

Université de Montréal

**Évaluation de la Qualité des Applications Web :**  
**Approche Probabiliste**

par

**Ghazwa Malak**

Département d'Informatique et de Recherches Opérationnelles  
Faculté des Arts et des Sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de  
Philosophie Doctor (Ph.D.)  
en Informatique

Novembre 2007

Copyright © Ghazwa Malak, 2007



QA

76

U54

2008

v.001

**Direction des bibliothèques**

**AVIS**

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

**NOTICE**

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

**Université de Montréal**  
**Faculté des études supérieures**

Cette thèse intitulée :

**Évaluation de la Qualité des Applications Web :  
Approche Probabiliste**

présentée par :

**Ghazwa Malak**

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

**Guy Lapalme (Président-rapporteur)**

**Houari A. Sahraoui (Directeur de recherche)**

**Mourad Badri (Co-directeur)**

**Yann Gaël Ghéhéneuc (Membre du jury)**

**Hakim Lounis (Examineur externe)**

**Lorna Heaton (Représentante du doyen de la FES)**

Thèse acceptée le 29 novembre 2007



## Résumé

En raison de leur nature, les applications Web sont des systèmes qui évoluent en fonction du temps et des nouvelles technologies. Toutefois, un grand nombre de facteurs peut affecter leur qualité. Comme tout système évolutif, mesurer ces facteurs comporte de l'imprécision et les regrouper comporte de l'incertitude et de la subjectivité. De plus, représenter les relations qui peuvent exister entre certains facteurs est complexe. La plupart des travaux existants, relatifs à l'évaluation quantitative de la qualité des applications Web, ne tiennent pas compte de ces points clés.

Dans ce travail, nous présentons un modèle de qualité et une méthodologie d'évaluation de la qualité spécifiques aux applications Web. Notre modèle de qualité est basé sur une approche probabiliste utilisant les réseaux Bayésiens.

Cette dissertation décrit le processus d'élaboration d'un modèle probabiliste de la qualité. Elle détaille la sélection des critères de qualité spécifiques aux applications Web, et la construction du réseau Bayésien. Par la suite, elle montre la faisabilité de notre approche sur un exemple d'application complet portant sur un facteur important de la qualité des applications Web concernant la conception de la navigabilité. En outre, elle présente une description de l'environnement développé dans le but d'automatiser le processus d'évaluation. Enfin, elle commente les résultats de l'expérience contrôlée conduite afin d'établir la validité de notre modèle.

**Mots-clés :** Applications Web, Qualité, Évaluation, Approche probabiliste, Réseaux Bayésiens.

## Abstract

Web-based applications are systems that evolve with time and new technologies. Quality assurance of these applications is now impossible to circumvent. However, a great number of factors can affect this quality. Measuring these factors comprises inaccuracy, regrouping them comprises uncertainty and subjectivity. Moreover, representing the relations who may exist between certain factors is complex. The majority of existing work, on quantitative evaluation of Web applications quality, does not address these key issues inherent to this field.

In this work, we present a quality model and an assessment methodology specific to the quality evaluation of Web applications. Our proposed quality model is based on a probabilistic approach using Bayesian networks.

This dissertation describes the development process of the probabilistic quality model. It details the selection of quality criteria specific to the Web applications, and the construction of the Bayesian network. Thereafter, it shows the feasibility of our approach through its application on an important quality factor of Web applications regarding the navigability design. Moreover, it presents a description of the environment developed to automate the evaluation procedure. Finally, it comments the results of the controlled experiment piloted in order to establish the validity of our model.

**Keywords:** Web Applications, Quality, Evaluation, Probabilistic Approach, Bayesian Networks.

# Table des matières

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Contexte .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Problématique .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Objectifs .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Organisation de la thèse .....</b>	<b>6</b>
<b>ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES APPLICATIONS WEB : ÉTAT DE L'ART</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Applications Web : quelques généralités .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Travaux apparentés : introduction .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Travaux proposant des principes et des recommandations.....</b>	<b>11</b>
2.3.1 Travaux focalisant sur l'utilisabilité des applications Web .....	12
2.3.1.1 Travaux initiaux .....	12
2.3.1.2 Directives et recommandations.....	13
2.3.1.3 Questionnaire et check-list.....	15
2.3.2 Travaux sur la qualité en général des applications Web.....	16
2.3.2.1 Travaux initiaux .....	16
2.3.2.2 Études des aspects généraux de la qualité.....	17
2.3.2.3 Standard et consortium .....	19

<b>2.4 Méthodologies d'évaluation quantitative de la qualité.....</b>	<b>20</b>
2.4.1 La « Méthode d'Évaluation de la Qualité du Web » .....	20
2.4.2 Le « Modèle Flou pour l'Évaluation de la Qualité du Logiciel » .....	21
2.4.3 La « Méthode Généralisée pour l'Évaluation du Web » .....	23
<b>2.5 Développement des outils d'évaluation.....</b>	<b>23</b>
2.5.1 Outils pour l'évaluation de la qualité.....	24
2.4.1 Le « Contrôleur de la Qualité de Conception de Sites Web » .....	25
<b>2.6 Travaux proposant un modèle général de la qualité .....</b>	<b>26</b>
<b>2.7 Ontologies .....</b>	<b>27</b>
<b>2.8 Conclusion de l'état de l'art.....</b>	<b>28</b>
 <b>DÉMARCHE VERS L'ÉLABORATION D'UN MODÈLE DE QUALITÉ POUR LES APPLICATIONS WEB.....</b>	 <b>32</b>
<b>3.1 Construction d'un modèle de base de la qualité .....</b>	<b>33</b>
3.1.1 Rappel sur le développement du modèle de base .....	33
3.1.1.1 Phase d'intégration.....	33
3.1.1.2 Phase d'extension.....	34
3.1.1.3 Phase d'élaboration des mesures et d'évaluation.....	35
3.1.2 Raffinement du modèle par l'application de GQM .....	36
3.1.2.1 Application du paradigme GQM .....	36
3.1.2.2 Résultats et conclusion.....	40
<b>3.2 Discussion des travaux apparentés et du modèle de base .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3 Choix de l'approche probabiliste .....</b>	<b>43</b>
3.1.3 Rappel sur les Réseaux Bayésiens .....	46
3.1.3.1 Le théorème de Bayes.....	46

3.1.3.2	La structure et les paramètres des réseaux Bayésiens.....	46
3.1.3.3	Les idiomes .....	48
3.1.4	Rappel sur la logique floue .....	49
<b>3.4</b>	<b>Méthodologie d'évaluation de la qualité.....</b>	<b>50</b>
3.4.1	La phase de production du modèle de qualité.....	51
3.4.1.1	Étape de la collecte des données.....	51
3.4.1.2	Étape de raffinement .....	52
3.4.1.3	Étape de la construction du graphe .....	53
3.4.1.4	Étape de la définition des paramètres .....	53
3.4.2	La phase d'évaluation .....	54
	<b>ÉLABORATION DU MODÈLE PROBABILISTE DE LA QUALITÉ .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1</b>	<b>Définition de la structure du graphe.....</b>	<b>56</b>
4.1.1	Construction du sous-réseau de base de la qualité des applications Web.....	57
4.1.2	Construction du sous-réseau de la qualité des liens.....	59
4.1.2.1	Les sous-critères de la qualité des liens d'après la littérature.....	61
4.1.2.2	Le sous-réseau de base de la qualité des liens .....	64
4.1.2.3	Le sous-réseau de l'identification des liens .....	64
4.1.2.4	Le sous-réseau de l'affabilité des liens .....	68
4.1.2.5	Le sous-réseau rassemblé de la qualité des liens .....	69
<b>4.2</b>	<b>Définition des paramètres .....</b>	<b>71</b>
4.2.1	Cas des nœuds intermédiaires.....	71
4.2.2	Cas des nœuds d'entrée.....	73
4.2.2.1	Cas des critères binaires mesurés selon leur présence.....	73
4.2.2.2	Cas des critères ayant des degrés d'existence mesurables.....	74
4.2.2.3	Cas des critères admettant une infinité de valeurs .....	74
4.2.2.3.1	Partitionnement flou.....	75
4.2.2.3.2	Exemple d'application .....	76

4.2.2.3.3 Degrés d'appartenance et probabilités .....	78
4.2.2.3.4 Définition des TPNs à partir des degrés d'appartenance .....	79
<b>4.3 Mise en œuvre du réseau Bayésien .....</b>	<b>79</b>
<b>4.4 Conclusion .....</b>	<b>81</b>
<b>APPLICATION À LA NAVIGABILITÉ .....</b>	<b>83</b>
<b>5.1 Introduction à la conception de la navigabilité .....</b>	<b>84</b>
5.1.1 La conception de la navigabilité comme facteur de qualité.....	84
5.1.2 Définition de la conception de la navigabilité .....	86
<b>5.2 Méthodologie d'évaluation de la Navigabilité .....</b>	<b>88</b>
5.2.1 Étape de la collecte des données .....	88
5.2.2 Étape de raffinement .....	94
5.2.3 Étape de la construction du graphe .....	97
5.2.3.1 Les recommandations dans la littérature des critères de la Navigabilité .....	97
5.2.3.2 Le sous-réseau de base de la Navigabilité .....	102
5.2.3.3 Le sous-réseau de la facilité à localiser l'information .....	104
5.2.3.4 Le sous-réseau de la facilité d'accéder ou de se lier à l'information.....	108
5.2.3.5 Le sous-réseau de la Navigabilité .....	111
5.2.4 Étape de la définition des paramètres .....	112
5.2.4.1 Cas des nœuds intermédiaires .....	112
5.2.4.2 Cas des nœuds d'entrée.....	113
5.2.5 Mise en œuvre du sous-réseau de la navigabilité.....	115
<b>5.3 Évaluation de la facilité de la navigation d'une page Web .....</b>	<b>116</b>
<b>5.4 Conclusion .....</b>	<b>120</b>
<b>RÉALISATION ET VALIDATION .....</b>	<b>121</b>

<b>6.1 Développement de l'environnement d'évaluation.....</b>	<b>121</b>
6.1.1 L'éditeur/moteur des réseaux Bayésiens .....	122
6.1.2 Le générateur des fonctions de probabilités.....	122
6.1.3 L'outil pour la collecte des mesures .....	123
<b>6.2 Validation de l'approche .....</b>	<b>128</b>
6.2.1 Objectifs de l'étude .....	128
6.2.2 Formulation de l'hypothèse .....	128
6.2.3 Sélection des variables.....	129
6.2.4 Sélection des sujets .....	130
6.2.5 Conception de l'expérience.....	130
6.2.5.1 Sélection des pages .....	131
6.2.5.2 Sélection des tâches .....	131
6.2.5.3 Type d'évaluation et échelle .....	131
6.2.5.4 Questionnaire d'évaluation .....	132
6.2.5.5 Distribution des pages.....	132
6.2.5.6 Préparation de l'expérience.....	134
6.2.6 Les Techniques d'analyse .....	134
6.2.7 Recueil des données de l'expérience .....	135
6.2.8 Résultats et interprétations.....	138
6.2.8.1 Vérification de l'hypothèse générale .....	138
6.2.8.2 Évaluation partielle .....	140
6.2.8.2.1 Cas du nœud Localiser.....	140
6.2.8.2.2 Cas du nœud SeLier.....	142
6.2.8.2.3 Cas du nœud VitesseTelech .....	143
6.2.8.3 Autres résultats.....	143
6.2.8.4 Analyse qualitative.....	144
6.2.9 Validité de l'évaluation.....	146
6.2.9.1 Validité interne.....	146
6.2.9.2 Validité externe.....	147

6.2.9.3	Validité de construction .....	147
6.2.9.4	Validité de conclusion.....	148
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>		<b>149</b>
<b>7.1</b>	<b>Contributions et limitations .....</b>	<b>150</b>
<b>7.2</b>	<b>Travaux futurs .....</b>	<b>152</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>		<b>154</b>
<b>ANNEXE A.....</b>		<b>I</b>
<b>Modèle de base de la qualité des applications Web .....</b>		<b>I</b>
<b>ANNEXE B.....</b>		<b>V</b>
<b>Les critères et sous-critères de l'utilisabilité après application de GQM.....</b>		<b>V</b>
<b>ANNEXE C.....</b>		<b>XVIII</b>
<b>C.1</b>	<b>Exemple de questionnaire pour l'expérience de validation .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>C.2</b>	<b>Liste des pages Web évaluées.....</b>	<b>XXXI</b>
<b>ANNEXE D.....</b>		<b>XXXIV</b>
<b>Tables de probabilités des nœuds intermédiaires .....</b>		<b>XXXIV</b>
<b>ANNEXE E.....</b>		<b>XXXVII</b>
<b>Graphe de signification du rang de Spearman.....</b>		<b>XXXVII</b>



## Liste des tableaux

Tableau 1. Les travaux sur la qualité des applications Web.....	10
Tableau 2. Les caractéristiques et sous-caractéristiques de la qualité selon ISO/IEC 9126.11	
Tableau 3. Les critères de qualité communs suggérés dans les études citées.....	29
Tableau 4. Les intérêts des auteurs dans l'étude de la qualité des applications Web.....	30
Tableau 5. Le plan GQM de la <i>Facilité à trouver l'information</i> . ....	37
Tableau 6. Les critères retenus pour la <i>Facilité à trouver l'information</i> .....	39
Tableau 7. Les propriétés des RBs permettant de rencontrer nos objectifs.....	45
Tableau 8. Le modèle de patron utilisé pour chaque critère ou sous-critère. ....	52
Tableau 9. Les critères et sous-critères de la qualité des liens.....	61
Tableau 10. La TPN du nœud intermédiaire <i>ErreurLiens</i> . ....	72
Tableau 11. La TPN 'a priori' du nœud d'entrée <i>MecDetecLiensCoupes</i> .....	73
Tableau 12. La TPN 'a priori' du nœud <i>TitreLiens</i> . ....	74
Tableau 13. La TPN du nœud <i>NombreLiens</i> . ....	79
Tableau 14. Les critères de la Navigabilité pour une page Web. ....	93
Tableau 15. Le regroupement des critères de la Navigabilité.....	94
Tableau 16. Le plan GQM, pour la conception de la navigabilité dans une page Web.....	95
Tableau 17. La liste des sous-critères retenus pour la Navigabilité.....	96
Tableau 18. La TPN du nœud <i>MecanismesNav</i> .....	113
Tableau 19. La TPN 'a priori' du nœud <i>TexteLiens</i> . ....	113
Tableau 20. Les valeurs des critères d'entrée mesurées pour la page de PBS.....	118
Tableau 21. Un exemple de résultat du partitionnement flou pour <i>VitesseTelech</i> .....	123
Tableau 22. La distribution des pages entre les sujets. ....	133
Tableau 23. L'ordre aléatoire des séquences de pages. ....	133
Tableau 24. Le test de normalité (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test).....	136
Tableau 25. La section du tableau récapitulatif des résultats des évaluations. ....	137
Tableau 26. Les corrélations de Pearson entre NavMod, NavPer et NavExp .....	139
Tableau 27. Les corrélations entre les valeurs modélisées et évaluées.....	143

## Liste des figures

Figure 1. Modèle multidimensionnel pour la qualité des applications Web.....	27
Figure 2. Sous-réseau de base de la qualité des applications Web. ....	58
Figure 3. Sous-réseau à trois niveaux de la qualité des applications Web. ....	59
Figure 4. Interdépendances entre la qualité des liens et le réseau de base de la qualité. ....	60
Figure 5. Sous-réseau de base de la qualité des liens. ....	64
Figure 6. Sous-réseau de l'identification des liens. ....	65
Figure 7. Sous-réseau du texte de liens.....	67
Figure 8. Nouveau sous-réseau de l'identification des liens.....	68
Figure 9. Sous-réseau de l'affabilité des liens. ....	69
Figure 10. Sous-réseau rassemblé de la qualité des liens. ....	70
Figure 11. Histogramme de fréquence pour le sous-critère nombre de liens. ....	76
Figure 12. Partitionnement flou pour le sous-critère nombre de liens.....	77
Figure 13. Ensembles flous du sous-critère nombre de liens.....	78
Figure 14. Copie d'écran de la page <a href="http://www.sdcoe.k12.ca.us/">http://www.sdcoe.k12.ca.us/</a> .....	80
Figure 15. Sous-réseau de l'affabilité des liens après inférence.....	80
Figure 16. Interdépendances avec les sous-caractéristiques de la qualité. ....	86
Figure 17. Sous-réseau de base de la Navigabilité. ....	104
Figure 18. Sous-réseau préliminaire de la facilité à localiser l'information.....	105
Figure 19. Sous-réseau de la facilité à localiser l'information avec un nœud synthétique.	106
Figure 20. Sous-réseau final de la facilité à localiser l'information. ....	108
Figure 21. Sous-réseau préliminaire de la facilité de se lier à l'information. ....	109
Figure 22. Sous-réseau de la facilité de se lier à l'information avec un nœud synthétique	110
Figure 23. Sous-réseau final de la facilité de se lier à l'information. ....	111
Figure 24. Réseau Bayésien de la Navigabilité pour une page Web. ....	111
Figure 25. Histogramme de fréquence pour la vitesse de téléchargement de la page. ....	114
Figure 26. Partitionnement flou du sous-critère <i>VitesseTelech.</i> ....	115
Figure 27. Réseau Bayésien de la Navigabilité : scénario d'un cas optimal. ....	116
Figure 28. Copie d'écran de la page <a href="http://www.pbs.org">http://www.pbs.org</a> .....	117

Figure 29. Évaluation de la navigabilité de la page d'accueil de PBS. ....	118
Figure 30. Scénario d'amélioration de la navigabilité par ajout d'éléments. ....	119
Figure 31. Scénario d'amélioration de la navigabilité par ajout d'un plan de site. ....	120
Figure 32. Architecture de l'outil WebQuality. ....	124
Figure 33. Vue de l'interface Evalueur. ....	125
Figure 34. Exemple d'exécution. ....	126
Figure 35. Vue du Crawler.....	126
Figure 36. Vue d'une fraction de la base de données suite au test. ....	127
Figure 37. Corrélation entre les résultats du modèle et de l'expérience.....	129
Figure 38. Représentation des valeurs obtenues pour NavMod, NavExp et NavPer. ....	139
Figure 39. Représentations des valeurs obtenues pour LocMod et LocExp.....	141
Figure 40. Représentations des valeurs obtenues pour SeLierMod et SeLierExp.....	142
Figure 41. Copie d'écran de la page C ( <a href="http://www.addagenc.com/">http://www.addagenc.com/</a> ).....	145
Figure 42. Copie d'écran de la page D ( <a href="http://www.newzealand.com/....cfm/">http://www.newzealand.com/....cfm/</a> ) .....	145

*À ma famille ...*

## Remerciements

J'aimerais profondément remercier mon directeur de recherche Houari Sahraoui pour son appui considérable et sa contribution dans l'évolution de cette thèse. Mes remerciements vont pareillement à mon co-directeur de recherche Mourad Badri pour sa disponibilité et ses conseils très bénéfiques pour la réalisation de ce travail.

