosh operating system. (La réponse est le dictaphone Philips LFH-612)

Scénario du site web Facebook :

Tâche 1 : Vous souhaitez publier un message sur votre mur de profil (statut) : « J'ai participé à une étude intéressante aujourd'hui. ».

Tâche 2 : Consulter vos messages et répondre si vous en avez. (Il y en a un de Claude Durant.)

Tâche 3 : Vous souhaitez partager que vous aimez « Florence Foresti » en devenant Fan sur sa page.

Tâche 4 : Vous savez que votre ami « Camille Sonita » vient de créer son compte Facebook. Vous souhaitez l'ajouter dans vos amis.

Tâche 5 : Votre ami « Stéphanie Giraud » vient de se connecter en ligne (l'ami en question lui dit bonjour). Vous souhaitez lui dire bonjour. (Tâche annulée)

Tâche 6 : Vous souhaitez connaître les anniversaires de vos amis. Allez à la rubrique appropriée. C'est justement l'anniversaire de votre ami « Claude Durant ». Souhaitez-le-lui.

Annexe 5. Codage des vidéos d'un des participants déficients visuels

Site web Fnac :

Tâche 1 : Acheter l'album "Les marquises" de Jacques Brel. (8'00)

Départ : page d'accueil

Chercher l'album

Fh (menu haut 1)
nFb (menu haut 1)
K (Touche 0) + F7 (pour ouvrir une boîte dialogue)
nFb (menu haut 1)
Entrée (sur le lien Mon Panier)
Fh (menu haut 1)
Tab (menu haut 1)
Fh (menu haut 1)
Tab (menu haut 1)
Fh rapide (menu haut 1)
nFb (menu haut 1)

Atteindre le champ de saisie Recherche

K (Touche 0) + Fh rapide
nFb (menu haut 1)
Tab (menu haut 1)
nFbh (menu haut 1)
Ctrl + K (touche 7)
nFb (menu haut 1)
nTab (menu haut 1, 2)

Choisir la catégorie du produit à acheter

nFbh
Entrée (sur la catégorie Musique)

Atteindre le champ de saisie Recherche

Fbh

Saisir la requête

Répétition du titre de l'album.

nK « Jacques Brel Les marquises »
Fh (pour lire ce qu'il a écrit)
Entrée (pour lancer la recherche)

Ajouter l'album au panier

K (touche 0)
Fh (menu haut 2)
nFb (menu haut 2, 3)
K (touche 0) + Fb (pour activer la lecture automatique) (menu haut 3, gauche, du contenu)
Fhbh (menu du contenu)
Entrée (sur le lien Ajouter au Panier)

Passer la commande

Lecture automatique (menu haut 1, 2, 3, gauche, du contenu)
Fbh (menu du contenu)
nFbh (menu du contenu)
Entrée (sur le lien Passer la commande)

Tâche 2 : Trouver l'album "Made in Love" de Zazie et écouter-le. (20'24) en enlevant le temps de perdu du au fait qu'il n'a pas la même consigne, cela fait (17'38)

Départ : page d'accueil

Chercher l'album

nFbh (menu haut 1)
Entrée (sur le lien Téléchargement)
Fh
K (touche 0) + Fb (pour activer la lecture automatique) (menu haut 1, 2, 3, gauche)
nFh (menu de gauche)
Entrée (sur le lien Musique MP3)
nFhbhbhbhb (c'est silencieux)
2Tab
F5 (pour actualiser)
nFhbh (c'est silencieux)
Alt + Tab
nFh (menu haut 2, 1)
nFb (menu haut 1)
K (touche 0) + Fb (pour activer la lecture automatique) (menu haut 1, 2, 3, gauche)
2Maj + Tab (menu gauche)
Tab (menu gauche)
Fb (menu gauche)
3Fh (menu gauche)
Entrée (sur le lien Variétés françaises)
nFb
Tab

L'expérimentatrice lui conseille de faire comme n'importe quelle recherche pour trouver l'album de Zazie.

Atteindre le champ de saisie Recherche

K (touche 0) + F7 (pour ouvrir une boîte de dialogue)
nK (touche R) (pour chercher Rechercher)
nK (touche V)
Entrée (sur le lien Ecouter)

Cela a ouvert une nouvelle fenêtre pour écouter la musique.

nFhb
nEffacer

L'expérimentatrice lui conseille de fermer cette nouvelle fenêtre.

Alt + F4 (pour fermer la fenêtre)
Ctrl + K (touche 7)
Fbh
Ctrl + K (touche 7)
K (touche 7)
Fbh
nFb

L'expérimentatrice lui dit de retourner au début pour trouver le champ de saisie Recherche.

nFb (menu haut 1, 2)

Saisir la requête

nK « Zazie Made in love »

Fh (pour lire le dernier mot qu'il a écrit)

Entrée (pour lancer la recherche)

Atteindre l'album de Zazie

2Tab

3Fb

K (touche 0) + Fb (pour activer la lecture automatique)

Cela ne fonctionne pas.

Fbhb

K (touche 7)

nFbhb

K (touche 7)

2Fb

2Alt + Tab

nTab (lit le navigateur web)

Entrée (sur le premier item du site : Zazie

Made in love votre recherche Mp3 avec

Fnac)

2Fh

Fbh

K (touche 0) + Fh (pour activer la lecture automatique)

nTab (menu haut 1, 2)

Il est sur la zone d'édition, il demande s'il va rechercher dans Téléchargement. L'expérimentatrice lui explique qu'il a déjà trouvé l'album, qu'il doit continuer pour l'atteindre afin de pouvoir l'écouter.

nTab

Cela ne fonctionne pas. Il est bloqué. Il appuie sur toutes les flèches mais cela ne fait rien.

Il demande s'il réactualise. Réponse positive.

F5

K (touche 0) + K (touche -)

Fb

nFh

K (touche +)

C'est silencieux.

Fh

2Alt + Tab

Fh rapide

L'expérimentatrice le rassure en lui disant que c'est normal de lire tous les sommaires à chaque fois.

Fbh (menu haut 1)

nFb (menu haut 1, 2, 3)

K (touche 0) + Fh (pour activer la lecture automatique) (menu haut 3, gauche, du contenu)

L'expérimentatrice lui dit qu'il va bientôt atteindre l'album et le prévient quand il est au bon endroit. Il dit qu'il souhaite l'écouter avant. L'expérimentatrice lui explique qu'il doit cliquer sur le titre de l'album pour cela et donc retourner un peu en arrière.

nFh

Demande de confirmation pour cliquer sur le titre de l'album. Réponse positive.

Entrée (sur le titre de l'album)

Écouter l'album

Lecture automatique (menu haut 1, 2, 3, du contenu)

Comme il parle, l'expérimentatrice lui dit que le lien est bientôt arrivé pour ne pas qu'il le rate.

K (touche 5) (le lecteur d'écran dit S)

Mauvaise manipulation : le lecteur d'écran cherche les liens commençant par S.

Fh

Maj + Tab

Entrée (sur le lien Ecoutes)

L'expérimentatrice se rend compte que cela ne lit pas les titres des chansons.

nMaj Tab

L'expérimentatrice lui dit qu'il a dépassé le lien. Il doit redescendre.

nFb

35 min Fin de la tâche s'il avait eu la même consigne que les autres participants. (Consigne changée après le premier participant).

Il demande s'il doit aller dans le contenu de l'album numérique. Réponse positive.

Entrée (sur le lien du contenu de l'album numérique)

nFb (menu haut 1)

K (touche 0) + Fh (pour activer la lecture automatique) (menu haut 1, 2, 3, du contenu)

L'expérimentatrice lui explique qu'il va devoir recommencer et aller de nouveau dans la partie Ecoutes.

Ctrl (pour faire taire le lecteur d'écran)

Fbhb

K (touche 0) + K (touche 5)

K (touche 0) + K (touche -) (pour activer le mode Jaws à PC virtuel)

K (touche \) (pour faire clic gauche le lien Ecoutes)

K (touche +)

Fbh (menu du contenu)

Entrée (sur le lien Ecoute de l'album made in love)

nFb (menu du contenu)

Entrée (sur le lien Jouer l'extrait)

Tâche 3 : Trouver un dictaphone numérique de 59,90 euros qui soit compatible avec le système d'exploitation Macintosh operating system. (26'00)

Départ : page d'accueil

Chercher le dictaphone en question

nFhb (menu haut 1, 2)

Fh (menu haut 2)

nFb (menu haut 2)

Fh (menu haut 2)

Entrée (sur le lien 1 article)

L'expérimentatrice lui dit qu'il est dans son panier. Il en déduit que ce n'est pas la bonne méthode.

Chercher la bonne catégorie pour les dictaphones

Lecture automatique (menu haut 1, 2, 3)

K (touche 5) (le lecteur d'écran dit H)

Fhbh (menu haut 3)

Demande de confirmation si c'est la bonne catégorie. L'expérimentatrice répond que cela peut être ça.

Entrée (sur le lien Son Hifi)

Il commence à fatiguer.

nFb (menu haut 2, 3, gauche)

Entrée (sur le lien Dictaphone radio CD)

Il demande s'il est bien dans la catégorie dictaphone. Réponse positive

Trouver le dictaphone en question

nFb (menu haut 1)

K (touche 0) + Fb (menu gauche)

Ctrl (pour faire taire le lecteur d'écran)

Maj + Tab

Il demande s'il doit aller dans 99 euros. L'expérimentatrice lui explique que c'est un produit à 99,90 euros. Il demande s'il doit aller dans « tous les produits ». Réponse positive.

nFbh (menu haut gauche)

Entrée (sur le lien tous les dictaphones)

Lecture automatique (menu du contenu)

Ctrl (pour faire taire le lecteur d'écran)

7Fh

nFb

Entrée (sur le lien Prix décroissant)

Demande de confirmation pour le tri. L'expérimentatrice lui explique c'est mieux de trier de façon décroissante car il aura les prix les moins chers aux prix les plus chers.

Lecture automatique (menu du contenu)

Fghb

Il est revenu à la page précédente.

Fhb

Entrée (sur le lien Tous les dictaphones)

nFb (menu haut 1)

K (touche 0) + Fb (pour activer la lecture automatique) (menu haut 2, 3, gauche)

nFb (menu gauche)

Il souhaite cliquer de nouveau sur le lien Dictaphone Radio CD. L'expérimentatrice l'interrompt pour ne pas perdre de temps et lui dit qu'il est déjà sur la bonne page.

nFb (menu gauche, de contenu)

Entrée (sur le lien Prix croissant)

nFb (menu du contenu)

L'expérimentatrice le prévient qu'il a dépassé les articles.