Je remercie également tous les membres du jury, Guy Lapalme président, Yann-Gaël Ghéhéneuc membre et Hakim Lounis examinateur externe d'avoir accepté de participer à l'évaluation de ma thèse.

Mes vifs remerciements à Linda Badri, professeure à l'Université de Québec à Trois-Rivières, pour son aide précieuse tout au long de cette étude.

Je tiens à remercier très sincèrement tous ceux et toutes celles qui ont collaboré, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse. En particulier François Charland, étudiant à la maîtrise à l'Université du Québec à Trois-Rivières, pour sa contribution dans l'implantation de l'outil d'évaluation. De plus, un grand merci aux étudiants gradués de l'université de Montréal et ceux de l'université du Québec à Trois-Rivières qui ont collaboré à l'étude expérimentale conduite afin de valider ce travail. Je voudrais aussi signaler que l'aide financière de l'organisme subventionnaire FQRNT m'a été précieuse et m'a encouragé à poursuivre la recherche.

Enfin, je remercie profondément mes parents de m'avoir toujours poussée à la recherche de la connaissance. Je remercie ma famille de son soutien illimité durant toutes ces années d'étude. Merci à mon mari pour sa patience infinie, sa compréhension, son support continue et tant d'autres choses. Merci à mes enfants et à ma petite fille Sarah pour leur amour et leur succès.

## **Chapitre 1**

# **Introduction**

### **1.1 Contexte**

L'évolution et la métamorphose des moyens de communication, d'accès à l'information et des méthodes de recherche ont bouleversé notre façon de penser, d'interagir, d'apprendre et d'accomplir nos tâches. La rapidité d'accès à l'information et la disponibilité de toute sorte de savoir et de sciences nous donnent l'impression que tous nos besoins en matière de connaissance sont facilement satisfaits. Avec l'Internet, notre vision du monde a changé. Le Web est universel et tous les pays, les communautés et les cultures sont devenus aussi proches de nous que le clavier ou l'écran de notre ordinateur personnel.

À présent, l'Internet est une ressource incontournable dans la vie quotidienne. Auprès des familles, c'est un instrument de jeu et de découverte pour les enfants, une source de recherche des connaissances pour tous et un moyen d'information et de communication pour les aînés. Au niveau des écoles, c'est un outil d'enseignement et de formation pour développer les capacités des jeunes pour la recherche. Pour les universités, il constitue un support à l'éducation, à la recherche, à l'apprentissage, etc. Spécifiquement dans le domaine de l'informatique, c'est une mine de données pour les informaticiens et les développeurs de logiciels.

Partout, le Web sert à diffuser et à partager l'information. Pour les affaires, le Web propose des possibilités infinies aux entreprises et aux organisations, dont entre autres, le commerce électronique. Il est utilisé par les gouvernements pour publier leurs politiques et leurs statistiques en matière d'économie, de finances, de santé, de criminalité, etc. Il joue un grand rôle dans le domaine des médias et de la publicité. Il offre des solutions importantes aux banques, à la Bourse et aux institutions financières. Enfin, l'Internet garde la place pour les sites de loisirs, de services, des arts, des voyages, des jeux en ligne, etc.

Les utilisateurs de l'Internet ont dépassé le milliard en 2005 et dépasseront probablement les deux milliards en 2015 selon l'Alertbox<sup>1</sup> de Jacob Nielsen. Pendant ce temps, le Web évolue pour devenir une partie de la vie de chacun de nous. Sa croissance dynamique continue. Le nombre des applications Web a doublé depuis mai 2004, et il est multiplié par 100 depuis avril 1997. En novembre 2006 Internet a dépassé les 100 millions de sites. Il compte 125,626,329 sites en juillet 2007 (Netcraft 2007), ce qui revient à plus de 10 milliards de pages sur le Web. Tant d'information et de savoir à partager et à utiliser avec confiance, mais aussi avec doute et méfiance.

La complexité et la diversité des applications Web évoluent et s'amplifient aussi rapidement que leur nombre. Elles sont de plus en plus sophistiquées, variées et sont soutenues par une avancée remarquable des technologies sous-jacentes. Ces applications sont hétérogènes, avec une architecture N-tier. Elles peuvent être générées dynamiquement et utilisent des langages de plus en plus évolués. Elles interagissent avec les utilisateurs, les autres applications et les bases de données. Les applications Web permettent à l'utilisateur de créer, éditer, manipuler et stocker des données. Ces applications implémentent des applications multimédia, des jeux, des systèmes de réservation, des sites d'achats ou d'enchères en ligne, des transactions monétaires, etc. Leur utilisation dans des secteurs critiques sollicite des normes spécifiques pour répondre aux problèmes de précision et de sécurité nécessaires aux exigences de ces secteurs. En outre, vu leur importance dans le

---

<sup>1</sup> À l'adresse [http://www.useit.com/alertbox/internet\\_growth.html](http://www.useit.com/alertbox/internet_growth.html)

domaine du commerce électronique, ces applications tendent à être plus facilement accessibles, intuitives et élaborées aussi bien que sécuritaires pour les besoins du B2B (Business to Business) et du B2C (Business to Consumer).

Concevoir et développer de telles applications devient de plus en plus coûteux en argent mais aussi en compétences humaines. Aujourd'hui, construire une application Web n'est plus seulement une affaire d'ingénierie, c'est aussi une affaire de communication. Selon Pastor (Pastor 2002), les techniques de marketing sont, d'une part, nécessaires pour fournir une valeur ajoutée face à la concurrence. D'autre part, les techniques d'interactions suggestives jouent un rôle central dans l'assurance de la qualité. De ce fait, ingénierie, communication et esthétique doivent être combinées dans le processus de construction de ce produit. Cette tâche requiert ainsi, une collaboration étroite entre les gestionnaires du Web, les programmeurs spécialisés et les concepteurs graphiques afin de créer une application viable et d'assurer la convivialité de son interface. Ces applications nécessitent donc un développement avec des attributs de très haute qualité (Wu 2002).

Cependant, bien que nous soyons assez avancés dans l'ère de l'Internet, le problème de la qualité du Web se pose toujours. Dans la plupart des cas, le développement des systèmes Web se fait d'une façon ad hoc sans approche systématique ni procédures de contrôle et d'assurance qualité (Murugesan 2001; Escalona 2004). Or, une pauvre qualité des applications Web s'avère indéniablement préjudiciable. Nielsen dans l'Alertbox<sup>2</sup> remarque que seules les applications de qualité survivent à la compétition et aux exigences des utilisateurs. Ainsi, dans un objectif d'assurance qualité, plusieurs organisations comme le W3C ou l'IEEE ont développé des directives et des recommandations pour améliorer la qualité des applications Web. Par ailleurs, plusieurs travaux de recherche se concentrent sur l'étude des facteurs de qualité qui affectent le Web.

---

<sup>2</sup> À l'adresse <http://www.useit.com/alertbox/20030825.html>



## 1.2 Problématique

Malgré les constats précédents, la préoccupation vis-à-vis de l'évaluation de la qualité des applications Web demeure marginale. Le besoin de mettre au point des principes et des méthodes spécifiques au développement de ce type d'application et à l'assurance de leur qualité devient pressant dans l'industrie du logiciel. Ces dernières années, il y a eu émergence d'approches basées sur l'application des principes traditionnels et éprouvés du génie logiciel au développement des applications Web. Ceci se révèle intéressant mais non suffisant vu la spécificité et la complexité accrue de ces dernières.

En effet, la qualité est une notion multidimensionnelle (Ruiz 2003). Elle implique un ensemble de facteurs interdépendants. Les applications Web sont des applications logicielles particulières. Les facteurs qui affectent leur qualité sont, en partie seulement, ceux qui affectent la qualité des autres logiciels. Toutefois, ces applications sont distribuées, complexes, hétérogènes, changent rapidement de contenu, accessibles à tous, et s'affichent sur différents dispositifs. Les applications Web sont supposées être intuitives, librement navigables et facilement utilisables. L'utilisateur s'attend à ce qu'elles soient toujours disponibles et avec un temps de réponse rapide.

Pour cela, la plupart des organisations ou des entreprises ont essayé de développer leurs propres recettes internes et leurs propres outils pour la conception, le développement et l'évaluation de leurs applications Web. En outre, plusieurs équipes de recherche ont élaboré des check-lists, des méthodologies et des outils spécifiques au Web (Keevil 1998; Ivory 2002; Olsina 2002) pour évaluer plus objectivement la qualité des sites et des pages Web.

En général, les travaux sur l'évaluation quantitative de la qualité des applications Web se sont intéressés à la recherche et à la détermination des facteurs spécifiques pouvant affecter la qualité de ces applications. Pour la plupart, les auteurs évoquent les mêmes facteurs de qualité, mais les divergences apparaissent dans la façon de les définir, de les regrouper et de les évaluer (Malak 2002a). En effet, plusieurs auteurs focalisent sur l'étude

d'une ou de quelques caractéristiques de la qualité minimisant l'importance des autres (Boldyreff 2000; Nielsen 2000; Olsina 2001). De plus, les valeurs seuils proposées pour certains facteurs sont contradictoires (Ivory 2002) et la plupart des métriques existantes restent partielles et confuses (Calero 2004). En outre, l'évaluation de plusieurs facteurs de la qualité est subjective et nécessite l'intervention de l'utilisateur. Cependant, l'imprécision et la subjectivité dans la mesure des facteurs sont souvent résolues d'une façon contestée (Yip 2005).

Par ailleurs, plusieurs études (Brajnik 2001; Olsina 2001; Albuquerque 2002) présentent des modèles hiérarchiques qui se sont révélés problématiques. Avec ces modèles, le choix d'un regroupement particulier dans la hiérarchie implique l'ignorance de certaines relations ou interdépendances. Ce qui évoque le problème d'incertitude sur le meilleur regroupement.

Ces problèmes d'imprécision, de subjectivité et d'incertitude influencent l'objectivité des méthodologies proposées lors de l'évaluation de la qualité. Il faudrait donc assurer un modèle adéquat pour les modes de raisonnement approximatifs, supportant le cas de la plupart des facteurs affectant la qualité des applications Web.

### **1.3 Objectifs**

Assurer la qualité d'une application Web est essentiel pour son succès et sa survie. L'accroissement du nombre des applications Web et l'élargissement de leurs domaines d'application sollicitent de plus en plus la conception d'un produit de qualité. Il devient primordial de spécifier les différents facteurs affectant la qualité de ces applications et de développer des méthodes et des outils automatisés permettant de les évaluer. C'est dans ce contexte, et dans un but d'assurance qualité, que s'insère ce travail de recherche. Les objectifs de cette recherche sont :

- identifier les critères de qualité spécifiques aux applications Web ;

- proposer un modèle de qualité qui tient compte des caractéristiques particulières de ces applications ;
- élaborer une méthodologie permettant l'évaluation quantitative de la qualité de ces applications ;
- automatiser le processus d'évaluation ;
- valider le modèle, la méthodologie et l'automatisation sur de vraies applications Web.

Cependant, dans ce travail, nous nous intéressons à la qualité des applications Web du point de vue de l'utilisateur. Nous ne nous intéressons pas aux aspects relatifs au point de vue du développeur tels que l'architecture n-tiers de ces applications, les bases de données ou langages de programmation. De ce fait, nous nous limitons aux applications Web statiques.

## **1.4 Organisation de la thèse**

Notre dissertation est organisée comme suit. Le deuxième chapitre présente un état de l'art dans le domaine de l'évaluation des applications Web. Il résume un nombre important des études et des travaux sur les caractéristiques de la qualité. Il fait ressortir, par ailleurs, la complexité et la diversité de la recherche dans ce domaine et l'absence de consensus sur les facteurs de qualité pertinents pour le Web, ou sur une méthodologie d'évaluation appropriée.

Le troisième chapitre est une introduction au développement d'un modèle de qualité pour les applications Web. Ce chapitre rappelle, dans un premier temps, le processus d'élaboration d'un modèle hiérarchique de la qualité qui a été développé dans le cadre de mes études de maîtrise. Ensuite, il décrit le raffinement de ce modèle par l'utilisation du paradigme GQM (Goal, Questions, Metrics) et les améliorations apportées au modèle original. Il s'ensuit une étude critique du modèle hiérarchique obtenu et une discussion de ses insuffisances. Dans un deuxième temps, nous présentons les motivations amenant au choix des réseaux Bayésiens pour construire notre modèle de qualité. Enfin, après un bref

rappel des approches probabilistes utilisées (réseaux Bayésiens et logique flou), ce chapitre décrit les différentes étapes de la méthodologie que nous proposons pour l'évaluation de la qualité des applications Web.

Le quatrième chapitre explique notre approche probabiliste, proprement dite, pour modéliser la qualité des applications Web. Il aborde les détails de l'élaboration du modèle probabiliste, la construction du réseau Bayésien et la définition des paramètres de ce réseau. Le chapitre se termine par la mise en œuvre d'un sous-réseau de la qualité des liens.

Le cinquième chapitre est un exemple d'application complet de notre modèle et de notre méthodologie d'évaluation sur un facteur important qui affecte la qualité des applications Web et qui est la conception de la navigabilité. Il montre le processus d'élaboration des critères de la navigabilité, la construction du sous-réseau Bayésien correspondant à ce facteur, le procédé de collecte des données numériques nécessaires à l'évaluation quantitative de ce facteur et la définition des paramètres du réseau. Enfin, il illustre l'application de notre méthodologie sur une application Web choisie sur Internet. La mise en œuvre du sous-réseau Bayésien construit permet l'évaluation quantitative de la qualité de la conception de la navigabilité pour cette application et les possibilités d'amélioration.

Le sixième chapitre traite de la réalisation de l'approche et de sa validation. Une description du développement d'un environnement d'évaluation, composé de trois modules et implantant le modèle, est présentée à ce niveau. Enfin, la validation de l'approche est effectuée par une expérience contrôlée impliquant plusieurs sujets et un certain nombre d'applications Web choisies aléatoirement sur l'Internet. Une discussion et une interprétation des résultats obtenus terminent ce chapitre.

Enfin, le septième chapitre conclut cette thèse. Il présente une synthèse de notre travail et discute des perspectives d'amélioration.

## **Chapitre 2**

# **Évaluation de la qualité des applications Web : État de l'art**

### **2.1 Applications Web : quelques généralités**

Les applications Web sont des applications logicielles accessibles par l'Internet ou Intranet à travers un navigateur ou un autre agent utilisateur (W3C 1999). Elles ont une architecture N-tiers comprenant un navigateur, un moteur utilisant une des technologies dynamiques du Web (ASP ou ASP.NET, CGI, JSP ou PHP, ...), des serveurs de données et des serveurs d'applications. En général, le navigateur envoie des requêtes au moteur qui le sert en faisant des vérifications et des mises à jour auprès de la base de données et génère une interface utilisateur. Ces applications utilisent plusieurs langages de scripts pour ajouter des éléments dynamiques à l'interface utilisateur. Elles sont mises à jour et maintenues, pour des milliers de clients, sans déploiement ni installation de logiciels.

Le rôle principal des applications Web est de faciliter la réalisation d'une ou de plusieurs tâches. À la différence de site Web, l'utilisateur interagit avec l'application Web et ne se limite pas à la recherche d'information classique. Une application Web établit une relation avec chaque visiteur pour l'accès et l'échange des données et des services. Elle a la capacité d'accepter les changements des données d'une façon permanente ; de telles

données peuvent prendre la forme d'une transaction complète de vente, d'enregistrements de ressources humaines, ou de messages électroniques.

Par rapport aux applications conventionnelles, les applications Web ont leurs propres spécificités (Deshpand 2002) :

- elles ont la possibilité d'adopter de nouvelles technologies, de méthodologies émergentes et diverses plateformes ;
- elles possèdent un contenu comprenant un mélange de texte et d'autres média ;
- elles exigent des hautes performances en termes de vitesse, d'accès, etc. ;
- elles sont sujettes à des cycles de développement réduits et des spécifications des besoins insuffisantes ;
- elles sont adoptées en l'absence de processus de test rigoureux ;
- elles sont en évolution continue et ont des cycles de révision très courts ;
- elles subissent l'évolution des standards auxquels elles doivent se conformer dans certaines conditions spécifiques (les standards d'accessibilité obligatoires pour les sites Web du gouvernement par exemple) ;
- pour créer de telles applications, il est nécessaire de comprendre et d'utiliser des disciplines variées, comme l'architecture de l'information et le design graphique ;

Concernant les utilisateurs, les applications Web peuvent s'adresser à des utilisateurs n'importe où dans le monde. Tous ces utilisateurs n'ont probablement pas les mêmes notions de qualité. Ainsi, des stratégies et des politiques doivent être développées pour mieux comprendre ces utilisateurs, pour établir les paramètres de qualité de ces applications et pour assurer leur sécurité.

De plus, la publication des applications sur le Web soulève des questions de propriété de l'information, des questions légales, sociales et éthiques et des exigences supplémentaires de sécurité.

Ces particularités montrent la complexité additionnelle des applications Web et accentuent les facteurs potentiels qui peuvent affecter leur qualité.

## 2.2 Travaux apparentés : introduction

Afin de procéder à un état de l'art dans le domaine de la qualité des applications Web, plusieurs travaux de recherche sont examinés. En effet, depuis sa création, le Web ne cesse d'évoluer. Les applications Web utilisent constamment de nouvelles technologies et proposent continuellement de nouveaux services. En même temps, les recherches conduites pour évaluer et améliorer la qualité du Web évoluent à leur tour pour répondre aux changements perpétuels de ces applications.

Un certain nombre de travaux ont proposé des principes, des recommandations et des suggestions pour améliorer la qualité du Web. D'autres études ont présenté des méthodologies et des outils automatisés pour l'évaluation de cette qualité. Plus récemment, plusieurs auteurs ont conçu des modèles généraux de la qualité et ont développé des ontologies spécifiques au domaine du Web. Le Tableau 1 résume les différents types de travaux dans ce domaine.

<b>Travaux sur la qualité des applications Web</b>						
<b>Principes et Recommandations</b>		<b>Modèles et Méthodologies</b>	<b>Outils automatisés</b>		<b>Modèles généraux</b>	<b>Ontologies</b>
Facilité d'utilisation	Qualité en général	Facilité d'utilisation et Autres caractéristiques	Outils d'aide à la conception	Outils d'évaluation de la facilité d'utilisation	Modèles multi-dimensionnels	Ontologies pour le Web

Tableau 1. Les travaux sur la qualité des applications Web.

Plusieurs de ces travaux se basent sur le standard ISO/IEC 9126 (ISO/IEC9126 2003) pour définir les caractéristiques et les sous-caractéristiques de la qualité des applications Web (Tableau 2). D'autres études s'intéressent et se limitent à l'étude d'un ou de plusieurs facteurs spécifiques ou évoquent des facteurs supplémentaires en indiquant leur importance dans l'assurance de la qualité du Web.

<b>Caractéristiques</b>	<b>Sous-caractéristiques</b>
<b>Fonctionnalité</b>	Aptitude Exactitude Interopérabilité Sécurité Conformité
<b>Fiabilité</b>	Maturité Tolérance aux fautes Possibilité de récupération
<b>Utilisabilité</b>	Compréhensibilité Facilité d'apprentissage Facilité d'exploitation Attractivité
<b>Rendement</b>	Performance Ressources
<b>Maintenabilité</b>	Facilité d'analyse Facilité de modification Stabilité Testabilité
<b>Portabilité</b>	Facilité d'adaptation Facilité d'installation Conformité Interchangeabilité

Tableau 2. Les caractéristiques et sous-caractéristiques de la qualité selon ISO/IEC 9126.

Dans le Tableau 2, les mots « Utilisabilité » et « Maintenabilité » sont utilisés pour désigner « la facilité d'utilisation » et « la facilité de maintenance » respectivement. Pour la suite de cette dissertation et afin d'alléger le texte, nous gardons cette terminologie.

### 2.3 Travaux proposant des principes et des recommandations

Le domaine de la qualité des applications Web n'a pas atteint sa maturité. Pour le moment, il n'y a pas de standards spécifiques ni de consensus connus d'assurance qualité qui régissent les pratiques de conception, de développement et de publication de ces applications.

Afin d'aider les développeurs à améliorer la qualité de leurs applications, plusieurs organisations, impliquées dans le domaine du Web, ont publié des directives et des recommandations à suivre (W3C 1999; IEEE 2001 2001; IBM 2004). Sur le plan de la



recherche scientifique, plusieurs travaux ont permis, d'une part, d'établir des principes pour concevoir et développer des applications Web et, d'autre part, de trouver des métriques pour permettre l'évaluation quantitative de leur qualité. Certains de ces travaux focalisent sur l'utilisabilité, d'autres considèrent la qualité en général.

### **2.3.1 Travaux focalisant sur l'utilisabilité des applications Web**

L'utilisabilité est la caractéristique de qualité qui permet d'évaluer l'effort requis pour utiliser un système ou la facilité d'utilisation d'une application logicielle. Pour une application Web, cette caractéristique est une condition nécessaire de survie. En effet, selon l'Alertbox<sup>3</sup> de Nielsen, quand un site est difficile à utiliser, lorsqu'une page d'accueil ne donne pas des informations claires ou si une page est difficile à lire, l'utilisateur quitte l'application. Ainsi, et depuis les débuts d'Internet, plusieurs études sont conduites afin d'aider les développeurs à assurer une bonne utilisabilité.

#### **2.3.1.1 Travaux initiaux**

Les études de Botafogo & al (Botafogo 1992) sont parmi les premiers travaux sur l'utilisabilité des applications Web. Les auteurs ont utilisé la théorie des graphes et les autres méthodes du génie logiciel pour identifier les concepts reliés à la cohérence et au couplage de l'hypertexte.

Au cours des années 90, de nombreux travaux, entre autres ceux de Kapoun et Alexander & al (Alexander 1996; Kapoun 1998), ont adopté les cinq critères nécessaires à l'évaluation du contenu d'une page, à savoir l'Autorité, l'Acceptation, la Couverture, l'Objectivité et l'Exactitude. À la même période, Shum (Shum 1996) puis Rosenfeld & al (Rosenfeld 1998) ont souligné le fait qu'un grand nombre de travaux de recherche sur les interfaces homme machine et sur l'utilisabilité se concentrent sur le contenu d'une page

---

<sup>3</sup> À l'adresse <http://www.useit.com/alertbox/20030825.html>

individuelle. Ils ont mentionné le besoin de considérer la structure du contenu informationnel du site en entier pour améliorer la qualité.

En outre, Lohse & al (Lohse 1998) ont identifié et mesuré 32 critères de qualité qui influencent les ventes par Internet dans le cas des sites du commerce électronique. Pour leur part, Lowe & al (Lowe 1999) ont étudié plusieurs métriques proposées dans la littérature pour mesurer la qualité des applications hypermédia. Ils ont constaté la difficulté dans l'interprétation des valeurs de ces métriques. Ensuite, ils ont proposé d'autres métriques liées directement à l'utilisabilité du Web telle que la navigabilité, la validité des liens et l'organisation des concepts.

### **2.3.1.2 Directives et recommandations**

Des enquêtes et des évaluations spécifiques se sont succédé par la suite pour évaluer l'utilisabilité des sites Web. Plusieurs auteurs (Nielsen 2000; Koyani 2003; Nogier 2005) se sont concentrés sur l'étude de cette caractéristique. Ils ont émis des conseils, des directives, des recommandations, des méthodes d'inspection et des tests pour permettre aux développeurs du Web d'améliorer la qualité de leurs applications.

Considéré comme un expert dans le domaine de l'ergonomie du Web, Nielsen (Nielsen 2000) propose des principes, des conseils et des techniques de conception spécifiques aux applications Web. Ses recommandations couvrent la plupart des problèmes de l'utilisabilité de ces applications, notamment :

- la conception de la page d'accueil,
- la navigation, le téléchargement, le temps de réponse,
- le respect des standards, l'accessibilité,
- la compatibilité d'un site avec les navigateurs et les systèmes d'exploitation,
- la fiabilité de l'information présentée et la qualité du contenu.

Des directives et des évaluations quantitatives pour plusieurs critères sont présentées dans ces travaux et dans les colonnes d'Alertbox sur son site Web<sup>4</sup>. Mais, seulement quelques métriques sont fournies explicitement, comme par exemple : le temps d'exécution d'une tâche, le taux d'erreur et la satisfaction subjective de l'utilisateur<sup>5</sup>. En outre, il signale que des tests d'utilisabilité, conduits avec une bonne méthodologie et au bon moment dans le planning d'un projet Web, permettent d'améliorer la facilité d'apprentissage et de diminuer le nombre d'erreurs commises par les utilisateurs<sup>6</sup>. Il conclut que tester les sites Web est essentiel pour assurer leur qualité. Toutefois, il précise que ces tests sont difficiles à réaliser puisque le Web est imprévisible et très changeant.

De plus, Nielsen évoque le problème de la viabilité à long terme des recommandations pour l'utilisabilité<sup>7</sup>. Il remarque qu'environ 80% des recommandations restent valides, bien que plusieurs autres deviennent moins importantes et que de nouvelles recommandations sont identifiées avec l'évolution d'Internet.

De leur côté, Koyani & al (Koyani 2003) ont rassemblé et organisé, sous la forme d'un guide, 209 directives à partir des suggestions et des recommandations de plusieurs experts de l'utilisabilité. Ce guide est disponible sur le Web. Le but de ce travail est de créer une ressource qui fournit les dernières innovations en matière de conception des applications Web. Selon les auteurs, ce guide est conçu pour assister les développeurs lors de la création de leurs applications Web. Il leur permet de baser leurs décisions sur les meilleures et les plus courantes directives disponibles. De plus, les auteurs précisent que leurs directives sont particulièrement appropriées pour la conception des applications orientées information.

---

<sup>4</sup> À l'adresse <http://www.useit.com>

<sup>5</sup> Dans Alertbox à l'adresse <http://www.useit.com/alertbox/20010121.html>

<sup>6</sup> Dans Alertbox à l'adresse <http://www.useit.com/alertbox/20030825.html>

<sup>7</sup> Dans Alertbox à l'adresse <http://www.useit.com/alertbox/guidelines-change.html>

Par ailleurs, ces directives peuvent être appliquées sur une gamme étendue d'autres domaines d'application. Une nouveauté cependant, ce guide attribue à chaque directive une estimation de son importance relative pour le succès de l'application Web, et une estimation de la force de preuve soutenant la directive. Ces estimations ont été récoltées auprès de concepteurs du Web, de spécialistes en utilisabilité et de chercheurs universitaires. De telles estimations permettent à l'utilisateur de vérifier rapidement quelles directives ont le plus grand impact sur le succès d'une application Web. Les directives dans ce guide couvrent les problèmes de l'accessibilité, la navigabilité, les titres, les liens, les graphiques, les images, le contenu, etc.

Enfin, les travaux de Nogier portent sur l'ergonomie des interfaces utilisateurs. Son livre (Nogier 2005) fait la synthèse des recommandations issues des travaux menés depuis plusieurs années dans le domaine de l'ergonomie informatique. L'auteur traite des différents problèmes d'ergonomie que se pose le concepteur d'une interface utilisateur. Ces travaux s'intéressent au graphisme, à la police de caractères, aux icônes, à l'organisation du dialogue, à la conception des fenêtres, au temps de réponse, aux éléments de navigation, aux liens, à la lisibilité, aux formulaires, etc. De plus, le livre propose des méthodes et donne des conseils pratiques pour rendre le dialogue homme machine simple et efficace. Il aborde aussi les problèmes de l'évaluation des applications Web par inspection ou par les tests d'utilisabilité. L'ouvrage (Nogier 2005) comporte en annexes plusieurs check-lists qui peuvent assister les développeurs dans l'application des principes ergonomiques.

### **2.3.1.3 Questionnaire et check-list**

Dans le but d'évaluer quantitativement l'utilisabilité des applications Web, Kirakowski & al (Kirakowski 1998) ont choisi un modèle de facteurs basé sur les neuf principes heuristiques de Nielsen & al (Nielsen 1990). C'est un modèle qui est utilisé avec succès pour l'évaluation des logiciels conventionnels. À partir de ce modèle, ils ont développé un questionnaire de 60 items, basé sur la satisfaction de l'utilisateur. Le questionnaire est nommé WAMMI (Website Analysis and Measurement Inventory). Les

critères d'évaluation retenus par les auteurs incluent : l'attractivité, la contrôlabilité, l'efficacité, la présence de l'aide et la facilité d'apprentissage. Les auteurs soulignent que la disponibilité sur Internet de ce type de questionnaire, peut constituer une source d'information utile sur l'utilisabilité des sites Web. WAMMI peut aussi fournir aux développeurs des éléments pour diagnostiquer les problèmes d'utilisabilité et des informations sur la manière d'améliorer un site Web.

S'appuyant aussi sur les travaux de Nielsen, Keevil (Keevil 1998) a converti les recommandations et les directives éprouvées sur l'utilisabilité des sites Web, en une liste de contrôle de 203 questions qui sont plus orientées utilisateurs que développeurs. Dans ces travaux, l'auteur a procédé à un regroupement des critères de l'utilisabilité selon : la facilité à trouver l'information recherchée, la compréhensibilité de l'information, la capacité à répondre aux besoins de l'utilisateur, la capacité de présenter une information exacte et la présentation de l'information. Dans cette check-list, plusieurs items mettent l'accent sur la langue écrite, le format, la présentation et le style. Cependant, d'après Keevil, l'utilisation de la check-list présente plusieurs avantages, mais peut être biaisée par des évaluations subjectives. Pour cela, il a essayé d'élaborer des questions très précises afin de diminuer la subjectivité des réponses. Cette liste de contrôle sert à mesurer l'index d'utilisabilité d'un site et quantifier la qualité d'un document Web. Elle peut être intéressante à utiliser dans le cadre d'une méthodologie d'évaluation incluant d'autres caractéristiques de la qualité.

### **2.3.2 Travaux sur la qualité en général des applications Web**

Plusieurs auteurs ont décrit la qualité des applications Web, sans se conformer à un standard donné. Ils se sont basés sur l'importance de certains facteurs pour améliorer la qualité et ont proposé des caractéristiques jugées pertinentes pour ces applications.

#### **2.3.2.1 Travaux initiaux**

Brown (Brown 1990) est l'un des premiers auteurs à avoir travaillé sur la maintenabilité des hypertextes conçus pour survivre à long terme. S'intéressant plus

particulièrement au Web et à son étendue, Bray (Bray 1996) a étudié un nombre important de sites. Il a tenté de fournir « des réponses quantitatives partielles à des questions qualitatives difficiles ». L'étude de Bray a porté sur la richesse des connexions du Web, la visibilité des sites, la taille des pages, et les formats de données. Il a introduit une mesure de la « sincérité » du HTML, et a essayé de déterminer l'étendue de son utilisation dans la pratique.

### 2.3.2.2 Études des aspects généraux de la qualité

Boldyreff & al (Boldyreff 2000) ont travaillé sur l'identification d'une méthode cohérente permettant de mesurer le succès d'un site en entier. Ils ont exploré les clés principales d'une bonne conception permettant l'évolution d'un site Web en fonction du temps. Dans un premier temps, les auteurs ont identifié plusieurs dimensions selon lesquelles les sites Web peuvent être classés, à savoir : la taille, le domaine, l'objectif, la technologie, la fonctionnalité, l'âge, le taux de changement et la stratégie d'évolution. Puis, partant de métriques simples (nombre de modules et ligne de codes), ils ont développé des métriques dérivées comme la densité des liens par ligne de texte qui semble importante pour caractériser l'évolution d'un site.

Ces auteurs se sont intéressés, aussi, à l'évolution d'Internet suite à la migration des applications classiques au Web. Ils ont signalé l'importance du travail d'adaptation et de ré-ingénierie nécessaire à cette migration (Boldyreff 2004). Ils se sont, par la suite, tournés vers l'étude de l'accessibilité à Internet.

Travaillant au sein de la même équipe, Dalton (Dalton 1996) a élaboré plusieurs critères pour l'évaluation des applications Web. Ces critères portent sur des aspects généraux de ces applications, qu'ils soient techniques ou autres. Ce travail s'intéresse à plusieurs caractéristiques de la qualité comme la fonctionnalité et la maintenabilité en plus de l'utilisabilité. Dans sa thèse, Dalton propose plusieurs directives concernant :

- les problèmes de validation et d'accessibilité au site ;

- les problèmes de maintenance et la nécessité d'assurer la mise à jour ;
- la présence d'information sur l'auteur et sur le responsable de la maintenance ;
- la présence des dates ;
- les possibilités de la rétroaction en ligne ;
- la documentation des exigences et des changements, etc.

Par ailleurs, pour Offut (Offut 2002), les applications Web ont de très hautes exigences pour plusieurs critères de la qualité. Les auteurs évoquent les technologies hétérogènes et diversifiées nécessaires pour construire ces applications et l'impact économique d'un mauvais développement. Ils avancent que les applications Web de grande envergure ont besoin d'être hautement fiables, très sécuritaires, continuellement maintenues et constamment disponibles. Ainsi, selon Offut, les facteurs de qualité les plus importants pour le succès des applications Web sont :

- la fiabilité, l'utilisabilité et la sécurité ; puis,
- la disponibilité, la scalabilité, la maintenabilité et le temps de mise en marché.

Offut remarque que des déficiences dans ces applications, surtout au niveau de la fiabilité ou de la sécurité, peuvent affecter des centaines de milliers de personnes et peuvent être très coûteuses. De plus, les relations entre les organisations et les consommateurs peuvent être sérieusement endommagées suite à de tels problèmes. Dans d'autres travaux (Wu 2002), les auteurs précisent que ces applications sont actuellement confrontées à de nouvelles difficultés qui affectent leur fiabilité. Ils donnent comme exemples : le changement dynamique du flot de contrôle, la création dynamique des pages Web suite à la requête de l'utilisateur et la variation du contrôle de l'interface en fonction de l'utilisateur, des choix antérieurs, des données du côté du serveur, de l'heure de la requête, etc.

Récemment, deux nouvelles études concernant la performance et la fiabilité des applications Web sont apparues. Deleuze (Deleuze 2006) a constaté que, malgré l'amélioration des connexions réseaux et de la capacité des serveurs, la performance du Web reste mauvaise. Pour cela, il a examiné plusieurs caractéristiques pour différentes

pages Web. Il a remarqué que la plupart de ces pages ont un certain nombre de petits objets que le http ne manipule pas très bien. En conclusion, il avance que l'utilisation et l'incorporation par les développeurs des objets au hasard affectent la performance de leurs applications Web. De plus, il constate que la plupart des développeurs ne considèrent pas les nouvelles possibilités du http. D'ailleurs, il mentionne que la moitié des applications Web examinées ne supportent pas les nouvelles versions de http.