Ctrl + K (touche 7)

nFb (menu haut 1, 2, 3, gauche)

K (touche 0) + Fb (pour activer la lecture automatique) (menu gauche, du contenu)

K (touche 5)

K (touche 0) + K (touche 8)

nFb (menu du contenu)

Entrée (sur le lien du dictaphone)

Annexe 6. Résultats des participants au questionnaire de satisfaction

Résultats des participants déficients visuels pour le site web Fnac :

	Participant					
	1	2	3	4	5	6
J'aimerais utiliser ce site prochainement	2	4	5	1	2	5
Je trouve ce site beaucoup trop complexe (trop de fonctionnalités, choix...)	5	3	3	5	4	5
Je trouve que ce site est très facile à appréhender	3	2	3	1	2	2
Je pense avoir besoin d'être guidé pour apprendre à utiliser correctement le site web Fnac	1	2	5	5	1	3
Je trouve que les différentes fonctionnalités de ce site sont très faciles à utiliser	1	3	3	1	2	3
Je trouve que ce site contient beaucoup d'incohérences	3	2	1	4	3	1
J'ai l'impression que n'importe qui pourrait apprendre à utiliser ce site très facilement	4	3	3	1	2	1
Je trouve l'usage de ce site fastidieux (trop de boutons)	5	3	3	5	3	5
Je me sens sûr de moi quand je manipule ce site	2	4	1	1	1	2
Je pense avoir encore pas mal de choses à apprendre pour pouvoir profiter pleinement du site web Fnac	3	2	5	5	4	5
calcul SUS	37,5	60	45	2,5	35	35
Quels sont les 3 adjectifs, positifs ou négatifs, que vous emploieriez pour décrire le site web Fnac ?	Détaillé complexe fouilli	Dense accessible complexe	Inaccessible indépendance utile	Complicé Inaccessible pas rapide	Riche, utile inaccessible	Complicé lent Pas clair

Résultats des participants déficients visuels pour le site web Facebook :

	Participant					
	1	2	3	4	5	6
J'aimerais utiliser ce site prochainement	1	2	3	3	5	5
Je trouve ce site beaucoup trop complexe (trop de fonctionnalités, choix...)	5	4	5	2	4	4
Je trouve que ce site est très facile à appréhender	2	1	1	1	3	5
Je pense avoir besoin d'être guidé pour apprendre à utiliser correctement le site web Facebook	5	4	5	5	4	2
Je trouve que les différentes fonctionnalités de ce site sont très faciles à utiliser	1	2	1	4	2	5
Je trouve que ce site contient beaucoup d'incohérences	5	3	3	3	3	1
J'ai l'impression que n'importe qui pourrait apprendre à utiliser ce site très facilement	1	3	3	4	4	5
Je trouve l'usage de ce site fastidieux (trop de boutons)	5	4	5	2	5	1
Je me sens sûr de moi quand je manipule ce site	3	1	1	4	5	3
Je pense avoir encore pas mal de choses à apprendre pour pouvoir profiter pleinement du site web Facebook	2	5	5	5	2	3
<i>calcul SUS</i>	15	22,5	15	47,5	52,5	80
Quels sont les 3 adjectifs, positifs ou négatifs, que vous emploieriez pour décrire le site web Facebook ?	Abscons silencieux inaccessible	Fouilli peu ergonomique fascinant	Intéressant superficiel inaccessible	Complexe besoin d'apprentissage communication intelligente	Communicatif mal organisé accessible	Pratique, accessible performant

Résultats des participants déficients visuels pour le site web Fnac :

	Participant					
	1	2	3	4	5	6
J'aimerais utiliser ce site prochainement	2	3	3	4	4	4
Je trouve ce site beaucoup trop complexe (trop de fonctionnalités, choix...)	1	1	3	3	3	2
Je trouve que ce site est très facile à appréhender	5	5	3	3	4	5
Je pense avoir besoin d'être guidé pour apprendre à utiliser correctement le site web Fnac	1	1	2	1	3	2
Je trouve que les différentes fonctionnalités de ce site sont très faciles à utiliser	5	5	3	4	3	5
Je trouve que ce site contient beaucoup d'incohérences	1	1	3	2	3	1
J'ai l'impression que n'importe qui pourrait apprendre à utiliser ce site très facilement	3	4	2	3	3	4
Je trouve l'usage de ce site fastidieux (trop de boutons)	2	1	5	1	3	1
Je me sens sûr de moi quand je manipule ce site	5	5	2	4	4	4
Je pense avoir encore pas mal de choses à apprendre pour pouvoir profiter pleinement du site web Fnac	1	1	3	2	3	2
<i>calcul SUS</i>	85	92,5	42,5	72,5	57,5	85
Quels sont les 3 adjectifs, positifs ou négatifs, que vous emploieriez pour décrire le site web Fnac ?	Complet Interactif Rapide	Facile Cohérent Pratique	Intéressant Riche Large choix	Précis Lisibilité difficile	Fastidieux Coloré Informatif	Facile Pratique Bien organisé

Résultats des participants déficients visuels pour le site web Facebook :

	Participant					
	1	2	3	4	5	6
J'aimerais utiliser ce site prochainement	5	1	4	1	4	2
Je trouve ce site beaucoup trop complexe (trop de fonctionnalités, choix...)	1	1	3	5	2	4
Je trouve que ce site est très facile à appréhender	5	5	3	1	4	2
Je pense avoir besoin d'être guidé pour apprendre à utiliser correctement le site web Facebook	1	1	3	3	2	5
Je trouve que les différentes fonctionnalités de ce site sont très faciles à utiliser	5	3	3	2	4	2
Je trouve que ce site contient beaucoup d'incohérences	1	1	2	3	3	3
J'ai l'impression que n'importe qui pourrait apprendre à utiliser ce site très facilement	5	4	3	1	2	1
Je trouve l'usage de ce site fastidieux (trop de boutons)	1	1	2	1	3	3
Je me sens sûr de moi quand je manipule ce site	5	5	4	2	4	2
Je pense avoir encore pas mal de choses à apprendre pour pouvoir profiter pleinement du site web Facebook	1	1	3	4	3	5
<i>calcul SUS</i>	100	82,5	60	27,5	62,5	22,5
Quels sont les 3 adjectifs, positifs ou négatifs, que vous emploieriez pour décrire le site web Facebook ?	Pratique Interactif Populaire	Super Cool Inutile	Original Intéressant Intrusif	Surchargé Besoin d'apprentissage	Communicatif Innovant Fastidieux	Surchargé Difficile Besoin d'apprentissage

Annexes de l'enquête contextuelle

Annexe 7. Questionnaire de sélection des participants

- 1- Vous avez
 - a. Moins de 18 ans → **STOP**
 - b. Entre 18 et 65 ans → **N=15**
 - c. Plus de 65 ans → **STOP**
- 2- Maîtrisez-vous correctement la langue maternelle française ?
 - a. Oui
 - b. Non → **STOP**
- 3- Etes-vous non-voyants ou malvoyants ?
 - a. Non-voyant
 - b. Malvoyant : quel degré ? Si acuité visuelle > 1/50^{ème} → **STOP**
- 4- Quelle est votre fréquence d'utilisation des systèmes informatiques ?
 - a. Quotidienne
 - b. Trois fois par semaine
 - c. Une fois par semaine
 - d. Une à deux fois par mois
 - e. Jamais (ou moins qu'une fois par mois) → **STOP**
- 5- Quelle est votre fréquence moyenne d'utilisation d'Internet ?
 - a. Quotidienne
 - b. Trois fois par semaine
 - c. Une fois par semaine
 - d. Une à deux fois par mois
 - e. Une fois tous les trois mois
 - f. Jamais (ou moins qu'une fois par mois) → **STOP**
- 6- Quel lecteur d'écran utilisez-vous ?
 - a. JAWS
 - b. NVDA
 - c. Windows eye
 - d. Autres : lequel ?
- 7- Quel système d'exploitation utilisez-vous ?
 - a. Windows (XP, vista, 7, etc.)
 - b. Mac
 - c. Linux
 - d. Autres : lequel ?
- 8- Quel navigateur web utilisez-vous ?
 - a. Internet Explorer (quelle version ?)
 - b. Mozilla (quelle version ?)
 - c. Safari
 - d. Opera
 - e. Chrome
 - f. Autres : lequel ?
- 9- Utilisez-vous Internet pour envoyer et recevoir du courriel ?
 - a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine

- e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 10- Utilisez-vous les moteurs de recherche ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 11- Utilisez-vous Internet pour lire les actualités ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 12- Utilisez-vous Internet pour faire vos achats en ligne ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 13- Utilisez-vous les réseaux sociaux ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 14- Utilisez-vous les sites web de divertissement ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 15- Utilisez-vous pour réserver des billets (spectacle/train) ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
- 16- Utilisez-vous les forums ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour

- b. Oui, une fois par jour
- c. Oui, trois fois par semaine
- d. Oui, une fois par semaine
- e. Oui, une à deux fois par mois
- f. Oui, une fois tous les trois mois
- g. Jamais

17- Utilisez-vous les sites web utilitaires tels que le site de votre banque ou de votre consommation téléphonique ?

- a. Oui, plusieurs fois par jour
- b. Oui, une fois par jour
- c. Oui, trois fois par semaine
- d. Oui, une fois par semaine
- e. Oui, une à deux fois par mois
- f. Oui, une fois tous les trois mois
- g. Jamais

Merci d'avoir répondu à ces questions. Vous faites potentiellement partie du panel d'utilisateurs recherchés. Nous allons valider votre profil et je reviendrai vers vous pour vous confirmer ou infirmer la possibilité de participer à l'étude.

N.B : Les différentes éventualités de réponses étaient énoncées qu'à la première occurrence et à titre d'exemple. Les participants pouvaient donner la réponse qu'il souhaitait.

Annexe 8. Pré-questionnaire

- Quel âge avez-vous ?
- De quelle nationalité êtes-vous ?
- Quel est votre niveau d'étude ?
- Avez-vous une activité professionnelle ?
- Si oui, laquelle ?
- Etes-vous aveugles congénitaux ou tardifs ?
- Dans le cas des aveugles tardifs, votre cécité était-elle progressive ou brutale ?
- Si cela ne vous dérange pas, pouvez-vous indiquer la raison de cette cécité.

Annexe 9. Post-questionnaire

Pour finir, je vais vous poser quelques questions sur votre fréquence d'utilisation et sur vos motifs d'utilisation de certains types de sites web. Vous n'êtes, bien entendu, pas obligés de répondre si vous trouvez une question trop indiscreète. Etes-vous prêt ?

1. Si vous lisez les actualités sur le web, quel support utilisez-vous ? Précisez lequel.
 - a. Revues en ligne (Journaux, magazines, etc.)
 - b. Portail web (yahoo, Windows live, etc.)
 - c. Moteur de recherche Google
 - d. Les sites des chaînes TV (TF1, France 2, France 3, etc.)
 - e. Flux RSS
 - f. Autres : lesquelles ?
2. Dans quel but, utilisez-vous les sites web d'informations ?
 - a. Pour connaître la météo
 - b. Pour connaître les horaires du cinéma
 - c. Pour connaître les horaires d'autres établissements
 - d. Pour connaître les actualités générales
 - e. Pour connaître les actualités politiques
 - f. Pour connaître les actualités économiques
 - g. Pour connaître les actualités People
 - h. Pour connaître les actualités scientifiques
 - i. Pour connaître les actualités sportives
 - j. Pour connaître les actualités cinématographiques
 - k. Autres : ...
3. Dans quel but, utilisez-vous les sites web d'hébergement vidéo ?
 - a. Pour partager du contenu
 - b. Pour consulter les contenus des autres utilisateurs. Si oui, quels types de contenus (musique, film, conférence, etc.) ?
 - c. Pour donner votre avis
 - d. Autres : ...
4. Dans quel but, utilisez-vous le site web de votre banque ?
 - a. Pour consulter votre solde
 - b. Pour faire un virement
 - c. Autres : ...
5. Dans quel but, utilisez-vous le site web de votre opérateur téléphonique ?
 - a. Pour consulter votre consommation téléphonique
 - b. Pour ajouter une option
 - c. Pour supprimer une option
 - d. Pour consulter votre facture
 - e. Pour modifier vos informations personnelles
 - f. Autres : ...
6. Si vous utilisez Internet pour réaliser des achats, quels genres d'achats faites-vous en ligne ?
 - a. Alimentaires (Auchan, carrefour, etc.)
 - b. Musicaux (Fnac, virginmega, etc.)
 - c. Loisirs (sport : decathlon, livres audio : audible, etc.)
 - d. Vestimentaires (La redoute, 3suisses, etc.)
 - e. Mobiliers (Ikea, Ulbadi, etc.)
 - f. informatique (LCDC)
 - g. Autres : lesquels ? (Ebay, Priceminister, Amazon, etc.)
7. Si vous utilisez les réseaux sociaux, lesquels utilisez-vous ?
 - a. Facebook

- b. Twitter
 - c. Skype
 - d. MSN
 - e. Myspace
 - f. Friendster
 - g. Bebo
 - h. Windows live spaces
 - i. Orkut
 - j. Hi5
 - k. Skyrock blog
 - l. Viadeo
 - m. Trombi.com
 - n. Copainsdavant
 - o. Autres : lesquelles ?
8. Dans quel but, utilisez-vous les réseaux sociaux ?
- a. Pour partager du contenu
 - b. Pour consulter les contenus des autres utilisateurs
 - c. Pour communiquer en ligne avec vos amis
 - d. Pour discuter par mail avec vos amis
 - e. Pour retrouver des anciens amis
 - f. Autres : ...
9. Si vous utilisez, les forums, dans quel but utilisez-vous les forums ?
- a. Pour donner mon opinion
 - b. Uniquement pour lire les discussions
 - c. Je n'utilise pas les forums
10. Avez-vous des sites web dans vos favoris ? Si oui, lesquels ?
11. Utilisez-vous les flux RSS ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
12. Quel type de flux RSS utilisez-vous ?
13. Utilisez-vous les boutons raccourcis mis à votre disposition (partage sur les réseaux sociaux comme Facebook ou Twitter, ou sur les blogs comme Skyrock, etc.) ?
- a. Oui, plusieurs fois par jour
 - b. Oui, une fois par jour
 - c. Oui, trois fois par semaine
 - d. Oui, une fois par semaine
 - e. Oui, une à deux fois par mois
 - f. Oui, une fois tous les trois mois
 - g. Jamais
14. Avez-vous quelque chose à rajouter à ce qu'on vient de voir ?

A la fin de ce questionnaire, il a été demandé quelles étaient les technologies numériques utilisées pour chaque type de service en ligne cité dans ce questionnaire.

Annexe 10. Les consignes données et le discours tenu par l'enquêtrice

Discours de présentation :

Avant tout chose, je tenais à vous remercier pour votre participation à cette étude. Cette étude porte sur la navigation web des utilisateurs déficients visuels. Cette enquête contribuera à améliorer la compréhension du fonctionnement de l'utilisateur et de ses besoins dans le but d'améliorer, à terme, l'accessibilité de ces interfaces informatiques pour les déficients visuels. Vous allez devoir réaliser vos tâches habituelles sur le web en décrivant ce que vous faites tel que vous le feriez avec un apprenti désireux d'apprendre à naviguer sur Internet.

Notre but est d'observer vos comportements sur le Web, habitudes et pratiques, c'est-à-dire ce que vous allez faire et dire lors de cet entretien. Rester donc le/la plus naturelle possible comme vous le feriez en temps normal si je n'étais pas présente. D'autres participants, tout comme vous, vont effectuer le même exercice. Nous ne nous intéressons pas aux performances individuelles mais à l'ensemble des résultats de tous les participants. C'est au vu de ces résultats sur l'ensemble des participants que les traitements des données seront mis en relation afin de comprendre ce qui se passe lors de la navigation web avec un lecteur d'écran par un utilisateur déficient visuel.

Cet entretien est enregistré afin de nous permettre de garder une trace de l'échange et y revenir plus tard lors de l'analyse. Sachez toutefois que, cet enregistrement et le traitement des données sont anonymes et que nous vous assurerons la confidentialité de vos données puisqu'elle seront vues et traitées uniquement par moi-même. Lors de notre échange, je vais être un apprenti, une personne novice qui ne sait pas naviguer sur Internet, et vous allez m'apprendre, tel un professeur, comment naviguer. J'interviendrai par moment pour poser des questions sur certaines tâches afin que je puisse les refaire par moi-même plus tard. En revanche, je ne pourrai pas vous conseiller ou vous aider puisque je suis censé être un utilisateur novice qui ne sait comment procéder. Ici, l'expert, c'est vous. Cet échange pourra durer une heure maximum afin de ne pas épuiser l'apprenti et vous-même. Vous pouvez vous arrêter avant si vous le souhaitez. Avant de commencer, je vais vous poser quelques questions générales sur vous et votre cécité (cf. pré-questionnaire en Annexe 12).

Consignes :

Pour démarrer, la consigne est simple : vous êtes dans votre lieu habituel pour utiliser Internet et vous souhaitez réalisez les tâches que vous faites quotidiennement. Expliquez-moi ce que vous faites et pourquoi vous le faites. Précisez-moi lorsque vous rencontrer des difficultés, ce que vous faites face à celles-ci pour les résoudre et ce que vous auriez besoin pour éviter cela. N'hésitez pas à dire tout ce que vous pensez, ne censurez rien. Nous allons maintenant commencer, avez-vous bien compris les consignes ? Si vous le souhaitez, vous pouvez éteindre votre téléphone portable afin de ne pas être dérangés pendant notre échange.

Discours de fin d'étude :

Je vous remercie encore pour le temps accordé à cette étude. Avez-vous des questions ?

L'objectif de cette enquête est de collecter les informations manquantes sur les motifs et besoins de navigation sur le web des internautes déficients visuels afin de les mettre en relation pour comprendre l'utilisation d'Internet par un déficient visuel avec un lecteur d'écran. Plus précisément, cela permettra de connaître comment naviguent les internautes déficients visuels, pourquoi ils le font ainsi et quels sont les besoins dû à cette navigation selon les différents contextes. Ainsi, à partir de cette classification des besoins et motifs des internautes déficients visuels, il sera possible de créer des interfaces plus adaptées à cette population en prenant en compte le contexte d'utilisation. Et c'est d'ailleurs ce que nous avons prévu de tester dans la prochaine étude qui se déroulera au mois de Janvier. Si vous souhaitez également y participer, vous êtes le/la bienvenue.

Annexe 11. Codage des vidéos d'un des participants

Participant 1

Tâche 1 : Lire ses nouveaux courriels afin de prendre connaissance des informations ou des nouvelles de ceux qui on pu l'écrire

Départ : Bureau

Windows + m

Lancer le navigateur web Internet explorer

Touche i

Entrée (sur l'icône d'Internet explorer)

Ouvrir la barre d'adresse

Éviter de chercher l'adresse dans un moteur de recherche pour aller plus vite et par un moyen à 100% efficace

Dans un moteur de recherche, l'ordre des résultats peut changer.

Ctrl + l

Aller sur le site web « Gmail »

Tape l'adresse www.gmail.com

Entrer

Il est directement sur le champ d'édition pour taper son identifiant.

Vérifier qu'il est dans le champ édition pour ne pas taper dans le vide et donc de ne pas perdre du temps

Fh

Fb

Tape son identifiant

Tab

Tape son mot de passe

Enter

Lire les nouveaux messages

Aller sur le ou les nouveaux messages directement et éviter les menus (gain de temps)

Apprendre la mise en page de Gmail

Il sait que devant chaque courriel, il y a une case à cocher.

x (pour aller de case à cocher en case à cocher)

ça lit le nom de l'expéditeur du courriel

Activation de la configuration de Gmail de Html 5 simplifié

Se souvenir des courriels déjà lus ou non

Lire la ligne du courriel (nom, sujet, heure, etc.)

Ctrl + alt + fd

Ouvrir le courriel

Entrer (au niveau du sujet car c'est là qu'il y a le lien)

Il est revenu au début de la page web.

Naviguer plus rapidement

Il sait que dans la page web, il y a des titres de niveau 1, 2 et 3. Il sait que les titres de niveau se sont les sujets des courriels. Il va alors rechercher le sujet du courriel de cette manière

Naviguer de titre de niveau 2 en titre de niveau 2

2 (la touche 2 permet d'aller de titre de niveau 2 en titre de niveau 2)

Une fois trouvé, il va chercher le nom de l'expéditeur.

3 (indique le nom de l'expéditeur)

nFg

Une fois, le courriel lu, il souhaite revenir dans la boîte de réception.

Revenir dans la boîte de réception

Alt + i (permet de revenir directement sur la boîte de réception)

Se déconnecter

Inser + F7 (liste des liens)

Tape d jusqu'à trouver déconnexion

Cependant, il ne sait pas où il est situé dans la page. De ce fait, il ne trouve pas le lien déconnexion rapidement dans la liste.

Se situer au début de la liste des liens de la boîte de dialogue pour savoir où il est positionné dans la liste de liens

Ctrl + Touche origine (Home)

2d

Entrée (sur le lien déconnexion)

Tâche 2 : Consulter son solde bancaire pour connaître les informations de son solde pour savoir où il en est financièrement.

Ouvrir la barre d'adresse

Alt + l

Aller sur le site web de sa banque en ligne (CIC)

Tape l'adresse www.cic.fr

Entrée

Il est directement sur le champ d'édition pour taper son identifiant.

Se connecter

Tape son identifiant

Tab

La tabulation entre les champs permet d'aller plus vite. Cela évite d'appuyer 2 fois sur flèches.

Tape son mot de passe

Entrée

Lire son résumé des informations

Ce n'est pas proposé dès le début, il navigue donc de titre en titre

nT

Il y a des liens « Aller directement au contenu » mais selon les navigateurs web, cela ne fonctionne pas, c'est-à-dire que c'est considéré comme un lien et donc cela revient au début de la page web pour commencer la lecture. Donc leur fonction n'est pas réalisée.

Lire la page web de tableau en tableau pour consulter le montant de son solde

Car il sait que c'est sous forme de tableau

y (pour naviguer de tableau en tableau)

Se déconnecter

inser +F7

d

Entrée (sur le lien Déconnexion)

Tâche 3 : Rechercher des informations sur une société afin de trouver et de rentrer les informations de la société dans la base de données

Il va sur le site web des « pages jaunes » ou « societe.com ».

Ouvrir un nouvel onglet

Ctrl + t

Aller sur le site web « pages jaunes »

Tape l'adresse www.pagesjaunes.fr

Entrée

Il est directement dans le champ d'édition

Quoi, qui

Tape « foncia immobilier » dans le champ quoi, qui

Tab

Tape « anthony » dans le champ où

Entrée

Rechercher le titre de la page des résultats par titre de niveau 1 pour naviguer plus rapidement

1

Il est au niveau des résultats pour Foncia.