D'un autre côté, dans le cadre de la recherche incessante sur la production de logiciels robustes, Saba & al (Saba 2006) a travaillé sur la fiabilité de l'architecture des applications Web afin d'améliorer leur qualité. Il a développé un outil de test pour vérifier la robustesse d'une application. Il suggère que ces tests permettent d'améliorer la fiabilité de l'architecture et peuvent inspirer une nouvelle conception de l'architecture désirée.

Cependant, une autre étude récente montre que les applications Web ne répondent toujours pas aux exigences reconnues de la qualité. Ziemer & al (Ziemer 2006) ont réalisé une série d'entrevues avec des compagnies développant des applications Web. Les questions ont porté sur comment les problèmes de qualité sont gérés quand la mise-en-marché est rapide dans un environnement de compétition et de concurrence. Les résultats des investigations suggèrent qu'un contrôle efficace de la qualité passe, surtout, par une communication intensive avec les utilisateurs. Ainsi, en l'absence de standards et de consensus sur les facteurs de qualité des applications Web, la solution pour les compagnies est le recours aux tests par les utilisateurs. Ce qui est souvent coûteux en temps et en ressources.

### **2.3.2.3 Standard et consortium**

Le standard IEEE 2001 définit les pratiques recommandées pour la conception et l'implémentation des pages Web de bonne qualité et les directives de l'industrie liée à ce type d'applications. Le but de ce standard est d'améliorer la productivité des opérations Web en termes de localisation des informations pertinentes et d'efficacité des pratiques de développement et de maintenance. Ce standard ne porte pas sur les facteurs humains ou le



style, mais fournit un guide pour les développeurs du Web à propos : des droits d'auteurs, des déclarations des données, de l'indexation et de la classification des pages, du format des dates, du contexte, des sensibilités multinationales, de la tolérance des navigateurs, de l'accessibilité aux personnes handicapées, des opérations du serveur, etc.

Également, le World Wide Web Consortium (W3C) a développé des technologies interopérables (caractéristiques, directives, logiciel, et outils) pour mener le Web à sa pleine capacité. Les recommandations du W3C sont des spécifications ou un ensemble de directives permettant d'améliorer la qualité des applications Web. Ces recommandations sont généralement semblables aux normes éditées par d'autres organismes comme IBM et IEEE. De plus, W3C fait la promotion pour la compatibilité des technologies du Web telles que HTML, XHTML, XML, RDF, CSS, PNG, SVG et SOAP. À savoir, le W3C n'émet pas de normes au sens européen, mais des recommandations à valeur de standards industriels.

## **2.4 Méthodologies d'évaluation quantitative de la qualité**

À part les directives et les recommandations, des méthodologies d'évaluation assistées par des outils spécifiques se sont développées pour l'évaluation quantitative de la qualité des applications Web. Dans cette partie, nous allons présenter un aperçu de quelques méthodologies et de leurs outils d'évaluation.

### **2.4.1 La « Méthode d'Évaluation de la Qualité du Web »**

Olsina & al. (Olsina 2002) ont travaillé sur l'évaluation et la comparaison de la qualité des sites Web en phase opérationnelle. Les auteurs soutiennent qu'il existe un besoin important de développer des méthodes d'évaluation flexibles, bien définies et basées sur les standards d'ingénierie. Ils signalent la nécessité de définir des modèles et de créer des outils pour supporter le processus d'évaluation de la qualité si complexe dans le cas du Web.

Dans (Olsina 2001), les auteurs ont comparé quantitativement la qualité de plusieurs sites Web choisis dans le même domaine. Cette étude est basée sur les standards IEEE et ISO/IEC 9126 en ce qui concerne les métriques et les directives de qualité du logiciel. Elle considère quatre des six caractéristiques de la qualité selon ISO 9126. Par la suite, l'équipe a développé le WebQEM (Web Quality Evaluation Method) afin d'évaluer les caractéristiques de la qualité tout au long des différentes phases du cycle de vie d'un système d'information Web (Olsina 2002). C'est une méthode structurée d'évaluation. Elle utilise des outils logiciels pour la collection automatique de certaines données et la génération des résultats d'évaluation.

Dans cette méthode, les modèles et les procédures pour l'agrégation logique et l'évaluation des caractéristiques et des critères sont supportés par le LSP (Logic Scoring of Preference). LSP permet de tenir compte des relations de simultanéité, de remplaçabilité, de neutralité, de symétrie et d'asymétrie entre les différents critères ainsi que de leurs poids et leurs niveaux (Dujmovic 1996).

Dans leurs différents travaux, les auteurs ont développé un arbre de qualité pour des sites dans différents domaines (Olsina 2001), avec les critères spécifiques et les métriques correspondants à chaque domaine. L'ensemble des caractéristiques et critères retenus porte plus sur le point de vue des utilisateurs que sur celui des développeurs et gestionnaires.

#### **2.4.2 Le « Modèle Flou pour l'Évaluation de la Qualité du Logiciel »**

Ce travail de recherche d'Albuquerque & al. (Albuquerque 2002) porte sur l'évaluation qualitative des sites Web de commerce électronique. Il tient compte des problèmes d'incertitude et d'imprécision dans l'évaluation des critères de qualité spécifiques au Web. Cette étude utilise le modèle flou FMSQE (Fuzzy Model for Software Quality Evaluation), développé par (Belchior 1997), pour l'évaluation de la qualité du logiciel. Les auteurs proposent des valeurs optimales pour plusieurs critères. Ces valeurs sont définies par des experts du domaine de la qualité du Web et du commerce

électronique. Selon les auteurs, FMSQE permet de lier les modèles imprécis du monde réel avec leurs représentations mathématiques.

Ce travail considère deux caractéristiques de la qualité d'ISO 9126 qui sont jugées de première importance dans le domaine du commerce électronique : l'utilisabilité et la fiabilité. Les différentes étapes de la méthodologie d'évaluation sont :

- l'identification de l'objet d'évaluation et de l'ensemble d'éléments à évaluer. En tout 116 attributs pour le e-commerce, organisés d'une façon hiérarchique ;
- le choix des spécialistes qui vont participer au processus d'évaluation et l'identification de leur profil ;
- la détermination du degré d'importance de chaque attribut : opinion de 30 spécialistes et de 30 utilisateurs (concernant l'importance de l'attribut pour le e-commerce) ;
- le traitement flou des données collectées par les spécialistes ;
- l'agrégation floue des attributs de la qualité du logiciel à chaque niveau du modèle hiérarchique.

Dans le modèle hiérarchique proposé, une sous-caractéristique peut être spécifiée dans plusieurs branches. Pour les auteurs, une sous-caractéristique particulière doit être définie une seule fois et doit être localisée dans la branche où elle exerce sa plus grande influence (où elle est la plus importante). Pour la suite, en évaluant les sous-caractéristiques mesurables de la qualité, les spécialistes attribuent des notes de 0 à 4 à chacune d'elles. Ces grades sont liés à un ensemble de termes linguistiques et vont à travers un processus flou. Ainsi, ils seront transformés en un nombre flou triangulaire normal.

Ce travail, spécifique aux sites du commerce électronique, a établi une table des valeurs maximales, minimales et désirables pour tous les attributs de qualité sélectionnés. Ces valeurs montrent que la sécurité et l'intégrité sont les facteurs les plus importants du point de vue de l'utilisateur. L'importance de ces tables est de donner des valeurs de références pour l'évaluation d'un site donné dans le même domaine.

### **2.4.3 La « Méthode Généralisée pour l'Évaluation du Web »**

La méthodologie d'évaluation de Shubert & al. (Shubert 2002) utilise le modèle psychologique du comportement de Fishbein (Fishbein 1975). Elle intègre, aussi, les résultats du modèle d'Acceptation de Technologie (Davis 1985) qui décrit les effets des caractéristiques d'un système sur l'acceptation de l'utilisateur.

Les auteurs ont développé EWAM (Extended Web Assessment Method) en 1997, l'outil le plus vieux dans son genre, mais qui est par la suite révisé et amélioré. Pour développer cet outil, les auteurs ont d'abord identifié les critères de la qualité spécifiques aux sites du commerce électronique, du point de vue du consommateur. Cette identification est réalisée par des experts du domaine. Pour cela, 70 questionnaires sont collectés à partir de 55 participants différents et les critères les plus importants sont retenus. Ces critères sont subdivisés en 3 catégories : la facilité d'utilisation, l'utilité perçue et la confiance dans le site (un facteur de première importance dans ce domaine). Une grille d'évaluation est ensuite définie à partir de ces critères. EWAM procède à une double évaluation pour chaque critère : l'importance du critère dans le secteur donné et l'évaluation proprement dite du critère dans le site Web.

Les sites évalués sont comparés au profil du secteur et aux meilleures pratiques connues pour ce secteur afin de préparer le rapport d'évaluation et les possibilités d'amélioration. L'évaluateur peut utiliser cet outil en ligne pour collecter des données et évaluer la qualité d'un site donné.

## **2.5 Développement des outils d'évaluation**

Entre temps, plusieurs outils se sont développés pour automatiser, au moins en partie, l'évaluation quantitative de la qualité des applications Web. Dans cette partie, nous allons d'abord montrer un aperçu des outils d'évaluation développés. Ensuite, le contrôleur de la qualité de conception de sites Web, un outil développé par (Ivory 2002) et spécifique à l'évaluation de l'utilisabilité, est examiné.

### 2.5.1 Outils pour l'évaluation de la qualité

Un bon nombre d'outils sont développés pour permettre l'évaluation quantitative de la qualité des applications Web. Des approches critiques et des méthodes automatisées d'analyse sont conçues pour estimer la qualité des pages Web et de leurs interfaces graphiques. Citons par exemple: KRI/AG un outil de test basé sur la connaissance d'interface utilisateur (Löwgren 1992), UIDA un assistant de conception d'interface utilisateur (Reiterer 1994), AIDE un concepteur semi-automatisé d'interface (Sears 1995), un conseiller de conception (Faraday 2000), un vérificateur de la consistance de l'interface utilisateur (Mahajan 1996), un outil pour évaluer la complexité des boîtes de dialogue (Parush 1998), etc.

Par ailleurs, d'autres outils d'évaluation créés pour tester l'utilisabilité des sites Web, sont disponibles sur Internet comme A-prompt, Bobby, Doctor HTML, LIFT, Link-Bot, Macro-Bot, Meta-Bot, Net-Mechanic, Web-Criteria, Web-Garage, Web-Sat, etc. Ces outils peuvent assister les développeurs lors de la construction des applications Web. Ils sont de 3 types : des identificateurs de défaillances, des analyseurs de fautes et des outils d'analyse et de réparation.

Les travaux de Brajnik (Brajnik 2000) portent, en partie, sur l'étude de ces outils automatisés cités plus haut. Il avance que n'importe quel outil qui peut, au moins en partie, automatiser le processus d'évaluation de l'utilisabilité peut aider à résoudre le problème de la qualité des sites Web. Brajnik a défini pour son étude les critères de qualité qui peuvent être mesurés automatiquement. Ces critères correspondent à : la consistance de la présentation et des contrôles, la rétroaction adéquate, la navigation contextuelle, la navigation effective, les titres, la robustesse du site, la flexibilité, l'orthographe, le multimédia, la description des mots clés, la popularité du site, les clignotements, les animations, etc. Ensuite, il a testé ces critères à l'aide des 11 outils automatisés cités précédemment. Ces outils permettent d'évaluer le code HTML, quelques attributs de l'utilisabilité et les critères d'accessibilité selon le W3C.

L'étude des résultats des tests a montré que parmi ces outils, LIFT est capable de tester automatiquement la majorité des critères déjà cités. Mais tous les critères peuvent être testés par les différents outils. Selon Brajnik, il n'y a pas de façon standard pour évaluer les outils eux-mêmes, surtout en ce qui concerne leur efficacité et leur exactitude. Une méthodologie d'évaluation efficace doit pouvoir comparer les résultats des tests automatisés avec ceux obtenus par d'autres méthodes d'évaluation comme la méthode d'inspection de l'utilisabilité (Nielsen 1994) et de test par les utilisateurs (Nielsen 1990).

#### **2.4.1 Le « Contrôleur de la Qualité de Conception de Sites Web »**

Le contrôleur de la qualité de conception de sites Web (Ivory 2002) est un outil permettant l'évaluation quantitative de l'utilisabilité. Les travaux d'Ivory & al sont entièrement expérimentaux et basés sur l'étude de critères tirés de l'observation visuelle de sites classés comme étant de haute qualité par des experts. Dans ces travaux, les auteurs présentent un ensemble de mesures quantitatives (157 mesures) qui peuvent caractériser les aspects informationnel et graphique, mais aussi la navigabilité d'un site Web. Ces mesures sont groupées pour évaluer : des éléments du texte (% texte/page, type, qualité, complexité), des éléments de liens (nombre, type), des éléments graphiques (nombre, type), du format du texte (corps, style et taille de la police, nombre de couleurs, etc.), du format des liens (soulignement, couleur), du format des graphiques (min., max., H, W, %), du format de la page (couleurs, police, taille, éléments interactifs, style, etc.), de la performance de la page (téléchargement, accessibilité, erreur HTML, script, applet, etc.), et de l'architecture du site (consistance des éléments, texte, liens, graphiques, éléments formatés, nombre de pages, etc.).

Trois études empiriques ont permis à l'équipe de montrer la capacité de cet outil à caractériser les sites de haute qualité avec une grande précision. Cet outil interactif est développé pour permettre aux développeurs non professionnels de comparer leurs sites aux sites similaires les plus appréciés.

## 2.6 Travaux proposant un modèle général de la qualité

Dans une autre optique, certains travaux présentent une vision globale de la qualité. Ruiz & al (Ruiz 2003) ont proposé un modèle en trois dimensions pour représenter la qualité des applications Web. Ce travail est inspiré de la structure en cube, de Ramler & al. (Ramler 2002), qui montre les trois aspects de base à considérer lors des tests des sites Web. Les trois dimensions du modèle de (Ruiz 2003) représentent les aspects qui doivent être couverts lors de l'évaluation de la qualité des applications Web et qui sont les suivants :

- *features* (caractéristiques) comprenant les fonctions (ou besoins fonctionnels), le contenu, l'infrastructure et l'environnement ;
- caractéristiques de la qualité selon ISO 9126 et Quint 2, l'extension d'ISO 9126 (Niessink 2002) ;
- cycle de vie de l'application selon ISO 12207.

Ce modèle de qualité tient compte des caractéristiques de l'application et de sa maturité selon l'étape du cycle de vie considérée. Les auteurs proposent plusieurs utilisations de leur modèle : classification des métriques, caractérisation des travaux de recherche et évaluation de la qualité des applications Web. Une première utilisation du modèle a servi pour le recensement et la classification des métriques du Web (Ruiz 2003). Dans (Malak 2004), nous avons proposé une autre version de ce modèle multidimensionnel soulignant l'importance de représenter le domaine d'application (Figure 1).

Avec ce nouveau modèle, l'évaluation d'un critère donné dépend du facteur de qualité qu'il caractérise, de l'étape du cycle de vie considérée et du domaine d'application du site. Cette évaluation est ainsi plus précise, plus significative et permet de tenir compte des différents aspects affectant la qualité des applications Web. Cependant, nous avons constaté que l'addition de dimensions supplémentaires rajoute une complexité accrue à un problème déjà très complexe.

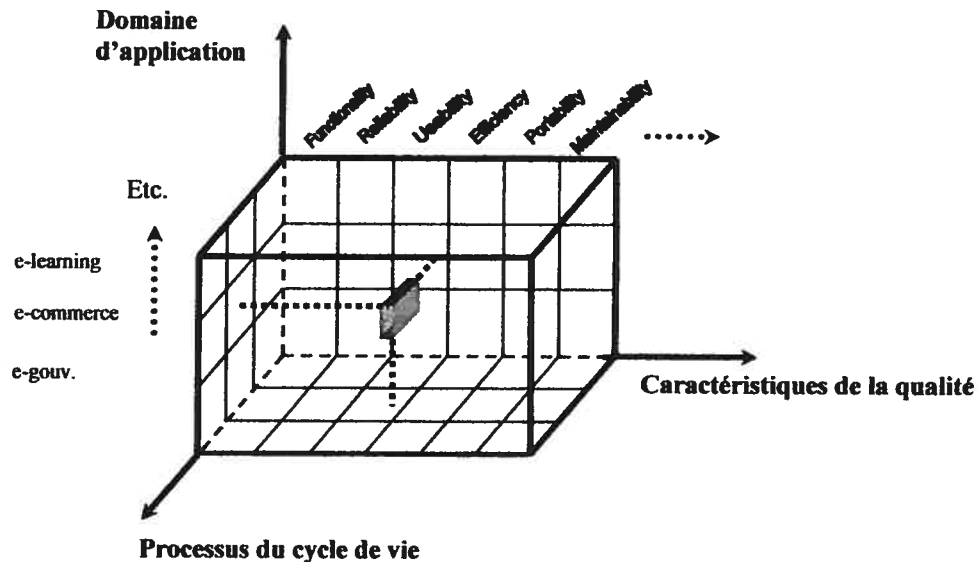


Figure 1. Modèle multidimensionnel pour la qualité des applications Web.

Récemment Moraga & al. (Moraga 2006) ont réalisé une étude comparative des modèles de qualité proposés dans le cas spécifique des portails Web. Après une vue d'ensemble des propositions de modèles de qualité relatifs aux portails, l'étude comparative entreprend la détermination des similitudes et des différences entre ces modèles. Les auteurs ont analysé les caractéristiques principales et les différentes dimensions proposées dans chaque modèle. Ils ont constaté que les dimensions actuelles dans tous les modèles sont : navigation, présentation, personnalisation et qualité intrinsèque des données. Ceci signifie que les chercheurs prêtent une attention particulière aux aspects visuels. L'étude essaye de déterminer quels sont les aspects les plus importants pour la qualité d'un portail Web et de clarifier également quelle proposition est la plus appropriée. L'étude identifie les éléments à rajouter afin de s'assurer que tous les aspects liés à la qualité des portails Web sont considérés.