Rechercher le titre des résultats par titre de niveau 2 en titre de niveau 2 pour naviguer plus rapidement

4touche 2

nFb

Naviguer de résultats en résultats (titre de niveau 2 pour naviguer plus rapidement)

ntouche 2

Lorsque le résultat l'intéresse, il circule par flèches.

nFb

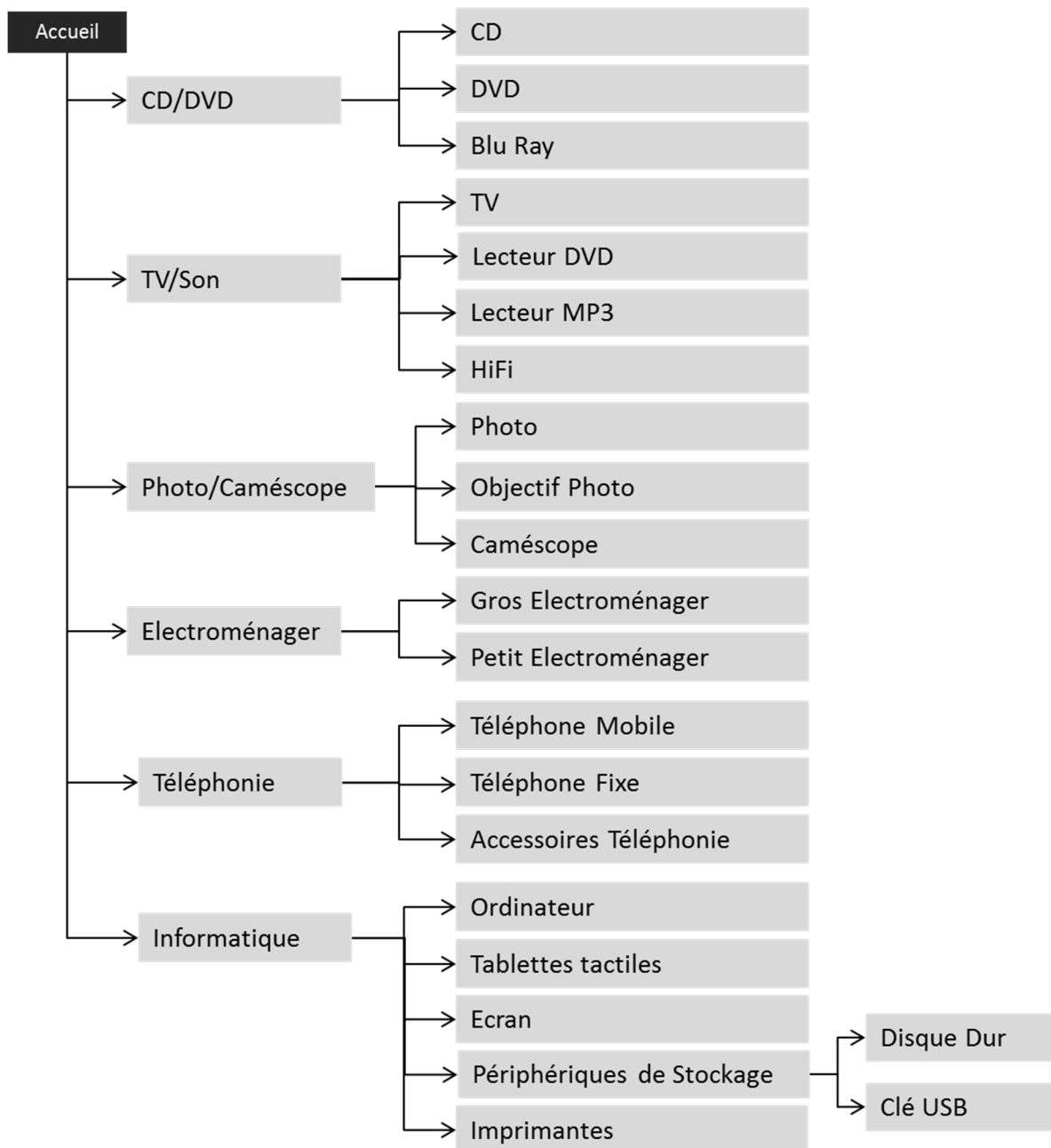
Il entend le numéro et leur téléphone.

Vérification des informations par téléphone.

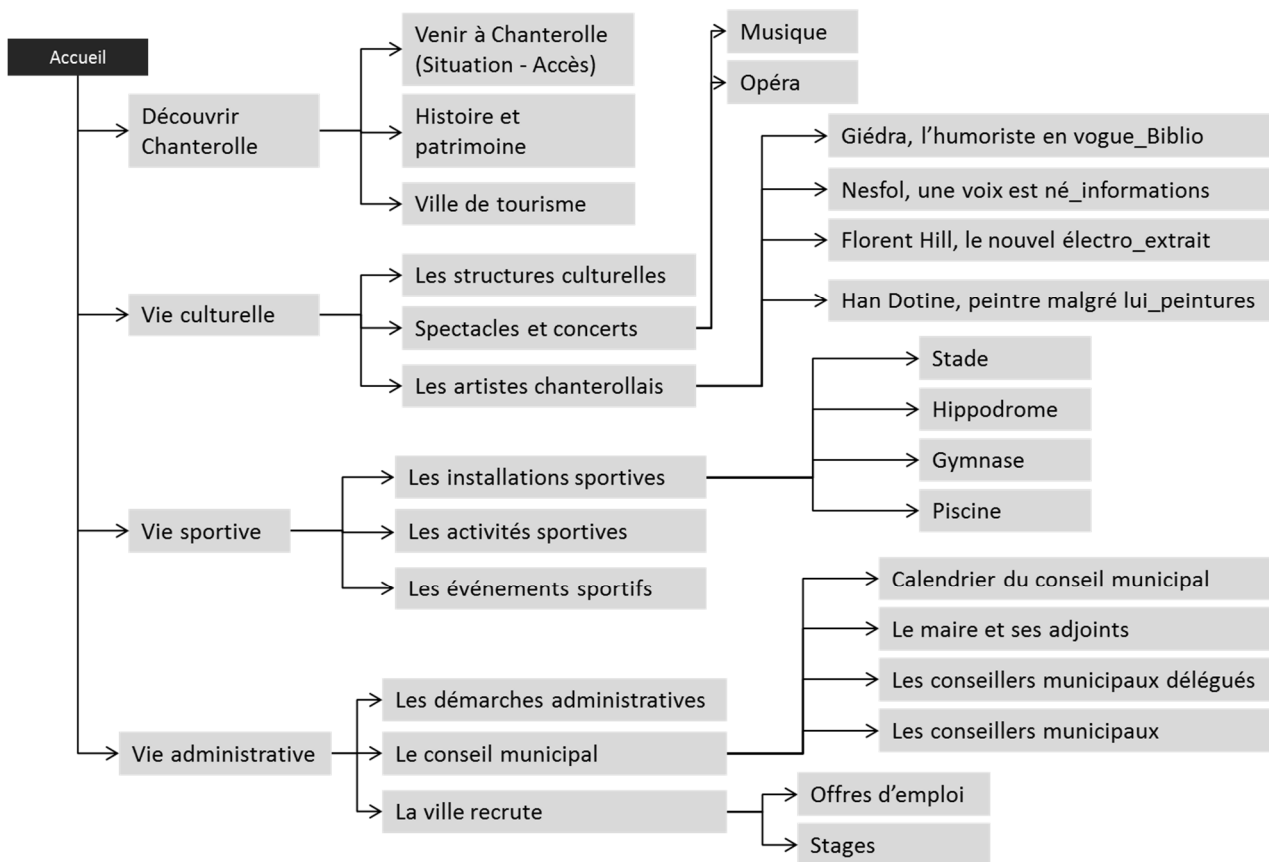
Annexes des 3 expériences

Annexe 12. Arborescence des 3 sites web des 3 expériences

« Tecktictope » :

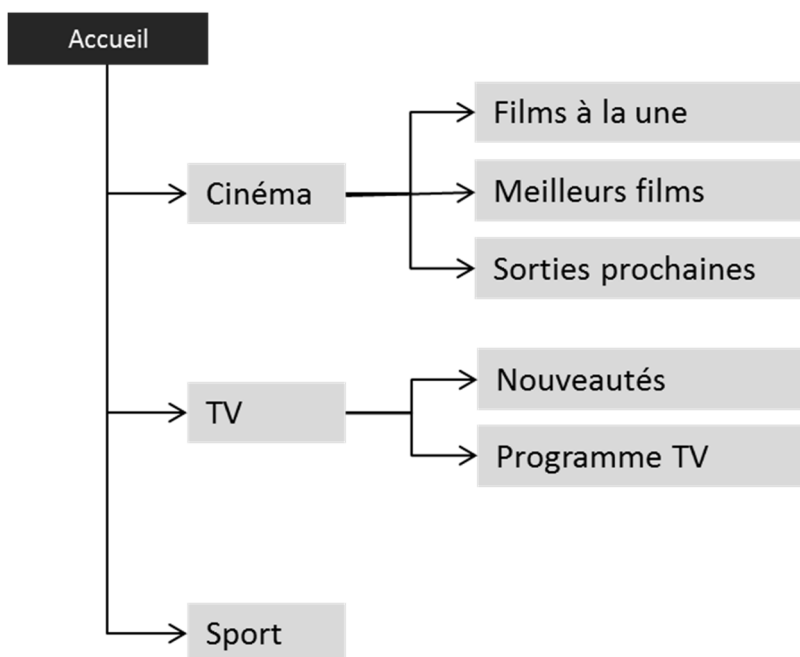


« Chanterolle » :



N.B : le lien du menu « Vie administrative » est intitulé « Vie quotidienne » pour les expériences 1 et 2.

« Actuculture » :



Annexe 13. Questionnaire de sélection des participants

Numéro du participant : ____

Profil

- 1) Age : _____
- 2) Sexe :
 - M
 - F
- 3) Maîtrisez-vous correctement le français ?
 - Oui
 - Non
- 4) Etes-vous :
 - Gauchers
 - Droitiers
- 5) Niveau d'études : _____
- 6) Avez-vous une activité professionnelle ?
 - Oui
 - Non

Si oui, laquelle : _____

-
- 7) Etes-vous non-voyants ou malvoyants ?
 - Non-voyant
 - Malvoyant : quel degré : _____

Si non-voyant, posez uniquement la question 7 et passer à la question 9

Si malvoyant, posez uniquement la question 8 et passer directement à la question 10
- 8) Etes-vous non-voyant :
 - congénital
 - tardif :

Si tardif : vers quel âge ?
- 9) Dans le cas d'une malvoyance profonde, quel est votre acuité visuelle ? (en termes de 1/20) : _____
- 10) Dans le cas des non-voyants tardifs, votre cécité était-elle :
 - progressive
 - brutale
- 11) Si cela ne vous dérange pas, pouvez-vous indiquer la raison de cette cécité : _____
- 12) Lecteur d'écran : _____
-
- 13) Système d'exploitation : _____
-
- 14) Navigateur web : _____

Utilisation

- 15) Quelle est votre fréquence moyenne d'utilisation des systèmes informatiques ?
- [0] jamais
 - [1] moins d'une fois par mois
 - [2] au moins une fois par mois
 - [3] au moins une fois par semaine
 - [4] quotidiennement
- 16) Quelle est votre fréquence moyenne de consultation de sites web ?
- [0] jamais
 - [1] moins d'une fois par mois
 - [2] au moins une fois par mois
 - [3] au moins une fois par semaine
 - [4] quotidiennement
- 17) Quelle est votre fréquence moyenne d'utilisation de sites web institutionnels (par exemple, collectivité locale, services publiques, etc.) ?
- [0] jamais
 - [1] moins d'une fois par mois
 - [2] au moins une fois par mois
 - [3] au moins une fois par semaine
 - [4] tous les jours
- 18) Quelle est votre fréquence moyenne d'utilisation de sites web d'achat en ligne ?
- [0] jamais
 - [1] moins d'une fois par mois
 - [2] au moins une fois par mois
 - [3] au moins une fois par semaine
 - [4] tous les jours
- 19) Quelle est votre fréquence moyenne d'utilisation des moteurs de recherche ?
- [0] jamais
 - [1] moins d'une fois par mois
 - [2] au moins une fois par mois
 - [3] au moins une fois par semaine
 - [4] tous les jours
- 20) Quelle est votre fréquence moyenne d'utilisation de votre messagerie électronique ?
- [0] jamais
 - [1] moins d'une fois par mois
 - [2] au moins une fois par mois
 - [3] au moins une fois par semaine
 - [4] tous les jours
- 21) Quelle est votre fréquence moyenne d'utilisation des réseaux sociaux ?
- [0] jamais
 - [1] moins d'une fois par mois
 - [2] au moins une fois par mois
 - [3] au moins une fois par semaine
 - [4] tous les jours
- 22) Quelle est votre fréquence moyenne d'utilisation pour vous divertir et/ou vous cultiver (par exemple, écouter de la musique, la radio, regarder des vidéos et jouer) ?
- [0] jamais
 - [1] moins d'une fois par mois
 - [2] au moins une fois par mois
 - [3] au moins une fois par semaine
 - [4] tous les jours

Annexe 14. Questionnaire d'évaluation de la charge cognitive « NASA-RTLX »

Consigne :

Maintenant, vous allez devoir répondre à un questionnaire composé de 6 questions différentes portant sur ce que vous avez ressenti pendant cette tâche. Chaque question sera posée 2 fois pour vous permettre de bien la comprendre. Pour chaque question, vous devrez donner une estimation sur une échelle de 0 à 100.

Avez-vous compris les consignes ? Etes-vous prêt pour répondre au questionnaire ?

Première question :

Exigence mentale :

Dans quelle mesure des opérations mentales et perceptives ont-elles été requises (par exemple, penser, décider, calculer, se rappeler, chercher, etc.) ? Ont-elles conduit à une tâche plutôt facile ou difficile, simple ou complexe, abordable ou exigeante ?

Je répète : idem.

Quelle estimation donnez-vous sur une échelle de 0 à 100 ? 0 correspondant à faible exigence mentale et 100 correspondant à forte exigence mentale.

Deuxième question :

Exigence physique

Dans quelle mesure des opérations physiques ont-elles été requises (par exemple, appuyer, pousser, tirer, tourner, activer, etc.) ? Ont-elles conduit à une tâche plutôt facile ou difficile, lente ou rapide, lâche ou vigoureuse, reposante ou ardue ?

Je répète : idem.

Quelle estimation donnez-vous sur une échelle de 0 à 100 ? 0 correspondant à faible exigence physique et 100 correspondant à forte exigence physique.

Troisième question :

Exigence temporelle

Quelle était la pression temporelle, que ce soit à cause du rythme ou de l'allure des tâches ou de l'apparition des éléments de la tâche avez-vous ressenti ? L'allure était-elle lente et tranquille ou rapide et frénétique ?

Je répète : idem.

Quelle estimation donnez-vous sur une échelle de 0 à 100 ? 0 correspondant à faible exigence temporelle et 100 correspondant à forte exigence temporelle.

Quatrième question :

L'effort

Quelle a été la difficulté d'accomplir (mentalement et physiquement) la tâche avec un niveau de performance tel que le votre ?

Je répète : idem.

Quelle estimation donnez-vous sur une échelle de 0 à 100 ? 0 correspondant à niveau d'effort faible et 100 correspondant à niveau d'effort fort.

Cinquième question :

Performance

Quelle réussite vous attribuez-vous en ce qui concerne l'atteinte des buts de la tâche fixés par l'observatrice (ou par vous-même) ? Dans quelle mesure êtes-vous satisfait(e) de votre performance dans l'accomplissement de ces buts ?

Je répète : idem.

Quelle estimation donnez-vous sur une échelle de 0 à 100 ? 0 correspondant à bonne performance et 100 correspondant à mauvaise performance.

Sixième et dernière question :

Frustration

Au cours de la tâche, quel sentiment d'être peu sûr de vous, découragé, irrité, stressé et agacé avez-vous ressenti contrairement au fait d'être sûr de vous, satisfait, content, détendu et plaisant ?

Je répète : idem.

Quelle estimation donnez-vous sur une échelle de 0 à 100 ? 0 correspondant à bonne performance et 100 correspondant à mauvaise performance.

N.B : Des consignes générales ont été rajoutées ainsi qu'une consigne finale après chaque question pour l'estimation sur l'échelle de 0 à 100.

Pour la deuxième question, un des exemples d'opérations physiques donnés a été modifié. En effet, l'exemple « Superviser » a été remplacé par l'exemple « Appuyer ».

Tous les changements opérés sont surlignés en jaune.

De surcroît, si un participant posait une question sur la consigne générale concernant l'échelle, la réponse suivante était donnée : « Justement vous allez devoir répondre à 6 questions portant sur des aspects différents de ce que vous avez ressenti. Je préciserai à chaque question à quoi correspondront la valeur 0 et la valeur 100 de l'échelle. »

Annexe 15. Les consignes données et le discours tenu par l'expérimentatrice

Discours de présentation :

Avant tout chose, je tenais à vous remercier pour votre participation à cette étude.

Cette étude porte sur la navigation web des utilisateurs déficients visuels. Elle contribuera à améliorer la compréhension de l'interaction entre l'utilisateur et la machine dans le but d'améliorer, à terme, l'accessibilité de ces interfaces informatiques pour les déficients visuels.

D'autres participants, tout comme vous, vont effectuer le même exercice. Nous ne nous intéressons pas à vos résultats personnels mais bien, à l'ensemble des résultats de tous les participants.

Votre interaction avec l'interface, soit vos actions, seront enregistrées afin de traiter les données dans le but de comprendre l'interaction de l'utilisateur avec l'interface. Sachez toutefois que vos données restent confidentielles puisqu'elles seront vues et traitées uniquement par moi-même. Et, de toute façon, cet enregistrement et le traitement des données sont anonymes.

Avant de procéder à la réalisation des tâches, vous allez effectuer un entraînement pour vous familiariser avec la procédure.

Le temps de réalisation des tâches est important lors de cette étude, c'est pourquoi il est recommandé d'éteindre votre téléphone portable afin de ne pas être dérangés pendant la réalisation des tâches.

Pour cette même raison, je ne pourrai pas interagir avec vous pendant l'étude. Si vous avez une question pendant l'exercice, j'y répondrai à la fin de la tâche pour ne pas perturber le cours de la tâche. Vous devez impérativement rester concentrer sur la réalisation de la tâche.

(Insister sur cette consigne)

Pour vous permettre de rester concentrer sur la réalisation des tâches et ne pas être perturbé par un éventuel micro-bruit, vous allez réaliser les tâches à l'aide d'un casque ouvert, ce qui vous permettra également d'entendre l'environnement extérieur, notamment pour entendre les consignes que je vais donner.

Je vais vous faire entendre un texte pour que vous me disiez si le son vous convient. *Donner le casque au participant.* Etes-vous prêt ?

Avez-vous bien compris les consignes ? Avez-vous des questions ?

Consignes de la phase de familiarisation :

Nous allons maintenant commencer l'entraînement avec l'interface pour vous familiariser avec celle-ci. Les données de cette familiarisation ne seront donc pas traitées.

Vous allez donc devoir réaliser 2 tâches. La consigne sera expliquée en début de chaque tâche. Chaque tâche devra être réalisée le plus vite possible. Vous pouvez, bien évidemment, abandonner à tout moment la tâche.

Vous pouvez également prendre une pause entre chaque tâche d'une durée qui vous estimerez suffisante.

Pour chaque tâche, la lecture des pages sera automatique.

Version exhaustive pour la tâche 1 : Les pages seront lues par une voix d'homme et une voix de femme aléatoirement.

Version holistique pour la tâche 1 : prenez en compte uniquement la voix d'homme qui lira les informations pertinentes pour votre tâche.

Pour l'expérience 3, cette consigne n'existe pas puisqu'une seule voix lit le contenu du site web.

Vous ne pourrez interagir uniquement avec l'interface par la touche « Entrée » pour sélectionner un lien, avec la touche de la flèche du haut pour retourner sur le lien précédent et la touche « Retour arrière » pour retourner à la page précédente.

Version sans double tâche : A la fin de chaque tâche, vous devrez répondre à un petit questionnaire concernant votre charge de travail ressenti pendant l'exécution de la tâche.

Version avec double tâche : Pendant la réalisation des 2 tâches, vous devrez réagir au signal auditif en même temps. Il s'agit du même signal auditif pour lequel vous vous êtes entraîné juste avant. Vous aurez à réagir à ce signal en appuyant sur la touche F située sur votre clavier (*montrer si besoin sur le clavier la touche*) avec votre index gauche. Afin de réagir le plus rapidement possible, veuillez laisser en permanence votre index au-dessus de cette touche. Même s'il faut réagir le plus rapidement possible à ce signal, réagir au signal auditif n'est pas aussi important que la tâche que je vous demanderais d'effectuer. Je vais donc vous demander de concentrer votre attention sur les tâches à réaliser et non sur les signaux auditifs. Est-ce que cette consigne est claire pour vous ?

Le site sur lequel vous allez naviguer est le site d'actualité culturelle « Actuculture » où vous pouvez consulter diverses informations sur le cinéma, la télévision et le sport. Si vous ne connaissez pas ce site web, cela n'a aucune importance.

Nous allons maintenant commencer la phase de familiarisation, avez-vous bien compris les consignes ? Avez-vous des questions ?

Consignes des tâches :

Version double tâche : Garder en mémoire que la tâche à effectuer est plus importante que de réagir au signal, elle est prioritaire et elle doit être réalisée le plus vite possible.

1. Indiquer le meilleur film le mieux noté par les spectateurs. Dès que vous pensez avoir la bonne réponse, appuyez sur la touche « zéro » du pavé numérique. Retenez bien la réponse car je vous demanderai de la restituer juste après pour vérifier s'il s'agit de la réponse correcte.
2. Indiquer quel joueur de tennis a remporté le tournoi de Chanterolle. Dès que vous pensez avoir la bonne réponse, appuyez sur la touche « zéro » du pavé numérique. Retenez bien la réponse car je vous demanderai de la restituer juste après pour vérifier s'il s'agit de la réponse correcte.

Consignes de la phase d'entraînement de l'expérience 2 :

Tout d'abord, vous allez entendre des signaux auditifs comme celui-ci (l'expérimentatrice fait écouter aux participants le signal sonore).

Pour s'habituer à réagir à ces signaux sonores, nous allons procéder à une phase d'entraînement où vous entendrez une trentaine de signaux auxquels vous aurez à réagir le plus vite possible en appuyant sur la touche F de votre clavier (*montrer si besoin sur le clavier la touche*) avec votre index gauche. Afin de réagir le plus rapidement possible, veuillez laisser en permanence votre index au-dessus de cette touche. Vous n'entendrez rien d'autre que ces signaux sonores qui apparaîtront aléatoirement dans le temps. Ne soyez donc pas étonnés des secondes de silence. Vous devez concentrer votre attention sur ces signaux auditifs.

Avez-vous bien compris les consignes ? Avez-vous des questions ?