## 2.7 Ontologies

Ayant remarqué l'absence de consensus sur la définition ou la signification d'un même terme dans différents documents, Martin & al. (Martín 2003) ont défini les



principaux concepts et relations d'une ontologie pour les métriques et les indicateurs du Web. Cette ontologie, basée sur les concepts des standards ISO, peut être utile pour soutenir différents procédés, méthodes et outils d'assurance qualité. Elle peut aussi servir comme base pour cataloguer un système Web (Martín 2003) ou pour le développement du processus et la prise de décision (Olsina 2004). On y retrouve 3 tables : un glossaire des concepts, une description des attributs et une description des types de relations. Les auteurs ont utilisé, comme source de consultation, une autre ontologie développée par Genero & al. (Genero 2003) relative au processus des mesures du logiciel en général et inspirée des termes du standard ISO/IEC 15939.

## **2.8 Conclusion de l'état de l'art**

Tous ces travaux de recherche constituent un pas intéressant vers le développement d'applications Web de meilleure qualité. Le Tableau 3 rassemble les critères les plus souvent cités par les auteurs et qui semblent être essentiels pour assurer la qualité d'une application Web.

Nous notons en général que l'écart, dans les procédures d'assurance qualité, se creuse entre les logiciels traditionnels et ceux du Web. Les applications Web ont leurs spécificités et leurs dynamismes et donc leurs exigences spécifiques de qualité.

Concernant les caractéristiques de la qualité, nous constatons que les auteurs se concentrent sur l'étude de l'utilisabilité. En effet, cette caractéristique a une importance primordiale dans la conception des applications Web et de leurs interfaces graphiques. Cependant, les autres caractéristiques de la qualité sont aussi importantes et la prise en considération de l'ensemble des facteurs est nécessaire.

Critères	Auteurs	Nielsen	Dalton	Olsina	Keevil	Brajnik	Koyani
Titres		U	U	F	U	U	U
Liens		U	M	F	U	M	U
Structure du site		U	U	U	U	U	U
Lisibilité		U	M	E	U		U
Carte ou plan de site		U	U	U	U	U	U
Navigabilité		U	U	F		U	U
Mécanisme recherche		U	U	F	U		U
Rétroaction en ligne		U	M	U		U	U
Mise à jour du site		U	M	U	U		U
Images / Graphiques		U	M	F	U	U	U
Navigation		U	U	R		U	U
Respect des standards		U	U		U		U
Téléchargement		U		U	U	U	U
Style		U	U	U	U		U
Orthographe, grammaire		U	U		U	U	U
Temps de réponse		U			U	U	U
Version texte		U		E		U	
Index				U	U	U	
Aide		U		U	U		U
Exactitude		U			U		
Taille de la page		U	U	E			U
Utilisation des cadres		U		E		U	U
Autorité			M				
Dates			U		U		
Clignotement		U	U			U	U
Pertinence contenu		U	U	F			U
Messages d'erreur		U			U		
Multimédia		U				U	U
Support langues				U	U		
Outils validation			M			U	

F: Fonctionnalité, R: Fiabilité (Reliability), U: Utilisabilité, E: Rendement (Efficiency), M: Maintenabilité,

Tableau 3. Les critères de qualité communs suggérés dans les études citées.

Le Tableau 4, présente une synthèse des intérêts de la recherche, dans le domaine des applications Web, des différents auteurs.

	Qualité des applications Web														Autres			
	Fonctionnalité				Fiabilité		Utilisabilité					Rendement				Maintenabilité	Portabilité	
	R	M	O	M'	O	M	R	M	Q	O	M'	T	O	M		M'		
Olsina		•	•	•	•	•							•	•	•			Ontologie
Dalton	•						•										•	Tests
Nielsen							•	•				•						
Albuquerque						•	•											FMSQE
Shubert										•	•							
Lowe							•	•										
Koyani							•		•									
Kirakowski									•									
Keevil									•									
Brajnik											•							
Ivory											•							
Brown																•		
Deleuze															•			
Saba					•													
Offutt	Tests																	
Boldyreff	Évolution																	
Ruiz	Modèle																	
IEEE, W3C	Bonnes Pratiques																	
<b>LEGENDE : O : Outils; M : Métriques; M' : Méthodologies; R : Recommandations; T : Tests;</b> <b>Q : Questionnaires;</b>																		

Tableau 4. Les intérêts des auteurs dans l'étude de la qualité des applications Web.

Du point de vue des contributions, les directives et les recommandations évoquées dans (Dalton 1996; Nielsen 2000; Koyani 2003) ont permis de définir des critères et d'élaborer des métriques spécifiques. Les méthodologies et les outils développés (Ivory 2002; Olsina 2002; Shubert 2002) ont contribué à l'évaluation quantitative et à une certaine amélioration de la qualité des applications Web. Récemment, la proposition d'un modèle multidimensionnel de la qualité et le développement d'ontologies montrent l'intérêt toujours grandissant pour la recherche dans ce domaine.

En conclusion, les recommandations des différents auteurs vont dans le même sens pour certains critères et plusieurs directives et recommandations se retrouvent dans tous les travaux. Néanmoins, les auteurs ne s'entendent pas sur l'affiliation des sous-caractéristiques aux différentes caractéristiques ni sur la nature des critères dérivés des sous-caractéristiques. Les problèmes d'imprécision et de subjectivité dans la mesure des

critères ne sont pas résolus. De plus, les modèles hiérarchiques proposés sont trop simplifiés pour répondre aux exigences d'objectivité de l'évaluation de ces applications.

Un modèle efficace pour évaluer la qualité des applications Web, doit considérer la spécificité de ces applications, la complexité des facteurs de qualité qui les affecte et les problèmes de subjectivité dans la mesure de plusieurs critères. Le but de cette étude est de proposer un cadre de travail qui considère spécifiquement ces propriétés.

## Chapitre 3

# Démarche vers l'élaboration d'un modèle de qualité pour les applications Web

Depuis plusieurs années, les travaux de recherche sur la qualité des applications Web se multiplient dans le but de trouver des repères applicables en pratique par les développeurs du Web. Or, bien qu'il y ait des ouvrages remplis d'instructions et de conseils pour aider à la création des applications Web, il existe toujours un grand fossé entre une heuristique donnée et sa réalisation en pratique lors de la conception de ces applications.

Dans les travaux apparentés que nous avons explorés, plusieurs facettes de l'évaluation de la qualité des applications Web sont étudiées. Néanmoins, ces recherches ne couvrent pas l'ensemble des aspects qui affectent cette qualité. Ce qui laisse le champ ouvert à la proposition de modèles de qualité spécifiques au Web et qui ont l'ambition de considérer tous ces aspects.

Or, un modèle de qualité est essentiellement un ensemble de critères utilisés pour déterminer si une application Web atteint un certain niveau de qualité (Brajnik 2001). Il peut être utilisé pour comprendre, contrôler ou améliorer un processus ou un produit. Un modèle de qualité décrit les critères qui sont les plus importants pour ces applications, l'importance de ces critères les uns par rapport aux autres, ainsi que les méthodes de mesure qui doivent être employées pour évaluer les valeurs de ces critères (Fenton 1996).

Donc, pour développer un modèle de qualité, il s'agit d'abord de déterminer les critères spécifiques aux applications Web et représenter les relations qui existent entre eux. Ensuite, il faut définir une méthodologie d'évaluation complète, basée sur ce modèle, permettant de mesurer ces critères afin d'évaluer quantitativement la qualité de ces applications.

### **3.1 Construction d'un modèle de base de la qualité**

Dans le cadre de nos travaux de maîtrise, nous avons développé un premier modèle pour l'évaluation de la qualité des applications Web (Malak 2002a; Malak 2002b; Malak 2004). Un bref rappel de ce travail est présenté par la suite pour introduire notre démarche vers l'élaboration d'un modèle de qualité spécifique aux applications Web.

#### **3.1.1 Rappel sur le développement du modèle de base**

Lors de ces travaux antérieurs, les critères de qualité spécifiques aux applications Web sont collectés à partir de la littérature spécialisée dans ce domaine. Les critères trouvés sont regroupés dans une liste puis triés pour éliminer les items redondants. D'autres critères, adaptés à partir de certaines recommandations et directives suggérées ou inspirés du génie logiciel traditionnel, sont rajoutés à la liste. Ensuite, un arbre de qualité s'appuyant sur ISO/IEC 9126, est développé à partir des critères rassemblés et complétés. Le processus d'élaboration de l'arbre de qualité est scindé en trois phases : une phase d'intégration, une phase d'extension puis une phase pour l'élaboration des mesures et l'évaluation.

##### **3.1.1.1 Phase d'intégration**

Durant la phase d'intégration, nous avons attribué les critères retenus à l'une et/ou l'autre des sous-caractéristiques de la qualité en accord avec l'avis de la plupart des auteurs. Par exemple, vu que la *Structure du site* est un critère d'utilisabilité selon tous les auteurs, il est greffé comme tel dans l'arbre de qualité que nous considérons.

Ensuite, nous avons examiné le reste des critères rattachés aux différentes caractéristiques. Le but d'un tel examen est de vérifier si un critère caractérise effectivement la caractéristique à laquelle il est relié et si ce même critère ne caractérise pas d'autres caractéristiques. Par exemple, la *Qualité des liens* est un critère de fonctionnalité dans les travaux de (Olsina 2001), d'utilisabilité dans ceux de (Keevil 1998; Nielsen 2000) et de maintenabilité dans ceux de (Dalton 1996; Brajnik 2000). En effet, nous avons trouvé qu'effectivement selon différents points de vue, la *Qualité des liens* peut caractériser aussi bien la fonctionnalité que l'utilisabilité ou la maintenabilité. Ainsi, le critère *Qualité des liens* se retrouve à différentes places de l'arbre de qualité affectant ces trois caractéristiques.

#### 3.1.1.2 Phase d'extension

Dans un deuxième temps, nous avons reclassé, sous d'autres caractéristiques, certains critères après leur confrontation avec les définitions d'ISO 9126 et l'étude des différents points de vue des chercheurs. Par exemple, le critère *Mise à jour du site* caractérise l'utilisabilité pour (Nielsen 2000; Olsina 2001) ou la maintenabilité pour (Dalton 1996). En examinant les commentaires des auteurs, puis en s'appuyant sur les définitions des caractéristiques et des sous-caractéristiques de la qualité d'ISO 9126, il s'avère qu'il est plus approprié de considérer la *Mise à jour du site* comme critère de maintenabilité.

Par la suite, nous avons recherché des sous-critères, pouvant caractériser certains critères pour mieux les évaluer. Par exemple, pour pouvoir étudier le critère *Structure de la page* et lui attribuer une annotation d'appréciation, il est important d'avoir des repères précis permettant une estimation objective de la valeur de ce critère. Ce qui est réalisable avec des requêtes plus spécifiques vérifiant, par exemple, si : la présentation de la page est claire et aérée, simple, évidente, la page est subdivisée en sections et en paragraphes, le contenu des différentes sections est distinct, le contenu informationnel occupe 50 à 80% de la page, il y a un style visuel propre au site, etc.

Somme toute, nous avons obtenu une liste de plus de trois cents critères et sous-critères différents classés à la manière de ISO/IEC 9126. Pour chaque sous-caractéristique de la qualité, les critères et les sous-critères rassemblés sont présentés d'une façon hiérarchique. Nous notons six niveaux de hiérarchie dans cet arbre de qualité : la qualité, les caractéristiques, les sous-caractéristiques, les critères et deux niveaux de sous-critères. Les critères et sous-critères retenus prennent en considération les points de vue de l'utilisateur, du développeur et du responsable de la maintenance. Une représentation hiérarchique possible du modèle de base développé est rappelée en Annexe A.

### **3.1.1.3 Phase d'élaboration des mesures et d'évaluation**

Ultérieurement, nous avons procédé à l'identification des critères et sous-critères mesurables. Divers métriques et des valeurs seuils sont extraites de la littérature pour certains critères. Plusieurs des autres critères sont binaires et leur mesure se réduit à leur présence ou non dans l'application. Il reste qu'un bon nombre de critères sont subjectifs et requierent une investigation plus poussée pour être évalués correctement.

Un constat cependant, beaucoup de critères n'ont pas nécessairement la même importance ou le même poids selon le domaine de l'application. De plus, les sous-critères affectant un même critère peuvent l'influencer plus ou moins selon leur importance pour ce critère. Donc, une évaluation précise de la qualité nécessite la pondération de tels critères. Toutefois, ces problèmes sont restés suspendus à ce niveau de l'étude.

Un questionnaire est produit à partir de la liste hiérarchique des critères. Un prototype d'évaluation, implémentant le questionnaire, est aussi développé. L'objectif à ce stade est d'expérimenter le questionnaire, de le valider et de voir si les critères ciblés à travers les questions caractérisent bien les facteurs auxquels ils sont rattachés. Dans ce but, une évaluation de plusieurs applications Web est conduite pour une validation rapide de ce modèle. Les résultats obtenus sont avérés encourageants (Malak 2002a).

Néanmoins, plusieurs remarques sont notées :



- le besoin de développer des métriques pour les critères subjectifs ;
- les critères de moindre importance pénalisent certaines applications Web ;
- la pondération de plusieurs critères selon le domaine de l'application s'impose ;
- l'évaluation de certaines caractéristiques, comme la fiabilité et la maintenabilité, requiert une investigation plus profonde et une étude plus exhaustive de l'application.

### **3.1.2 Raffinement du modèle par l'application de GQM**

Afin de mieux organiser le modèle de base développé et d'affecter des métriques aux critères, un raffinement de ce modèle est réalisé par l'application de GQM (Goal, Question, Metrics), une technique introduite par Basili & al. (Basili 1994). Cette approche propose un processus plus structuré pour l'attribution des critères de qualité aux différentes sous-caractéristiques et fournit un cadre de dérivation des mesures.

En général, l'application de GQM assure une évaluation de la validité des conclusions tirées et permet d'éviter les rejets des programmes de mesure. C'est une approche basée sur l'idée que la mesure doit être guidée par un objectif. Toute collecte de données dans un programme de mesure doit être basée sur un raisonnement explicitement documenté. Ceci facilite l'identification des métriques utiles et appropriées d'une part et l'analyse et l'interprétation des données collectées d'autre part. Le paradigme GQM propose un cadre en 3 étapes :

- énumérer les objectifs principaux du projet de développement ;
- dériver de chaque objectif les questions dont les réponses permettent de déterminer si l'objectif est atteint ;
- décider de ce qui doit être mesuré afin de répondre aux questions.

#### **3.1.2.1 Application du paradigme GQM**

Pour appliquer ce paradigme, il faut d'abord produire les plans GQM avec un plan pour chacune des sous-caractéristiques de la qualité.

<b>3.1. Facilité à trouver l'information (Utilisabilité) (ISO/IEC 9126)</b> Effort à fournir par l'utilisateur pour apprendre à utiliser le système ou pour repérer l'information recherchée				
<b>Objectif :</b> Analyser une Application Web pour Évaluer quantitativement la Facilité à trouver une information donnée de point de vue des Utilisateurs et des Développeurs dans un cadre d'assurance qualité				
<b>Objet</b> Application Web	<b>But</b> Évaluation de l'utilisabilité	<b>Focus</b> Facilité à trouver l'information	<b>Point de vue</b> Utilisateur, Développeur	<b>Environnement</b> Assurance qualité
<b>Qualité considérée</b> 1- Accessibilité à l'information 2- Organisation de la page 3- Disponibilité de l'aide en ligne 4- Contenu orienté utilisateur			<b>Facteurs de variations</b> Domaine de l'application Compétence de l'utilisateur	
<b>Hypothèses de base</b> Dans une application Web il faut trouver facilement l'information recherchée			<b>Impact sur les hypothèses de base</b> selon le domaine de l'application ou l'expérience de l'utilisateur, la facilité à trouver l'information est + ou – importante	
<b>3.1. Facilité à trouver l'information :</b> capacité d'une application de permettre à l'utilisateur de repérer facilement l'information recherchée (ISO/IEC 9126)				
<b>3.1.1 Accessibilité à l'information :</b> capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de localiser facilement l'information, de l'identifier et d'y accéder (subjectif)				
<b>3.1.1.1 Identification de l'information :</b> capacité d'un site de permettre à l'utilisateur d'identifier l'information d'une façon unique et sans ambiguïté (subjectif)				
3.1.1.1.1 L'information importante se trouve au premier plan (subjectif)				
3.1.1.1.2 Profondeur de l'application (mesure automatique)				
3.1.1.1.3 L'information suit le parcours intuitif de l'utilisateur (subjectif)				
3.1.1.1.4 Présence d'une rubrique « Quoi de neuf » (mesure automatique)				
3.1.1.1.5 Présence d'un plan de site (ou carte de site) (mesure automatique)				
3.1.1.1.6 Facilité d'accès au plan du site (temps nécessaire : mesure automatique)				
3.1.1.1.7 Présence de 2 ou 3 hauts niveaux de titres (nombre de niveaux... échelle)				
3.1.1.1.8 Taux d'acronymes (leur proportion dans le texte)				
<b>3.1.1.2 Éléments et Format du texte (subjectif)</b>				
3.1.1.2.1 Nombre de mots dans une page (mesure automatique)				
3.1.1.2.2 Nombre de polices différentes dans une page (mesure automatique)				
3.1.1.2.3 Nombre de couleurs différentes dans une page (mesure automatique)				
<b>3.1.1.3 Qualité des titres (subjectif)</b>				
3.1.1.3.1 Significatifs ou descriptifs (subjectif)				
3.1.1.3.2 Explicite (subjectif)				
3.1.1.3.3 Uniques (mesure automatique)				
3.1.1.3.4 Courts (<25 caractères) (nombre de caractères)				
3.1.1.3.5 Chaque page a un titre (mesure automatique)				
<b>3.1.1.4 Présence d'un mécanisme de recherche (mesure automatique)</b>				
<b>3.1.2 Organisation de la page (subjectif)</b>				
<b>3.1.2.1 Identification de la page :</b> capacité du site de permettre à l'utilisateur d'identifier une page donnée d'une façon unique (subjectif)				
3.1.2.1.1 La page d'accueil peut être vue sur un écran (% de la page d'accueil visible sur un seul écran)				
3.1.2.1.2 Les pages sont courtes (nombre de lignes)				
<b>3.1.2.2 Présence de liens hypertextes</b>				
3.1.2.2.1 Vers les informations pertinentes (proportion de liens vers ces informations pertinentes)				
3.1.2.2.2 Vers la page d'accueil (mesure automatique)				
3.1.2.2.3 Vers l'intérieur du site (proportion de liens vers l'intérieur du site)				
3.1.2.2.4 Vers la même page (mesure automatique)				
3.1.2.2.5 Nombre total de liens dans une page (mesure automatique)				
3.1.2.2.6 Pour structurer le contenu (proportion de liens destinés à structurer le contenu)				
3.1.2.2.7 Distinction entre liens internes et externes au site (mesure automatique)				
3.1.2.2.8 Validité des liens externes (mesure automatique)				
<b>3.1.3 Disponibilité de l'aide en ligne (mesure automatique)</b>				

Tableau 5. Le plan GQM de la *Facilité à trouver l'information*.