Consignes de la phase expérimentale :

La phase d'entraînement est terminée. Nous allons maintenant commencer la phase pendant lequel vos actions seront enregistrées. Tout comme pour la phase de familiarisation, le fonctionnement sera exactement le même que celui du site web sur lequel vous venez de naviguer ; c'est-à-dire que pour chaque tâche, la lecture des pages sera automatique. Vous ne pourrez interagir uniquement avec l'interface par la touche « Entrée » pour sélectionner un lien, avec la touche de la flèche du haut pour retourner sur le lien précédent et la touche « Retour arrière » pour retourner à la page précédente.

Version exhaustive : Les pages seront lues par une voix d'homme et une voix de femme aléatoirement.

Version holistique : prenez en compte uniquement la voix d'homme qui lira les informations pertinentes pour votre tâche.

Cette consigne n'existe pas pour l'expérience 3.

Vous allez devoir réaliser 3 tâches. Chaque tâche devra être réalisée le plus vite possible. La consigne sera expliquée en début de chaque tâche. Vous pouvez, bien évidemment, abandonner à tout moment la tâche.

Vous pouvez également prendre une pause entre chaque tâche d'une durée qui vous estimerez suffisante.

Version sans double tâche : A la fin de chaque tâche, vous devrez répondre à un petit questionnaire concernant votre charge de travail ressenti pendant l'exécution de la tâche.

Version avec double tâche : Comme précédemment, pendant la réalisation des 3 tâches, vous devrez réagir au signal auditif en même temps. Il s'agit toujours du même signal auditif. Vous aurez à réagir à ce signal en appuyant sur la touche F située sur votre clavier (montrer si besoin sur le clavier la touche) avec votre index gauche. Afin de réagir le plus rapidement possible, veuillez laisser en permanence votre index au-dessus de cette touche. Même s'il faut réagir le plus rapidement possible à ce signal, réagir au signal auditif n'est pas aussi important que la tâche que je vous demanderais d'effectuer. Je vais donc vous demander de concentrer votre attention sur les tâches à réaliser et non sur les signaux auditifs. Est-ce que cette consigne est claire pour vous ?

Garder bien en mémoire que la tâche à effectuer est plus importante que de réagir au signal, elle est prioritaire et elle doit être réalisée le plus vite possible.

Consigne supplémentaire pour l'expérience 3 : à la fin des 3 tâches, vous devrez répondre à un questionnaire de satisfaction suite à votre navigation sur ce site web.

Nous allons maintenant commencer la phase d'étude, avez-vous bien compris les consignes ? Avez-vous des questions ?

Consignes du site web « Chanterolle » :

Le site sur lequel vous allez naviguer est le site de la ville de Chanterolle où vous pouvez consulter diverses informations sur la ville. Si vous ne connaissez pas cette ville, cela n'a aucune importance.

Tâches :

1. Afin d'éviter toute confusion, pour cette tâche, vous n'aurez pas à appuyer sur la touche zéro du pavé numérique. Vous devez simplement écouter l'extrait du nouvel artiste de la ville de Chanterolle : Florent III.
2. Afin d'éviter toute confusion, pour cette tâche, vous n'aurez pas à appuyer sur la touche zéro du pavé numérique. Vous devez simplement réserver une place pour l'opéra « la flûte enchantée » qui se jouera à l'opéra de Chanterolle.
3. Pour cette tâche, vous devez chercher comment se rendre en bus au gymnase Robespierre à partir de la gare. Dès que vous pensez avoir la bonne réponse,

appuyez sur la touche « zéro » du pavé numérique. Retenez bien la réponse car je vous demanderai de la restituer pour vérifier s'il s'agit de la réponse correcte.

3. Bis⁴⁶ : Pour cette tâche, vous êtes à la recherche d'un emploi en tant que praticien bien-être. La ville vient justement de publier une offre d'emploi pour ce poste au sein du centre communal d'action social. Quelle est la date limite de candidature pour postuler à ce poste ? Dès que vous pensez avoir la bonne réponse, appuyez sur la touche « zéro » du pavé numérique. Retenez bien la réponse car je vous demanderai de la restituer pour vérifier s'il s'agit de la réponse correcte.

Consignes du site web « Tecktitope » :

Le site sur lequel vous allez naviguer est le site d'achat en ligne Tecktitope où vous pourrez consulter diverses informations sur des différents types de produits tels que des produits de téléphonie, d'informatique ou encore d'électroménager par exemple et interagir avec l'interface. Si vous ne connaissez par ce site d'achat en ligne, cela n'a aucune importance.

Tâches :

1. Afin d'éviter toute confusion, pour cette tâche, vous n'aurez pas à appuyer sur la touche zéro du pavé numérique. Vous devez simplement ajouter au panier un disque dur d'une capacité d'un téra octet de moins de 150 euros.
2. Pour cette tâche, vous devez indiquer le taux de satisfaction des consommateurs sur le lecteur MP3 Tyneir. Dès que vous pensez avoir la bonne réponse, appuyez sur la touche « zéro » du pavé numérique. Retenez bien la réponse car je vous demanderai de la restituer pour vérifier s'il s'agit de la réponse correcte.
3. Afin d'éviter toute confusion, pour cette tâche, vous n'aurez pas à appuyer sur la touche zéro du pavé numérique. Vous devez simplement modifier vos intérêts sur votre compte car vous souhaitez recevoir des informations par courriel sur le domaine de l'informatique. Votre compte est déjà connecté, allez dessus et rajoutez l'intérêt « Informatique » en cochant la case « Informatique » en appuyant sur la touche « Entrée ». Puis, validez votre choix en sélectionnant le bouton « Valider » sur la page web.

Consignes du questionnaire NASA-TLX (après chaque tâche) :

Maintenant, vous allez devoir répondre à un questionnaire composé de 6 questions pour estimer la charge de travail que vous avez ressenti pour cette tâche. Chacune des questions correspondra à une catégorie différente que j'énoncerai en même temps que la question. La question sera posée 2 fois pour vous laisser le temps de bien l'intégrer. Vous devrez estimer votre charge de travail pour chaque dimension sur une échelle allant de 0 à 100, 0 correspondant à « faible » et 100 correspondant à « forte ». Avez-vous compris les consignes ? Avez-vous des questions ? Êtes-vous prêt pour répondre au questionnaire ?

→ Pour plus de détails sur ce questionnaire, voir Annexe précédente.

Consignes du questionnaire de satisfaction (après chaque site) :

Maintenant que nous avons terminé avec ce site, je vais vous demander d'exprimer votre accord ou désaccord concernant 10 affirmations concernant cette interface.

→ Pour plus de détails sur ce questionnaire, voir Annexe 3.

⁴⁶ Cette tâche a remplacé la tâche 3 des 2 premières expériences lors de l'expérience 3 à cause de l'ambiguïté des chemins de navigation possibles pour la réaliser

Discours de fin d'étude des expériences 1 et 2 :

Lors de cette étude, vous avez été confrontés à 2 versions d'interface : une version où vous deviez prendre en compte uniquement les informations pertinentes avec la tâche (notamment avec la voix d'homme) et une version où toutes les informations visuelles présentes sur l'interface étaient retranscrites auditivement (notamment en prenant en compte les 2 voix). Lors de l'analyse des données, nous allons évaluer et comparer la charge cognitive des participants que génère ces 2 versions pour infirmer ou valider l'hypothèse que la charge cognitive va être plus faible avec la première version, qui représente l'accès direct au contenu, c'est-à-dire comme si, suite à la sélection d'un lien, vous étiez dirigé directement au contenu souhaité, qu'avec la deuxième version, qui représente une retranscription auditive exhaustive.

Qu'est-ce que la charge cognitive, me direz-vous ?

Pour faire simple, la charge cognitive est l'effort mental que vous allez fournir pour réaliser la tâche.

Expérience 1 : C'est pourquoi, nous vous avons demandé d'estimer votre charge. Selon le score obtenu, nous pourrions comparer la charge entre les 2 versions d'interface.

Expérience 2 : Pour cela, vous avez besoin de ressources cognitives qui sont disponibles de façon limitée. Tant que le stock des ressources est suffisant, vous pouvez réaliser plusieurs tâches à la fois. Ainsi, vous êtes capable de réaliser 2 tâches en même en partageant vos ressources : un peu de ressources pour la première tâche et un peu de ressources pour la deuxième tâche, comme vous l'avez fait lors de l'étude avec d'une part, une tâche de navigation sur l'interface et d'autre part, une tâche de réaction au signal sonore. Cependant, lorsque la tâche prioritaire (dans votre cas, la tâche de navigation) consomme déjà toutes ou presque toutes vos ressources, vous n'en avez plus assez pour exercer une deuxième tâche rapidement (dans votre cas, la tâche de réaction au signal sonore). Le temps pour exécuter cette deuxième tâche va alors augmenter et c'est justement ce temps que nous avons enregistré pour évaluer la charge cognitive. Plus ce temps est long, plus la charge est forte.

Ainsi, nous pourrions savoir quel type de présentation de l'information permet une charge cognitive plus faible des utilisateurs déficients visuels et la recommander lors de conception d'interfaces futures. En d'autres termes, nous pourrions recommander une conception d'interface plus accessible pour les personnes déficientes visuelles.

Discours de fin d'étude de l'expérience 3 :

Cette étude à laquelle vous venez de participer découle de 2 études précédentes sur la charge cognitive des utilisateurs déficients visuels lors de la navigation web, la charge cognitive étant l'effort mental que vous allez fournir pour réaliser la tâche, selon 2 types de conception d'interfaces : la conception actuelle, dite exhaustive et la conception holistique. La conception holistique se base sur une présentation des informations différente de celle de la conception actuelle des interfaces, c'est-à-dire qu'elle permet l'accès direct au contenu selon la tâche de l'utilisateur. Par exemple, lorsque vous avez sélectionné le lien « Vie culturelle », cela vous a amené directement au menu de la page « Vie culturelle » sans vous relire toutes les informations du début de la page. Autrement dit, la version holistique réalise un filtrage préalable entre les informations pertinentes et non pertinentes alors que la conception exhaustive retranscrit toutes les informations visuelles présentes à l'écran en informations auditives, ce qui est redondant et lourd à traiter. Ces 2 études ont alors permis de montrer

que la charge cognitive était plus faible avec la conception holistique qu'avec la conception actuelle.

C'est donc à ces 2 conceptions d'interface auxquelles vous avez été confrontés dans le but de vérifier en condition plus naturelle si la version holistique apporte de meilleures performances et également une charge cognitive plus faible.

Dans le cas de résultats positifs en termes de charge cognitive et de performances, nous pourrions valider nos hypothèses et recommander une conception d'interface plus accessible pour les personnes déficientes visuelles.

De manière brève, et si je devais vulgariser, je mets à l'épreuve une nouvelle façon de concevoir les sites web diminuant l'effort mental des utilisateurs déficients visuels grâce à une solution technique qui permet d'atteindre directement l'information recherchée pour une navigation web plus rapide.

A expliquer uniquement si le participant a tenté d'abandonner :

Par ailleurs, lorsque vous avez émis le souhait d'abandonner, je vous ai incité à continuer votre tâche à partir d'un protocole de relance bien précis. Ce protocole de relance a été établi au préalable afin de respecter les objectifs de l'étude, non pas pour vous forcer à poursuivre la tâche. Autrement dit, grâce à ce protocole, nous pouvons connaître le taux d'abandon tout en pouvant exploiter les temps d'exécution de la tâche des participants. Il est bien évidemment identique pour chacun des participants.

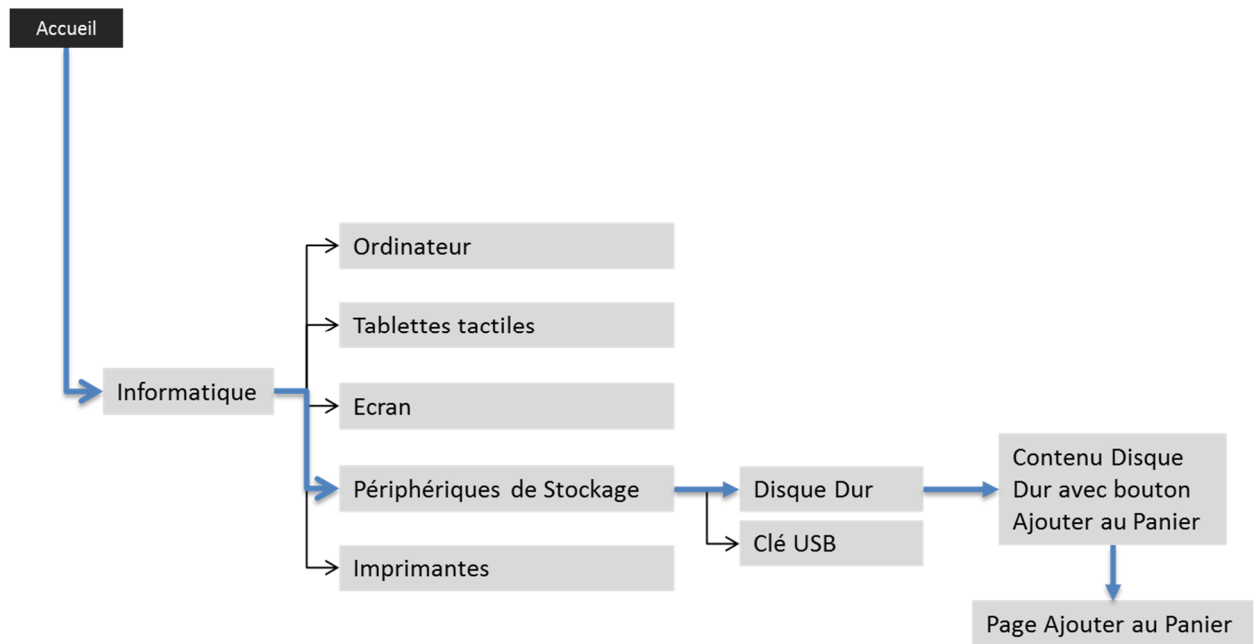
A expliquer si le participant pose une question sur le contrebalancement :

Bien entendu, afin qu'il n'y est pas de variable confondue et que nous soyons sûrs que l'effet obtenu corresponde bien au type de versions, l'ordre des versions, des sites et des tâches était contrebalancé, ce qui signifie que pour votre part, vous avez été confronté à la version exhaustive d'abord alors que d'autres participants ont été confrontés en premier à la version holistique. Il a été de même pour les sites et tâches.

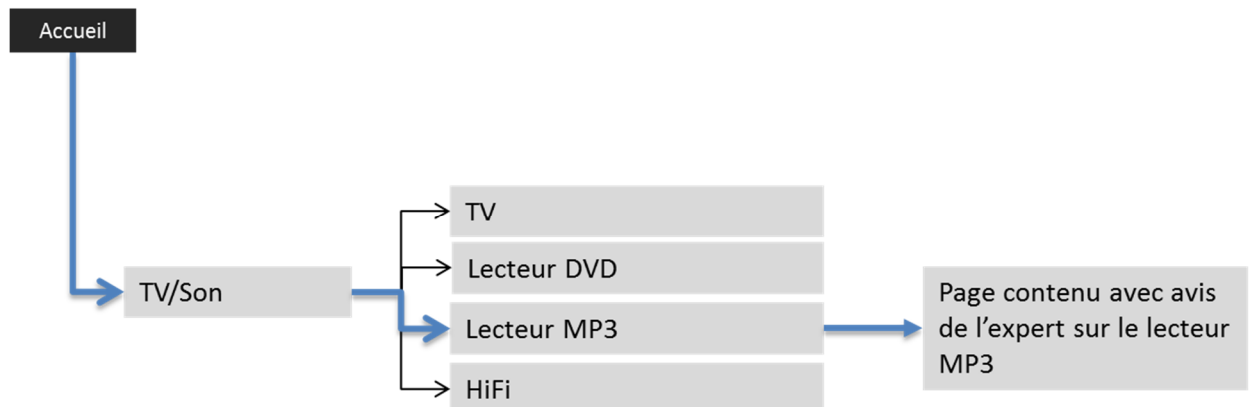
Annexe 16. Chemin de navigation aboutissant à la réussite de la tâche selon l'arborescence du site web

« Tecktictope » :

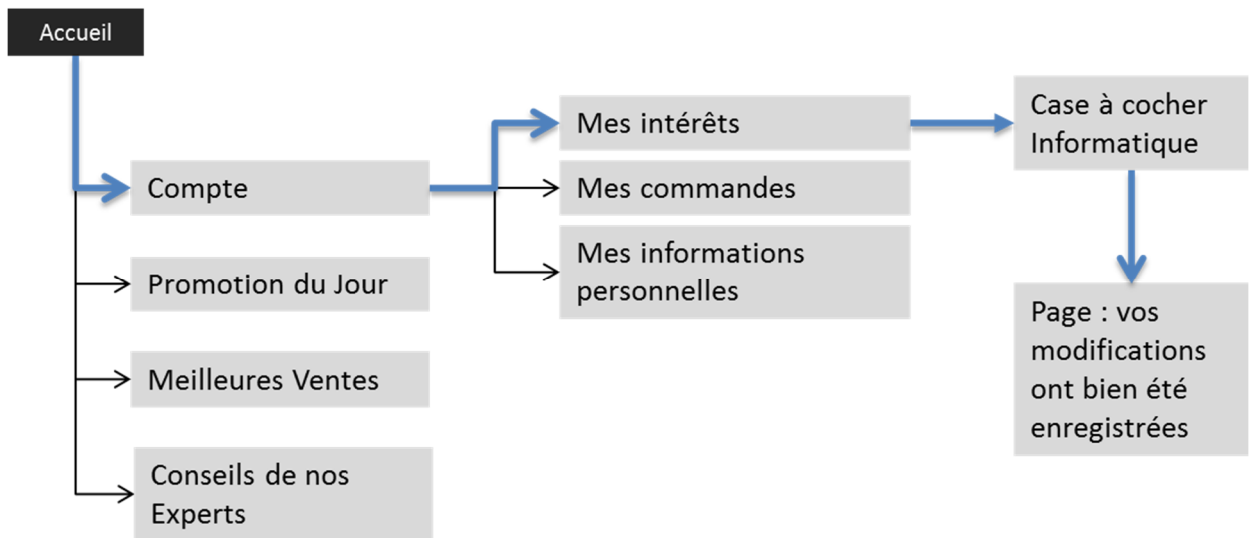
Tâche 1 :



Tâche 2 :

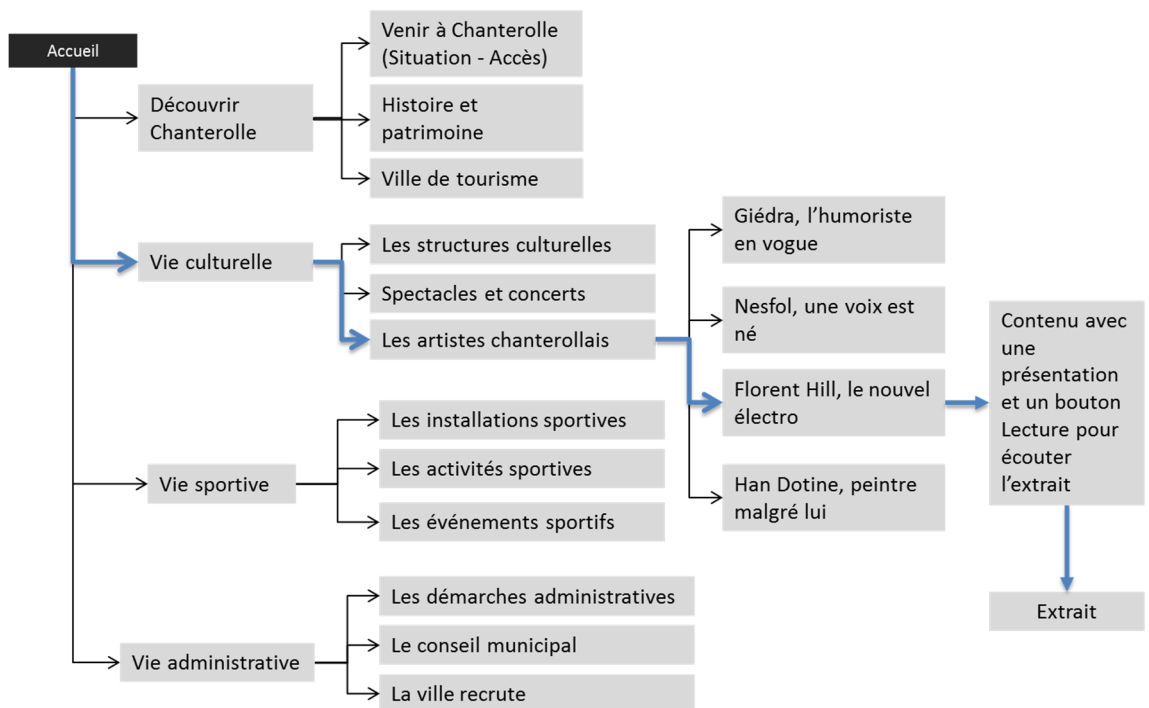


Tâche 3 :

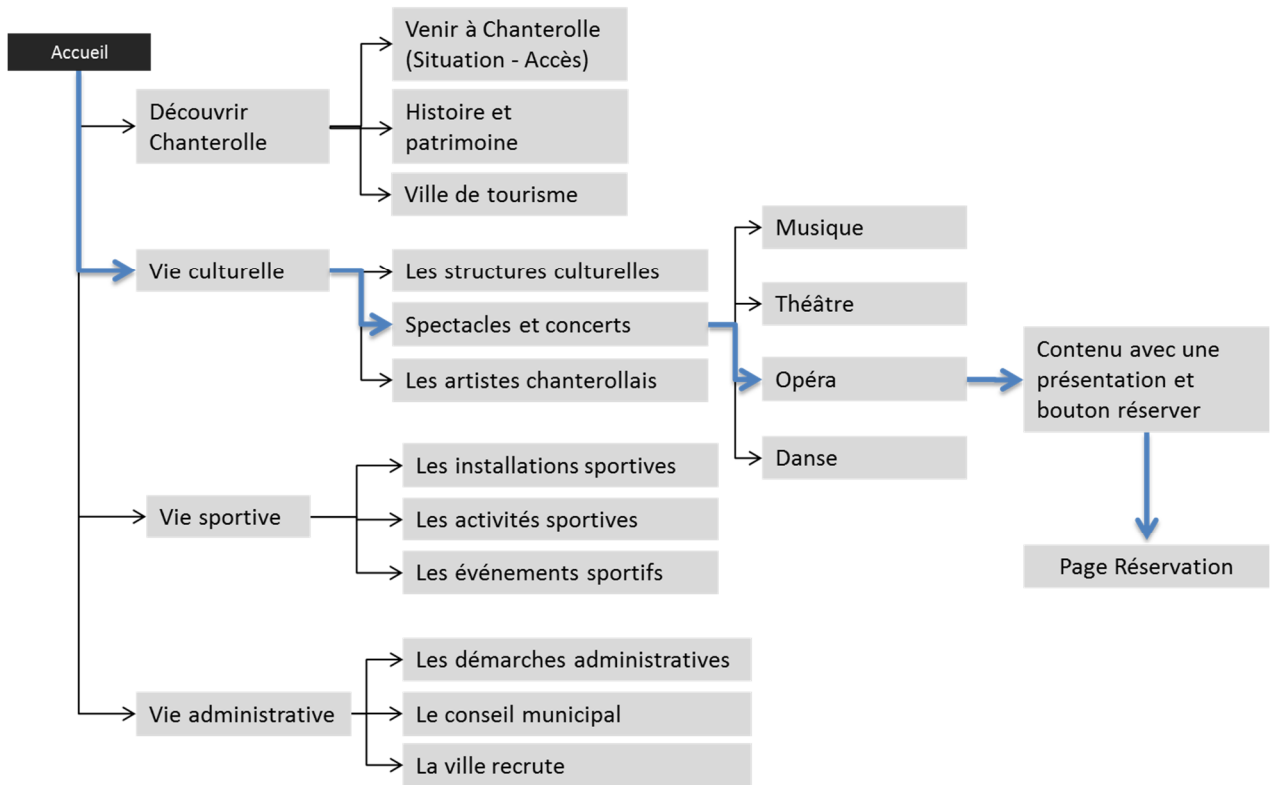


« Chanterolle » :