Si nous considérons, par exemple, la caractéristique de l'utilisabilité, quatre plans GQM sont produits pour ses quatre sous-caractéristiques : la compréhensibilité, la facilité à trouver l'information, la facilité d'exploitation et l'attractivité. Il en est de même pour toutes les autres caractéristiques de la qualité (fonctionnalité, fiabilité, etc.).

Pour produire ce plan, il faut d'abord recenser les objectifs de la mesure pour chacune des sous-caractéristiques. Ensuite, il faut dériver de chaque objectif les questions dont les réponses permettent de déterminer si le but est atteint. Un exemple de plan GQM produit pour la *Facilité à trouver l'information* est représenté dans le Tableau 5.

Pour cela, cette sous-caractéristique est définie selon ISO/IEC 9126 et l'objectif de la mesure est précisé. Dans le cas de ce travail, notre objectif est l'évaluation quantitative de la facilité à trouver l'information dans le but d'assurer la qualité des applications Web.

Les points évoqués dans la case qualité considérée sont les facteurs importants qui affectent la facilité à trouver l'information comme l'accessibilité à l'information ou l'organisation de la page, etc. Il s'agit de déterminer les critères qui influencent ces facteurs de qualité et comment les mesurer.

Les facteurs de variation (les facteurs environnementaux ou de projets) qui peuvent avoir un impact sur l'hypothèse de base sont spécifiés, comme le domaine de l'application ou la compétence de l'utilisateur. L'hypothèse de base est posée et l'impact des facteurs de variations sur cette hypothèse est déterminé. Par exemple, selon le domaine de l'application la recherche d'une information précise peut être plus ou moins facile. En outre, un utilisateur novice trouvera moins facilement une information donnée qu'un utilisateur expérimenté qui peut surmonter certains problèmes ou défaillances dans la qualité de l'application Web considérée.

Par la suite, partant du modèle de base déjà développé (Annexe A), les critères et les sous-critères de la facilité à trouver l'information, et éventuellement d'autres parmi ceux affectant les autres sous-caractéristiques, sont repris et restructurés selon la qualité

considérée, puis reclassés. Afin de mieux procéder au reclassement, des définitions pour un grand nombre de critères et de sous-critères sont tirés de la littérature et sont utilisées pour renforcer nos choix de restructuration.

<b>Les critères retenus pour la <i>Facilité à trouver l'information</i> avant l'application de GQM</b>	<b>Les critères résultant pour la <i>Facilité à trouver l'information</i> après l'application de GQM</b>
<p><b>3.1 Facilité à trouver l'information</b></p> <p>3.1.1 Organisation du site</p> <p>3.1.1.1 Nom du site sur chaque page</p> <p>3.1.1.2 Logo du site sur chaque page</p> <p>3.1.1.3 Présence d'un plan ou carte de site</p> <p>3.1.1.4 Facilité d'accès au plan du site</p> <p>3.1.2 Organisation de la page d'accueil</p> <p>3.1.2.1 Présence d'un index</p> <p>3.1.2.2 Présence d'un glossaire</p> <p>3.1.2.3 Peut être vu sur un écran</p> <p>3.1.2.4 Le texte est court (petits paragraphes)</p> <p>3.1.2.5 Les pages sont courtes</p> <p>3.1.3 Organisation de l'information</p> <p>3.1.3.1 L'information importante est accessible</p> <p>3.1.3.2 Basée sur le parcours prévu</p> <p>3.1.3.3 L'orthographe est correcte</p> <p>3.1.4 La grammaire est correcte</p> <p>3.1.5 Présence de liens hypertextes</p> <p>3.1.5.1 Pour structurer le contenu</p> <p>3.1.5.2 Vers l'intérieur du site</p> <p>3.1.5.3 Vers la même page</p> <p>3.1.5.4 Vers les informations pertinentes</p> <p>3.1.5.5 Toutes les pages sont liées à <i>home</i></p> <p>3.1.5.6 Pertinence des liens vers les pages</p> <p>3.1.5.7 Pertinence des liens vers les autres sites</p> <p>3.1.5.8 Nombre de liens par page</p> <p>3.1.6 Présence d'un bouton « retour en haut »</p> <p>3.1.7 La distinction entre liens int. Et ext.</p> <p>3.1.8 Qualité des titres</p> <p>3.1.8.1 Significatifs ou descriptifs</p> <p>3.1.8.2 Explicite</p> <p>3.1.8.3 Uniques</p> <p>3.1.8.4 Courts et simples (&lt;25 caractères)</p> <p>3.1.8.5 Chaque page a un titre</p> <p>3.1.9 Date de la dernière mise à jour</p> <p>3.1.10 Pas d'éléments cachés</p>	<p><b>3.1 Facilité à trouver l'information</b></p> <p>3.1.1 Accessibilité à l'information</p> <p>3.1.1.1 Identification de l'information</p> <p>3.1.1.1.1 L'information importante au 1<sup>er</sup> plan</p> <p>3.1.1.1.2 Profondeur de l'application</p> <p>3.1.1.1.3 L'information suit le parcours intuitif</p> <p>3.1.1.1.4 Présence de « Quoi de neuf »</p> <p>3.1.1.1.5 Présence d'un plan de site</p> <p>3.1.1.1.6 Facilité d'accès au plan du site</p> <p>3.1.1.1.7 Présence de 2 ou 3 niveaux de titres</p> <p>3.1.1.1.8 Taux d'acronymes</p> <p>3.1.1.2 Éléments et Format du texte</p> <p>3.1.1.2.1 Nombre de mots dans une page</p> <p>3.1.1.2.2 Nombre de polices différentes/page</p> <p>3.1.1.2.3 Nombre de couleurs différentes/page</p> <p>3.1.1.3 Qualité des titres</p> <p>3.1.1.3.1 Significatifs ou descriptifs</p> <p>3.1.1.3.2 Explicite</p> <p>3.1.1.3.3 Uniques</p> <p>3.1.1.3.4 Courts (&lt;25 caractères)</p> <p>3.1.1.3.5 Chaque page a un titre</p> <p>3.1.1.4 Présence de mécanisme de recherche</p> <p>3.1.2 Organisation de la page</p> <p>3.1.2.1 Identification de la page</p> <p>3.1.2.1.1 La page d'accueil sur un écran</p> <p>3.1.2.1.2 Les pages sont courtes</p> <p>3.1.2.2 Présence de liens hypertextes</p> <p>3.1.2.2.1 Vers les informations pertinentes</p> <p>3.1.2.2.2 Vers la page d'accueil</p> <p>3.1.2.2.3 Vers l'intérieur du site</p> <p>3.1.2.2.4 Vers la même page</p> <p>3.1.2.2.5 Nombre total de liens par page</p> <p>3.1.2.2.6 Pour structurer le contenu</p> <p>3.1.2.2.7 Distinction liens internes et externes</p> <p>3.1.2.2.8 Validité des liens externes</p> <p>3.1.3 Disponibilité de l'aide en ligne</p>

Tableau 6. Les critères retenus pour la *Facilité à trouver l'information*.

Les métriques et les mesures possibles pour les sous-critères sont aussi rapportées. Il en résulte une réorganisation de ces critères avec la possibilité de transfert de certains critères de et vers les autres sous-caractéristiques ou caractéristiques. Le Tableau 6 montre les critères retenus pour la *Facilité à trouver l'information* avant et après l'application de GQM.

En examinant le Tableau 6, nous remarquons que les critères sont classés différemment en réponse aux questions dérivées de l'objectif, suite à l'application de GQM. Plusieurs critères sont déplacés sous d'autres sous-caractéristiques comme : le nom et le logo de l'application, l'orthographe et la grammaire, ainsi que la date de mise à jour de l'application. Par contre, d'autres critères sont ajoutés comme la profondeur de l'application, la présence d'un mécanisme de recherche ou la disponibilité de l'aide en ligne.

Le même processus de raisonnement est suivi pour produire les autres plans GQM pour les autres sous-caractéristiques de l'utilisabilité ainsi que pour toutes les sous-caractéristiques des autres caractéristiques de la qualité. L'Annexe B présente les critères et sous-critères des sous-caractéristiques de l'utilisabilité après l'application de GQM.

### 3.1.2.2 Résultats et conclusion

Le raffinement par GQM nous a permis de valider et d'enrichir notre modèle de qualité. Nous remarquons que par rapport à notre première classification, pour la sous-caractéristique de l'utilisabilité qui est la *Facilité à trouver l'information*, certains critères retrouvent leurs places sous une autre sous-caractéristique, plusieurs autres sont ajoutés et que les critères retrouvés caractérisent mieux cette sous-caractéristique.

Donc, l'application de GQM a permis de réorganiser les critères et de les attribuer aux sous-caractéristiques en fonction de la qualité considérée, de façon à satisfaire : les objectifs et les questions posés, en tenant compte des facteurs de variations et de leur

impact. Cependant, plusieurs critères restent à évaluer subjectivement, ce qui affectera incontestablement la précision des mesures.

En outre, nous remarquons (Annexe A et B), qu'un critère ou un sous-critère peut affecter plusieurs sous-caractéristiques en même temps. D'où la nécessité de trouver une représentation qui exprime au mieux la réalité des interactions entre les critères et de composer avec l'imprécision et l'incertitude dans les mesures.

### **3.2 Discussion des travaux apparentés et du modèle de base**

À la lumière des résultats obtenus et des remarques formulées, après l'expérimentation et le raffinement du modèle de base, il apparaît qu'un tel modèle révèle quelques lacunes ou insuffisances. Par ailleurs, l'étude des différents travaux apparentés suggère que certains aspects de la qualité des applications Web ne sont pas pris en compte durant le processus d'évaluation de ces applications. Autrement dit, les modèles de qualité et les méthodologies d'évaluation proposées ne résolvent pas les problèmes rencontrés lors de l'assurance qualité des applications Web. Plus spécifiquement, plusieurs insuffisances peuvent être évoquées concernant les travaux dans le domaine de la qualité des applications Web ainsi que notre modèle de base :

1. Nous notons, dans la littérature, l'abondance des critères de qualité attribués aux applications Web. Cependant, plusieurs de ces critères ne sont pas cohérents entre eux. Chaque auteur propose les critères qui lui semblent importants pour assurer la qualité du Web, comme nous l'avons remarqué au Chapitre 2.
2. Certaines directives ou valeurs seuils optimales pour plusieurs critères sont contradictoires (Ivory 2002). En effet, aucune information concrète ne permet de distinguer la meilleure directive ou si les valeurs seuils proposées sont raisonnables ou non. Par exemple, l'addition d'éléments graphiques dans une page est conseillée par Klee & al (Klee 2000), alors que Nielsen (Nielsen 2000) affirme que de tels éléments doivent être éliminés. Concernant le nombre optimal de mots dans un lien texte, Nielsen (Nielsen 2000) propose 2 à 4 mots alors que Sawyer & al (Sawyer

2000) mentionnent 7 à 12, etc. Il y a donc une incertitude inhérente à ce type de choix.

3. Plusieurs critères sont mesurés subjectivement. D'après Olsina (Olsina 2002), certains critères pertinents ne peuvent pas être mesurés objectivement. Ils sont estimés subjectivement par des experts avant d'être inclus dans le processus d'évaluation. Par exemple, des critères comme la *Pertinence des liens*, la *Satisfaction de l'utilisateur* ou les *Préférences esthétiques* pour une application Web sont difficiles à évaluer. De ce fait, des investigations plus poussées à propos de ces critères sont nécessaires pour améliorer la précision de l'évaluation de la qualité.
4. Par ailleurs, étant donné la multitude de domaines d'application du Web, l'importance de pondérer les critères émerge. En effet, selon le domaine de l'application certains critères sont plus ou moins significatifs. Par exemple, la qualité du contenu texte d'une page n'a pas la même importance s'il s'agit d'une page d'un média de l'information ou de celle de la Bourse ou d'Amazone. De plus, plusieurs domaines d'applications ont des critères qui leur sont spécifiques (la présence de l'icône panier pour le commerce électronique ou de site sécurisé pour les sites de banques par exemple). Par conséquent, pour deux applications Web données dans deux domaines différents, tous les critères n'ont pas nécessairement la même importance et la pondération de certains critères est indispensable pour la précision de l'évaluation. Cependant, pondérer les critères peut ajouter de la subjectivité lors de l'évaluation de la qualité. Plus encore, selon la méthode utilisée pour la pondération, la subjectivité est plus ou moins prononcée.
5. Souvent, la relation entre certains critères et leurs sous-critères ou leurs super critères est causale. Or, les critères peuvent se regrouper de différentes façons, et il n'est pas certain qu'un regroupement retenu soit le plus pertinent. Ainsi, la sélection d'un regroupement particulier veut dire que d'autres relations ou interdépendances sont ignorées.
6. Un même critère peut affecter simultanément plusieurs autres critères, autres sous-caractéristiques ou caractéristiques. Par exemple la *Rétroaction en ligne* est

considérée dans certaines études comme un critère d'utilisabilité (Nielsen 2000; Albuquerque 2002) et dans d'autres comme un critère de maintenabilité (Dalton 1996). Également, la *Lisibilité* qui est considérée comme un sous-critère de la *Facilité de compréhension* peut aussi caractériser l'*Attractivité* qui est une autre sous-caractéristique de l'utilisabilité ou la *Facilité d'analyse* qui est une sous-caractéristique de la maintenabilité. Or éventuellement, chacun de ces critères peut caractériser différents super critères en même temps. Néanmoins, nous trouvons que les interdépendances sont difficiles à représenter dans une hiérarchie et il n'est pas facile de propager d'une façon cohérente l'impact d'un sous-critère à tous les critères qu'il influence.

En conclusion, nous avons besoin de trouver une représentation qui :

- tient compte de l'incertitude dans la détermination des valeurs seuils ;
- supporte la subjectivité dans l'évaluation de certains critères ;
- résout la difficulté dans la pondération des valeurs selon le domaine d'application ;
- exprime au mieux les interdépendances qui peuvent exister entre les critères ;
- considère l'incertitude lors des regroupements de critères ;
- permet de résoudre les problèmes d'imprécision dans les mesures du Web.

À partir de ces constatations, nous procédons dans ce qui suit à la l'élaboration de notre modèle relationnel de la qualité basé sur une approche probabiliste et spécifique aux applications Web. Nous expliquons les raisons du choix de l'approche probabiliste, des réseaux Bayésiens et de la logique floue pour développer ce modèle de qualité. En effet, nous pensons qu'un modèle probabiliste est plus apte à résoudre les aspects d'incertitude, d'imprécision et de subjectivité dans la structuration et la mesure des facteurs de la qualité.

### 3.3 Choix de l'approche probabiliste

L'évolution dynamique du Web est probabiliste par nature. Largement distribué, décentralisé et en évolution continue, le Web comprend des mesures et des données



incertaines et incomplètes (Baldi 2003). Or, selon les mêmes auteurs, les probabilités et les statistiques permettent de modéliser et de raisonner dans des environnements incertains (Baldi 2003). De plus, pour Naïm & al. (Naïm 2004) les méthodes probabilistes sont requises pour traiter les mesures imprécises. Par ailleurs, comparés aux modèles hiérarchiques, les modèles relationnels minimisent la redondance et sont plus faciles à mettre à jour. Ainsi, pour construire un modèle de qualité, les modèles graphiques constituent un moyen naturel permettant de représenter d'une façon intuitive un ensemble de critères interdépendants.

Parmi plusieurs modèles de représentation, les Réseaux Bayésiens (RBs) constituent une approche quantitative particulière qui peut intégrer l'incertitude dans le raisonnement (Naïm 2004). La structure graphique des RBs permet de représenter les relations entre les critères de qualité d'une façon intuitive en reliant simplement les causes aux effets par des liens (Neil 2000).

Avec les RBs, il est aussi possible d'exploiter les jugements des experts pour anticiper les prédictions, dans notre cas, sur la qualité des applications Web. Par ailleurs, les RBs ont la capacité d'apprentissage incrémental à partir de données. Ceci est vrai aussi bien pour l'apprentissage des paramètres que pour l'apprentissage de la structure, ce qui facilite l'évolution du modèle. Cette capacité contribuera à l'amélioration, en fonction du temps, de la structure du réseau Bayésien et des paramètres par l'acquisition de nouvelles données. Toutefois, dans le cadre de cette thèse, nous n'exploitons pas les capacités d'apprentissage des RBs.

Le Tableau 7 résume les problèmes recensés en vue de la construction d'un modèle de qualité spécifique aux applications Web et les solutions offertes par les RBs. Ces propriétés semblent, a priori, satisfaire nos objectifs relativement aux problèmes d'incertitude, de subjectivité et d'interdépendances des critères.

Problèmes à considérer	Propriétés des RBs
Un certain nombre de critères de la qualité des applications Web est subjectif et requiert le développement de métriques pour être mesuré.	Les RBs font partie des modèles causals. L'utilisation des modèles causaux reposent sur les métriques existantes.
Quelques critères doivent être pondérés selon leur importance dans le domaine d'application considéré. Cette pondération nécessite l'intervention des experts du domaine, ce qui ajoute de la subjectivité à leur évaluation.	Les RBs décrivent la perception de l'expert du fonctionnement du système. Ils permettent de renforcer la rigueur scientifique quand les valeurs liées à différentes variables sont simplement les « avis des experts ».
Selon leur type (binaire, numérique, nominal), les critères de qualité sont hétérogènes et sont mesurables de différentes façons.	Les RBs offrent la possibilité d'intégrer des sources de connaissances hétérogènes.
Les valeurs seuils pour plusieurs critères sont imprécises et parfois contradictoires selon les auteurs.	Les approches probabilistes, entre autres les RBs, sont nécessaires pour traiter des mesures imprécises.
Lors de la structuration des critères, il y a de l'incertitude dans leur regroupement. Ainsi, certains choix de structure sont négligés et ne sont pas considérés.	Les RBs constituent une approche quantitative permettant d'intégrer l'incertitude dans le raisonnement.
Dans les modèles hiérarchiques, il est difficile de représenter clairement les relations et les interdépendances entre les critères de qualité.	Les RBs permettent de représenter les relations entre les critères de qualité d'une façon intuitive en reliant simplement les causes aux effets par des flèches.
Notre objectif est de développer un modèle de qualité adaptable et évolutif (en fonction du domaine d'application et du temps)	La capacité d'apprentissage incrémental offerte par les RBs, comme l'apprentissage des paramètres et l'apprentissage de la structure, autorise l'évolution du modèle. Aussi, des changements mineurs dans les paramètres du RB permettent d'adapter le modèle à un domaine d'application particulier.

Tableau 7. Les propriétés des RBs permettant de rencontrer nos objectifs

Pour la suite de notre travail, nous avons aussi recours à une autre approche qui est la logique floue. L'application de la logique floue nous permet de dériver des valeurs de probabilités à partir d'un ensemble de mesures. En effet, la logique floue fournit un cadre conceptuel efficace pour traiter le problème de la représentation des connaissances dans un environnement d'incertitude et d'imprécision (Zadeh 1968).

### 3.1.3 Rappel sur les Réseaux Bayésiens

#### 3.1.3.1 Le théorème de Bayes

Les RBs sont basés sur le théorème de Bayes. Ce théorème décrit les relations qui existent entre les probabilités simples et conditionnelles. Si A et B sont deux évènements et si on connaît la probabilité de A, de B et de B sachant A, le théorème de Bayes permet de déterminer la probabilité de A sachant B.

$$P(A | B) = \frac{P(B | A)P(A)}{P(B)}$$

Le terme  $P(A)$  est la probabilité a priori de A. Elle est « antérieure » au sens qu'elle précède toute information sur B.  $P(A)$  est aussi appelée la probabilité marginale de A. Le terme  $P(A|B)$  est appelée la probabilité a posteriori de A sachant B (ou encore de A sous condition B). Elle est « postérieure », au sens qu'elle dépend directement de B. Le terme  $P(B|A)$ , pour un B connu, est appelée la fonction de vraisemblance de A. De même, le terme  $P(B)$  est appelé la probabilité marginale ou a priori de B.

#### 3.1.3.2 La structure et les paramètres des réseaux Bayésiens

Un réseau Bayésien est un mariage entre la théorie des graphes et la théorie des probabilités. C'est un graphe causal où :

- Les nœuds représentent des variables aléatoires. Une variable aléatoire a un certain nombre d'états, par exemple « Oui » et « Non », et une probabilité de distribution pour ces états où la somme des probabilités de tous les états doit être égale à un. De cette façon un modèle de RB est sujet aux axiomes standards de la théorie des probabilités.
- Les arêtes orientées définissent des relations causales entre les nœuds. On parle de « parents » et de « fils » quand on se réfère à des liens. Une arête va du parent vers

le fils. Les nœuds parents qui affectent un même nœud fils doivent être des variables indépendants.

- Chaque nœud est lié à une table de probabilité de nœud (TPN), qui modélise la relation incertaine entre le nœud et ses parents. Les tables de probabilité conditionnelle liées aux nœuds d'un RB déterminent la force des liens du graphe et sont utilisées pour calculer la probabilité de distribution de chaque nœud dans le RB. Ceci est réalisé en spécifiant la probabilité conditionnelle d'un nœud sachant tous ces parents :  $p(X | A, B)$ , X étant le nœud fils de A et B. Si un nœud n'a aucun parent, une table antérieure de probabilité 'a priori' de ce nœud lui serait associée. Habituellement, les TPNs sont généralement créés en utilisant un mélange de données empiriques avec le jugement des experts.

Dans ce graphe causal, les relations de cause à effet entre les variables ne sont pas déterministes, mais probabilistes. Ainsi, l'observation d'une cause ou de plusieurs causes n'entraîne pas systématiquement l'effet ou les effets qui en dépendent, mais modifie seulement la probabilité de les observer. L'intérêt particulier des RBs est de tenir compte simultanément des connaissances a priori d'experts (dans le graphe ou la structure) et de l'expérience contenue dans les données (les paramètres).

Un RB est une machine à calculer des probabilités conditionnelles. En fonction des informations observées, un RB permet de calculer la probabilité des données non observées. Avec les nouveaux outils logiciels, il est relativement facile d'utiliser les RBs vu l'exactitude et la vitesse des algorithmes récents. Mais pour des graphes complexes, la puissance requise pour calculer la table commune de probabilités directement à partir des tables de probabilités conditionnelles est considérable. Afin de réduire le nombre de combinaisons possibles entre les nœuds d'un RB, seuls les nœuds qui sont directement dépendants, logiquement ou par cause à effet, sont liés dans le graphe.

De plus, comme expliqué dans (Neil 2000), un RB peut être construit à partir d'unités sémantiquement significatives appelées « fragments ». Un fragment est un RB simple reliant ensemble des variables aléatoires relatives. Il peut être construit et utilisé

séparément des autres fragments. Cependant, chaque fragment doit respecter formellement la syntaxe et la sémantique des RBs. L'utilisation des fragments diminue la complexité quand il s'agit de grands réseaux.

### 3.1.3.3 Les idiomes

Par ailleurs, un nombre restreint de modèles naturels et réutilisables (patrons) a été identifié par Neil & al (Neil 2000). Ils sont appelés « Idiomes ». Lors de la construction des RBs, les idiomes sont comparables aux patrons de conception dans les diagrammes UML. Selon les auteurs, l'utilisation des idiomes accélère le procédé de développement des RBs, et aide à identifier la sémantique et la structure syntaxique du graphe. Les idiomes peuvent être considérés comme une bibliothèque de modèles ou de patrons. De plus, comme pour les patrons de conception, leur utilisation peut encourager la réutilisation. Sommairement, les cinq idiomes identifiés par Neil & al. (Neil 2000) sont :

- l'idiome de Définition/Synthèse : il modélise les définitions déterministes ou incertaines entre les variables. Le sens des arêtes dans l'idiome de synthèse n'indique pas la causalité mais le sens dans lequel un sous-attribut définit un attribut en combinaison avec d'autres sous-attributs (ou les attributs définissent un super-attribut, etc.) ;
- l'idiome de Cause-Conséquence : il modélise l'incertitude d'un processus causal incertain qui a des conséquences observables. C'est le cas des situations où nous souhaitons prévoir la Sortie produite par un certain processus à partir de la connaissance de l'Entrée qui est introduite dans ce processus ;
- l'idiome de mesure : il modélise l'incertitude que nous pouvons avoir au sujet de nos propres jugements, de ceux des autres ou de l'exactitude des instruments que nous employons pour faire des mesures. Dans ce cas, un nœud est une évaluation des autres attributs plutôt qu'une représentation de deux entités différentes ;
- l'idiome d'induction : il modélise l'incertitude liée au raisonnement inductif basé sur des populations de membres semblables ou échangeables ;

- l'idiome de réconciliation : il modélise la réconciliation des résultats obtenus à partir des systèmes concurrents de mesure ou de prévision. L'objectif de cet idiome est de réconcilier des sources indépendantes de preuves au sujet d'un attribut simple d'une entité simple, où ces sources de preuves ont été produites par différentes méthodes de mesure ou de prévision.

Ces idiomes formalisent et facilitent le processus de construction de la structure de graphe des RBs. Dans le cas des applications Web, la relation entre les critères de qualité est de type définitionnel ou causal. Ainsi, ce sont les deux premiers idiomes, Définition/Synthèse et Cause-Conséquence, qui sont utilisés dans le raisonnement pour la construction des fragments de RBs lors de l'élaboration de notre modèle de qualité.

### 3.1.4 Rappel sur la logique floue

Comme nous allons le voir dans la section 4.2.2.3.1, nous utilisons la logique floue comme moyen de convertir les mesures numériques en probabilités pour les nœuds du RB. Les approches conventionnelles pour la représentation des connaissances sont basées sur la logique classique. De telles approches sont souvent inaptes à résoudre les problèmes d'incertitude et d'imprécision et ne peuvent pas assurer un modèle adéquat pour les modes de raisonnement approximatif tel que le raisonnement humain et le bon sens. La logique floue est une extension de la théorie des ensembles classiques. Elle permet la prise en compte des ensembles définis de façon imprécise.

Selon Zadeh (Zadeh 1968), un ensemble flou  $F$  d'un univers  $U$  est défini par une fonction membre  $\mu_F : U \rightarrow [0, 1]$ . La fonction  $\mu_F(u)$  est le degré d'appartenance de l'élément  $u$  dans l'ensemble  $F$  (*membership function*). La fonction d'appartenance  $\mu_F(u)$  peut être représentée par une forme trapézoïdale.

Un état logique en logique floue est une 'amplitude' entre 0 et 1. En d'autres termes, c'est un nombre réel dans l'intervalle  $[0, 1]$ . Les fonctions en logique floue ET, OU et NON donnent les résultats suivants pour des états  $a$  et  $b$  (nombres réels) dans l'intervalle  $[0, 1]$  :

- a ET b donne a si  $a < b$ , et b si  $b < a$   
 $\mu_{A \cap B}(u) = \mu_A(u) \cap \mu_B(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u))$  ;
- a OU b donne a si  $a > b$ , et b si  $b > a$   
 $\mu_{A \cup B}(u) = \mu_A(u) \cup \mu_B(u) = \max(\mu_A(u), \mu_B(u))$  ;
- NON a donne  $1-a$  (inverse ou complément de a),  $\text{NON}(\mu_F(u)) = 1 - \mu_F(u)$ .

La théorie des probabilités est différente de la théorie floue. La probabilité décrit l'incertitude quant à l'occurrence d'un événement. La logique floue décrit l'ambiguïté d'un événement. Elle mesure à quel degré un événement se produit et non s'il se produit. Pour les Bayésiens, la probabilité est un état subjectif des connaissances et non pas une fréquence ou une autre quantité objective testable. Si un événement ambigu ayant des composants incertains se produit, on parle de la probabilité d'un événement flou. D'après Dubois & al (Dubois 1993) la fonction d'appartenance  $\mu_F(u)$  peut être identifiée à une probabilité sous certaines conditions.

En outre, le partitionnement flou permet de remplacer les différentes valeurs d'un critère par un ensemble de fonctions représentant le degré d'adhésion (ou d'appartenance) de chaque valeur à différentes étiquettes floues. Le chapitre suivant décrit et explique les détails du partitionnement flou avec des exemples pratiques.

Après ce bref rappel des approches qui serviront à la construction de notre modèle probabiliste de la qualité, nous allons par la suite décrire notre méthodologie d'évaluation de la qualité des applications Web proprement dite.

### 3.4 Méthodologie d'évaluation de la qualité

À la lumière des travaux précédents (§ 3.1), du choix de l'approche probabiliste et l'adoption des RBs et de la logique floue, la méthodologie d'évaluation de la qualité des applications Web que nous proposons se décompose en deux phases : la phase de production du modèle de qualité et la phase d'évaluation d'une application Web donnée.

### **3.4.1 La phase de production du modèle de qualité**

La phase de production du modèle de qualité est la partie générale de notre méthodologie d'évaluation. Elle définit notre modèle de qualité : les critères, les relations entre les critères puis les mesures. Cette phase se décompose en quatre étapes :

#### **3.4.1.1 Étape de la collecte des données**

Cette étape consiste à la recherche des critères de qualité spécifiques aux applications Web à partir des études existantes dans le domaine. Les critères, les directives, les conseils et les recommandations trouvés sont rassemblés, et plusieurs critères sont élaborés à partir des conseils et des directives. Les critères retenus sont ensuite étudiés, triés, et subdivisés en critères et sous-critères (§ 3.1.1).

Afin de faciliter le processus de recherche et d'assemblage, nous pouvons focaliser sur un critère majeur, à la fois, parmi la liste des critères retenus. Nous désignons par critère majeur, les critères importants de la qualité des applications Web qui affectent plusieurs sous-caractéristiques et sont affectés par plusieurs sous-critères comme : l'accessibilité, les liens, la lisibilité, le respect des standards, la structure de l'application, le contenu de l'application, la navigabilité, la mise à jour, les titres, les graphiques, etc.

Une étude approfondie de chaque critère majeur permet de l'attribuer plus correctement aux sous-caractéristiques de la qualité. Aussi, il est possible de lui affecter plus exactement ses sous-critères. Nous obtenons ainsi, un regroupement de sous-critères pour chacun des critères majeurs. Ce regroupement découle des définitions de ces sous-critères, dans leur contexte d'utilisation, tel que rapporté dans les travaux de recherche sur la qualité du Web. Par la suite, chaque critère majeur sera incorporé, avec toutes ses dépendances (super et sous-critères), dans l'arbre de qualité.



### 3.4.1.2 Étape de raffinement

Le raffinement du regroupement des critères est obtenu par l'application du paradigme GQM. Cette étape aide à réviser et revérifier la classification des critères puis à définir et à affecter des métriques aux différents critères et sous-critères retenus (§ 3.1.2). En suivant un raisonnement structuré (objectifs, questions, métriques) pour l'attribution des sous-critères aux critères et des critères aux sous-caractéristiques, il y a une limitation de la subjectivité et une amélioration de la rigueur scientifique. Ainsi, cette étape est nécessaire pour valider le choix des sous-critères, enrichir le modèle et trouver des métriques pour ces critères.

Les critères et sous-critères retenus après l'application de GQM sont reconsidérés. Pour chacun d'eux, une étude est conduite afin de noter sa définition exacte ou les recommandations des auteurs à propos de lui, sa valeur seuil (selon les auteurs) s'il y a lieu, les autres critères qui peuvent l'affecter, etc. (Tableau 8).

À la fin de cette étape, le regroupement hiérarchique de base est construit et raffiné, les critères de qualité spécifiques aux applications Web sont déterminés et attribués aux sous-caractéristiques.

<p><b>Sous-critère :</b> Changement de couleur des liens visités  <b>Du Critère :</b> Localiser.  <b>Super critère :</b> Navigabilité.  <b>Sous caractéristiques affectées :</b> Aptitude, Facilité d'exploitation, Facilité à trouver l'information.  <b>Caractéristiques affectées :</b> Fonctionnalité, Utilisabilité.  <b>Définition / Commentaire:</b> Le changement de couleur d'un lien est un bon indicateur que le lien a été visité. Il aide les utilisateurs à mémoriser quelles parties de l'application ont été déjà accédées.  <b>Citations :</b> Ce type de rétroaction est la seule variable avérée pour améliorer la vitesse de l'utilisateur à trouver l'information [Koyani].  <b>Mesurable ou calculable :</b> Mesurable.          Il est possible de vérifier automatiquement si dans la page les liens changent de couleur quand ils sont visités.</p>	<p><b>Niveau hiérarchique :</b> 6</p>
<p><b>Nom :</b> ChgtCouLienVisite</p>	<p><b>Évaluation :</b> Oui / Non (1 ou 0)</p>
<p><b>Note :</b> Dans la page les liens visités changent oui ou non de couleurs.</p>	

Tableau 8. Le modèle de patron utilisé pour chaque critère ou sous-critère.

Il reste que les interdépendances entre les critères sont difficiles à représenter. Certains critères ou sous-critères se retrouvent à plusieurs endroits de l'arbre de qualité sous les super critères qu'ils influencent. De plus, les problèmes de subjectivité, d'imprécision et d'incertitude dans la mesure des critères ne sont pas pris en considération.

#### **3.4.1.3 Étape de la construction du graphe**

C'est l'étape du regroupement des critères, rassemblés hiérarchiquement et raffinés par GQM, sous forme de réseaux Bayésiens (RBs). Comme nous l'avons vu (§ 3.3), une présentation du modèle de la qualité sous forme de réseaux Bayésiens permet de résoudre, en partie, les insuffisances du modèle de base développé. Donc, il s'agit de reprendre les critères retenus et de les considérer comme les variables composant les nœuds du graphe du RB.

Cependant, si nous considérons à la fois tous les critères et sous-critères retenus, la construction du RB risque d'être laborieuse et la structure du graphe complexe. Pour cela, comme nous l'avons déjà évoqué au § 3.1.3.2, nous allons procéder à la construction de « fragments » de sous-réseaux, puis les rassembler ensemble dans un seul graphe. Chaque critère majeur sera représenté par un sous-réseau. Le Chapitre 4 discute en détail la construction de ces sous-réseaux.

#### **3.4.1.4 Étape de la définition des paramètres**

La relation entre les nœuds d'un RB étant incertaine par nature, la structure est complétée par des fonctions probabilistes. Pour chaque nœud du réseau, une table de probabilité du nœud (TPN), sert à modéliser la relation incertaine entre ce nœud et ses parents. Ces tables de probabilités conditionnelles déterminent la force des liens dans le graphe et sont utilisées pour calculer la probabilité de distribution de chaque nœud dans le RB. En général, les TPNs sont construits en utilisant une combinaison de données empiriques et de jugement des experts.

Cependant, pour attribuer des probabilités aux nœuds, il faut distinguer deux types de variables dans le RB : les variables d'entrée et les variables intermédiaires. Les probabilités des nœuds d'entrée sont déterminées directement des mesures de ces variables à partir d'une application Web donnée. La logique floue est utilisée à ce niveau afin de dériver les probabilités de certains critères d'entrées. Pour les nœuds intermédiaires, les probabilités sont déterminées selon les experts.