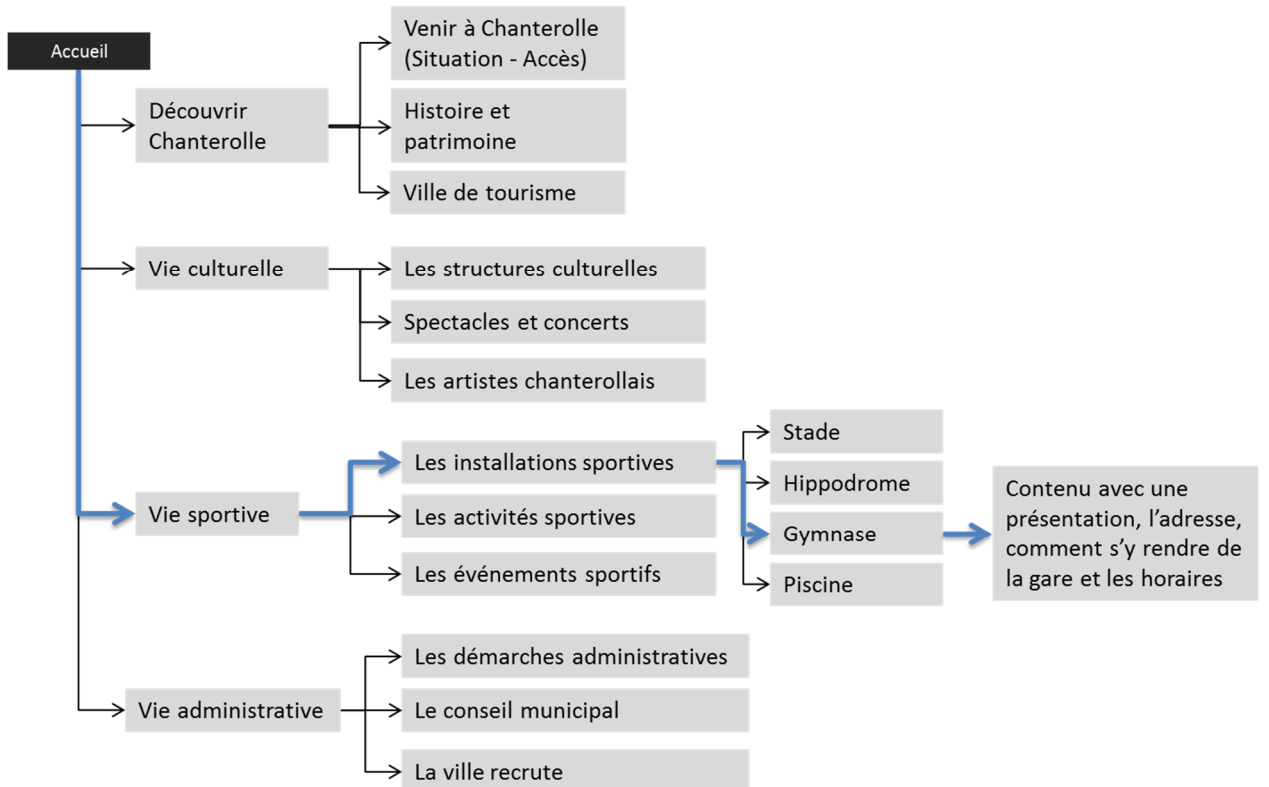
Tâche 1 :



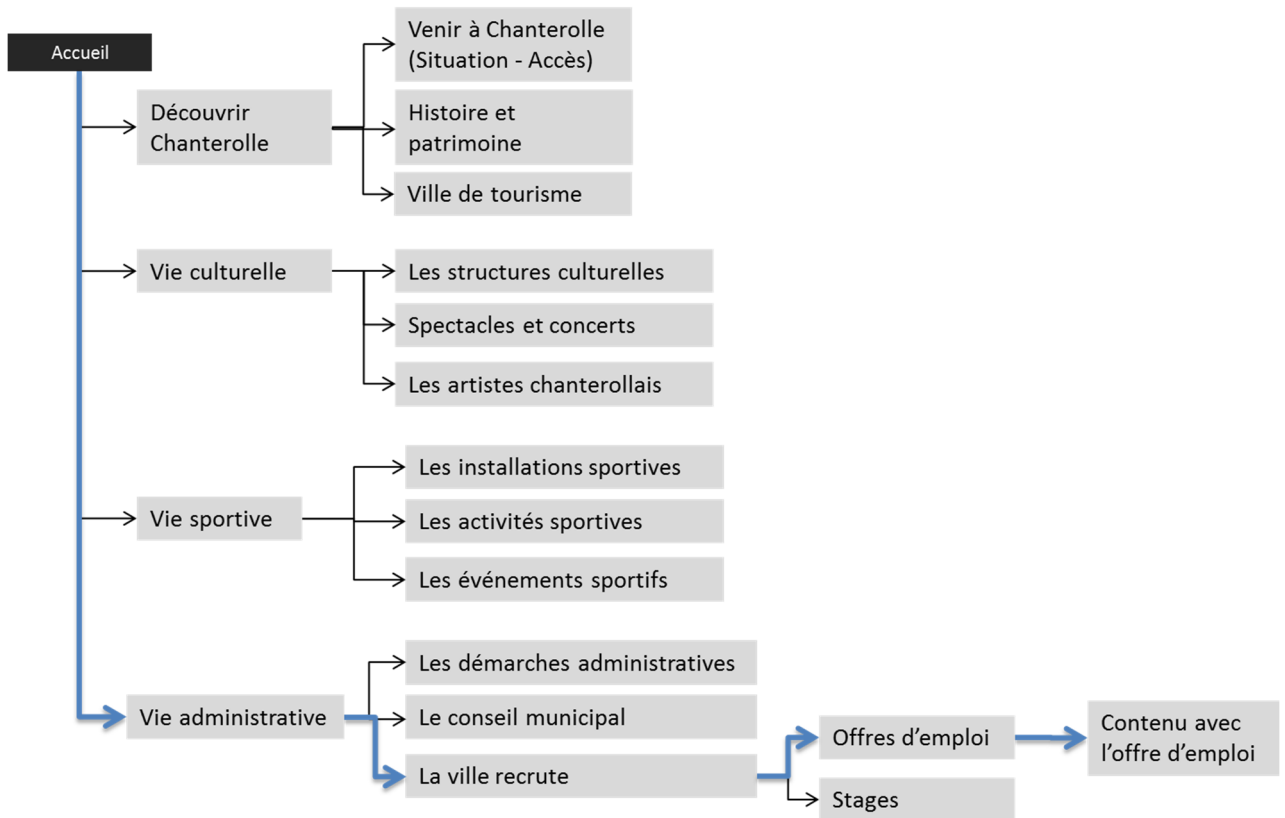
Tâche 2 :



Tâche 3 des expériences 1 et 2 :

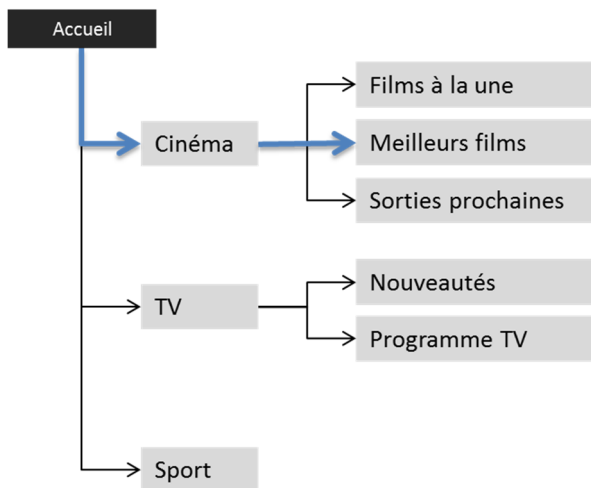


Tâche 3 de l'expérience 3 :

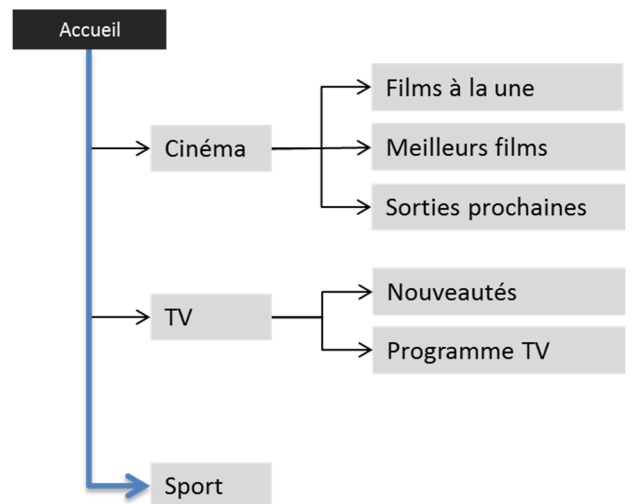


« Actuculture » :

Tâche 1 :



Tâche 2 :



Annexe 17. Tableau de contrebalancement des listes

	Ordre des versions	Ordre des sites web	Ordre des tâches
Liste 1	V1V2	S1S2	T1T2T3
Liste 2	V2V1	S1S2	T1T2T3
Liste 3	V1V2	S2S1	T1T2T3
Liste 4	V2V1	S2S1	T1T2T3
Liste 5	V1V2	S1S2	T2T3T1
Liste 6	V2V1	S1S2	T2T3T1
Liste 7	V1V2	S2S1	T2T3T1
Liste 8	V2V1	S2S1	T2T3T1
Liste 9	V1V2	S1S2	T3T1T2
Liste 10	V2V1	S1S2	T3T1T2
Liste 11	V1V2	S2S1	T3T1T2
Liste 12	V2V1	S2S1	T3T1T2

N.B : V1 = Version 1 (Exhaustive)

V2 = Version 2 (Holistique)

S1 = Site 1 (« Chanterolle »)

S2 = Site 2 (« Tecktictope »)

T1 = Tâche 1

T2 = Tâche 2

T3 = Tâche 3