Cette succession d'étapes aboutit à un cadre de travail qui comprend le modèle relationnel proposé et qui tient compte des différents problèmes discutés au § 3.2. Ce modèle, couplé avec une base de données contenant des informations et des mesures collectées directement du Web, permet d'évaluer une application Web donnée. Le développement d'un environnement d'évaluation, qui peut recueillir automatiquement ces mesures et les conserver dans la base de données, est présenté au Chapitre 6.

### **3.4.2 La phase d'évaluation**

La structure du modèle de qualité est définie lors de la phase de production du modèle de qualité. Pour la phase d'évaluation, nous nous intéressons plus spécifiquement à une application Web en particulier. Ainsi, partant de l'application à évaluer, plusieurs étapes sont à suivre :

- mesurer les sous-critères d'entrée du réseau considéré ;
- utiliser les mesures obtenues pour dériver des valeurs de probabilité à attribuer aux nœuds d'entrée du réseau ;
- selon le domaine d'application ou la raison de l'évaluation, réajuster les TPNs attribuées aux nœuds intermédiaires s'il y a lieu ;
- procéder à l'inférence Bayésienne du réseau avec les nouvelles valeurs des probabilités. Nous obtenons une estimation de la qualité en général, ou de la qualité d'un critère considéré en particulier, sachant les valeurs des critères ou sous-critères qui l'influencent ;
- générer un rapport d'évaluation avec les possibilités d'amélioration s'il y a lieu.

À la fin de la phase de production du modèle, la structure du modèle probabiliste pour l'évaluation de la qualité des applications Web est établie. Les critères qui affectent cette qualité sont déterminés. Les interdépendances entre ces critères sont représentées d'une façon intuitive dans la structure du graphe. Les TPNs déterminent la force de chaque nœud dans le graphe et la force des relations entre ces nœuds. De plus, en raisonnant avec les probabilités, le modèle tient compte de l'incertitude dans le regroupement des critères et de l'imprécision et la subjectivité des mesures.

À la fin de la phase d'évaluation nous obtenons une estimation de la qualité d'une application donnée sous forme de probabilités. Les RBs offrent aussi la possibilité de prévoir des scénarios de « Qu'est-ce qui se passe si ... » c.à.d. la possibilité de prévoir des valeurs pour les entrées afin de satisfaire l'état recherché. Ce qui peut aider à ajuster les prédictions de qualité et prévoir les possibilités d'amélioration pour une application donnée.

## Chapitre 4

# Élaboration du modèle probabiliste de la qualité

À partir du modèle de base regroupant les critères de qualité spécifiques aux applications Web, nous avons entrepris la construction d'un RB de la qualité incluant les critères et sous-critères retenus. Une représentation de sous-réseaux par caractéristique s'est avérée incomplète parce qu'un même critère majeur peut affecter plusieurs caractéristiques à la fois. Par conséquent, pour produire notre modèle relationnel de la qualité, nous avons choisis d'opérer d'une façon récursive par la construction de fragments de RBs ou sous-réseaux pour chacun des critères majeurs. Ces fragments sont par la suite assemblés et combinés les uns avec les autres pour constituer le réseau global. Les sous-réseaux à manipuler sont ainsi plus simples et plus faciles à comprendre et à utiliser.

Généralement, la construction d'un RB se fait en deux étapes : produire le graphe approprié car ce modèle est sensible au type de raisonnement appliqué (§ 3.4.1.3), puis affecter les valeurs des probabilités aux nœuds du réseau (§ 3.4.1.4). L'affectation de ces valeurs se fait selon les experts du domaine ou à partir d'études empiriques.

### 4.1 Définition de la structure du graphe

La structure graphique du RB est donc construite à partir des critères déjà rassemblés et raffinés par GQM (§ 3.4.1.3). Les critères sont considérés comme des

variables aléatoires et peuvent ainsi représenter les nœuds du réseau. Pour relier ces nœuds entre eux, il faut suivre un raisonnement qui respecte formellement la syntaxe et la sémantique des réseaux Bayésiens.

Pendant cette étape qualitative, ce sont les relations entre les variables, en termes de pertinence d'une variable pour une autre variable, qui sont considérées. Ainsi, afin de relier les nœuds dans le réseau, il faut d'abord étudier les types d'interdépendances entre les critères. Ensuite, il faut s'assurer que les critères qui affectent le même super critère sont des variables indépendantes. D'ailleurs, pour bien comprendre le processus de construction de notre réseau de la qualité, nous allons le montrer sur quelques fragments de RB.

#### **4.1.1 Construction du sous-réseau de base de la qualité des applications Web**

Pour construire le sous-réseau de base de la qualité des applications Web, nous partons des définitions des caractéristiques et sous-caractéristiques de la qualité selon ISO/IEC 9126. Selon ce standard, la valeur de la qualité peut être déterminée à partir de l'évaluation des valeurs de ces caractéristiques. Quand les résultats des évaluations de la fonctionnalité, de l'utilisabilité, de la fiabilité, de la maintenabilité, de la portabilité et du rendement d'une application Web sont bons, l'application est de bonne qualité. Au contraire, un piètre résultat des évaluations de ces caractéristiques implique une mauvaise qualité de l'application Web.

Suivant ce raisonnement, nous remarquons l'existence d'une relation de cause à effet entre la qualité globale et ses caractéristiques. Ainsi, le premier fragment du RB de la qualité est celui qui représente les relations causales entre la qualité et ses caractéristiques. Ce fragment sera constitué de sept nœuds, la *QualitéDesApplicationsWeb* et ses six caractéristiques. Les relations causales sont schématisées par des arêtes orientées reliant les six sous-critères (causes) à leur super critère (conséquence). Le sens des flèches va du parent vers le fils comme présenté dans la Figure 2. À ce niveau, il est important de vérifier

que les nœuds parents qui affectent un même nœud fils sont des variables indépendantes. Ce qui est le cas dans le sous-réseau de la qualité des applications Web. En effet, les six caractéristiques de la qualité sont généralement considérées, au moins en théorie, comme indépendantes les unes des autres et chacune représente un aspect différent de cette qualité.

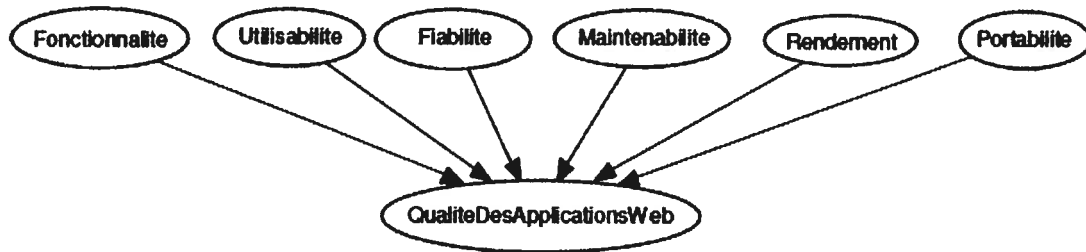


Figure 2. Sous-réseau de base de la qualité des applications Web.

Ensuite, pour évaluer chacune des caractéristiques, nous nous basons également sur le standard ISO/IEC 9126 qui définit les sous-caractéristiques de la qualité. Par exemple, évaluer l'utilisabilité d'une application Web revient à évaluer ses sous-caractéristiques. Si une application Web est facile à exploiter, facile à comprendre, attractive et permet de trouver facilement l'information recherchée, nous pouvons conclure que l'utilisabilité de cette application est assurée. De la sorte, et comme précédemment, il existe une relation causale entre la caractéristique utilisabilité et ses sous-caractéristiques. Nous pouvons représenter le sous-réseau de l'utilisabilité par cinq nœuds. Les quatre sous-caractéristiques (nœuds parents) sont reliées au nœud fils *Utilisabilite* par des arêtes orientées. Là aussi, ces sous-caractéristiques sont des variables indépendantes.

Un raisonnement semblable, concernant les cinq autres caractéristiques de la qualité, aboutit à la construction de cinq autres sous-réseaux. Un assemblage de tous les sous-réseaux développés permet d'obtenir un sous-réseau à trois niveaux pour la Qualité des applications Web, comme dans la Figure 3.

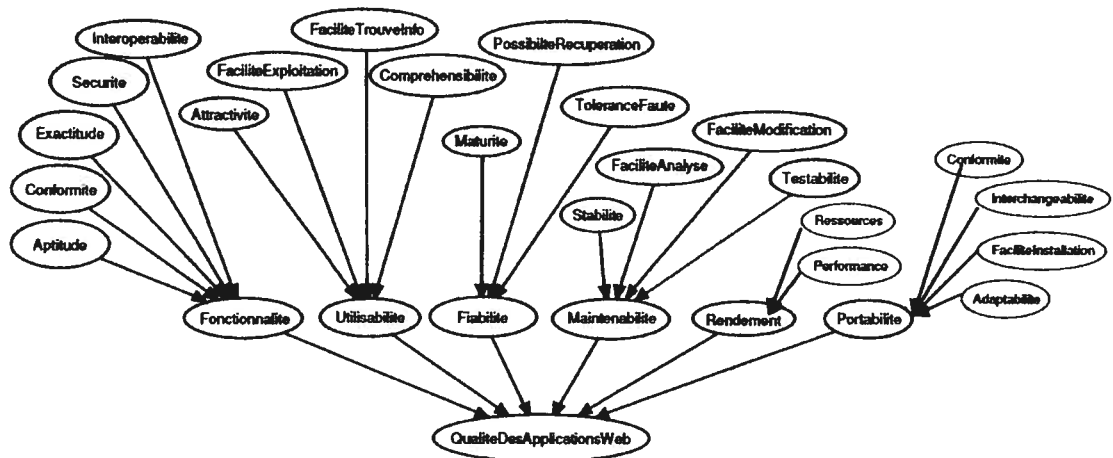


Figure 3. Sous-réseau à trois niveaux de la qualité des applications Web.

Par la suite, pour compléter la construction de notre modèle relationnel de la qualité, il faudra construire les sous-réseaux plus détaillés pour chacune des sous-caractéristiques. En opérant de façon récursive, nous pouvons compléter au fur et à mesure notre RB par l'ajout de sous-réseaux, correspondant aux critères majeurs et leurs sous-critères.

Nous remarquons, à ce niveau que les liens entre les variables vont seulement des parents vers leur fils unique et il n'y a pas d'interdépendance entre les sous-caractéristiques. C'est à partir de la prochaine étape que les relations dans le réseau vont se compliquer. Des liens peuvent se créer entre des nœuds situés au même niveau, reliant des niveaux non successifs du RB ou un même parent peut avoir plusieurs fils. Cependant, afin de respecter le formalisme de construction des RBs, lors de l'instauration des liens entre les critères, il faut veiller à vérifier l'absence de cycles entre les nœuds du réseau.

#### 4.1.2 Construction du sous-réseau de la qualité des liens

La qualité des liens est un des critères importants de la qualité des applications Web. L'exemple qui suit montre la construction du fragment de RB correspondant à ce critère. Il décrit les différentes étapes de notre méthodologie. Il permet, surtout, d'explorer les différents raisonnements possibles aboutissant à la construction de ce sous-réseau.



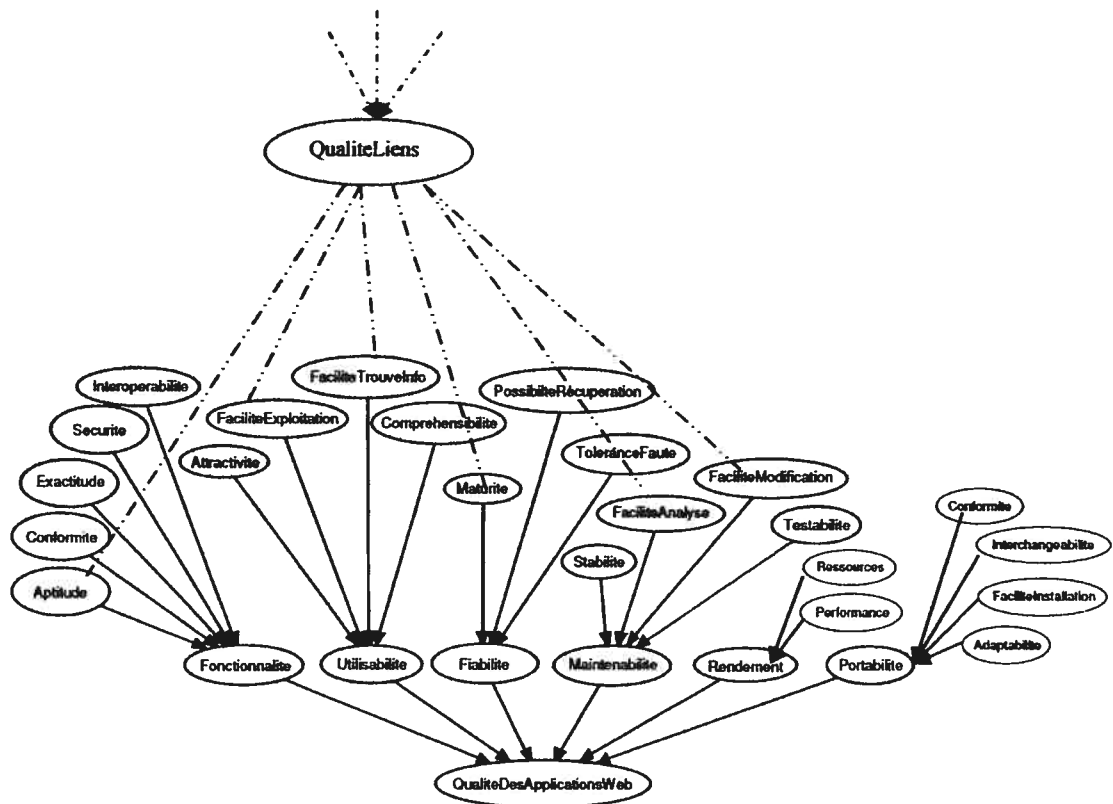


Figure 4. Interdépendances entre la qualité des liens et le réseau de base de la qualité.

La qualité des liens est un critère qui peut caractériser aussi bien la fonctionnalité que l'utilisabilité, la fiabilité ou la maintenabilité des applications Web (Figure 4). En effet, ce critère influence :

- deux sous-caractéristiques de l'utilisabilité qui sont la facilité d'exploitation et la facilité à trouver l'information (Nielsen 2000; Olsina 2001) ;
- une sous-caractéristique de la fonctionnalité qui est l'aptitude (Olsina 2001) ;
- une sous-caractéristique de la fiabilité qui est la maturité (Olsina 2001) ;
- deux sous-caractéristiques de la maintenabilité qui sont la facilité d'analyse et la facilité de modification (Dalton 1996).

Par rapport au réseau de base de la qualité, le critère qualité des liens (ou ses sous-critères) peut affecter directement ou via des critères intermédiaires les différentes sous-caractéristiques de la qualité. Ces interdépendances sont schématisées par des lignes pointillées dans le cas de la Figure 4.

#### 4.1.2.1 Les sous-critères de la qualité des liens d'après la littérature

Les liens hypertextes sont des éléments essentiels pour la navigation à l'intérieur d'une application Web. Quand il s'agit de la qualité des liens, il n'existe pas de standards qui précisent les sous-critères qui affectent ce critère.

Pour cela, une étude approfondie de la littérature (Nielsen 2000; Ivory 2002; Koyani 2003) a permis de rassembler les critères et sous-critères de la qualité des liens avec leurs significations et les recommandations des auteurs à propos de ces critères comme décrit au (§ 3.4.1.1). Ces critères et sous-critères sont regroupés dans le Tableau 9, après raffinement par l'application du paradigme GQM (§ 3.1.2).

<b>Qualité des liens</b>	
<b>1 Identification des liens</b>	<b>2 Affabilité des liens</b>
1.1 Texte de lien significatif	2.1 Liens image ou graphique
1.2 Texte de lien représentatif de la cible	2.2 Liens texte
1.3 Longueur du texte de lien	2.3 Titre des liens
1.4 Titre des liens	2.4 Lien vers la page d'accueil
1.5 Nombre de liens	2.5 Lien vers la page courante inactif
1.6 Couleur des liens	2.6 Erreurs des liens
1.7 Soulignement des liens	2.7 Nombre de liens
1.8 Changement de couleur des liens visités	2.8 Présence d'un mécanisme de détection des erreurs de liens

Tableau 9. Les critères et sous-critères de la qualité des liens

La signification, les définitions, les directives ou les valeurs seuils, pour chacun de ces critères et sous-critères, sont rapportées à partir des différents travaux comme suit :

**1- L'identification des liens :** pour faciliter l'identification des hyperliens dans une page ou une application Web, plusieurs critères et sous-critères sont impliqués :

**1.1- Un texte de lien significatif :** pour éviter la confusion des utilisateurs, il faut que le texte d'un lien différencie un lien d'un autre. L'utilisateur doit être capable, en regardant un lien, d'apprendre le plus d'information possible sur la destination de ce lien. L'utilisation de termes comme « Cliquer ici » peut être contreproductif (Koyani 2003).

**1.2- Un texte de lien représentatif de la cible :** il faut accorder le plus possible le texte du lien avec la destination. Le texte doit être pertinent, compréhensible, représentatif de la cible et permettre une identification facile de la destination (Olsina 2001).

**1.3- La longueur du texte de lien :** le nombre de mots formant le lien doit être restreint. Si le texte est long il y aura le problème d'extension du lien sur deux lignes (Wrapped Links) et certains navigateurs peuvent le considérer comme deux liens différents. Dans la littérature, les recommandations existantes à propos de la longueur du texte du lien sont contradictoires; 2 à 4 mots pour (Nielsen 2000) et 7 à 12 pour (Sawyer 2000).

**1.4- Le titre des liens :** on appelle titre de lien (Nielsen 2000) l'apparition d'une info bulle explicative lorsque le lien est pointé. La présence d'un titre de lien peut aider l'utilisateur à mieux identifier la cible par la présence d'explications supplémentaires explicites la décrivant.

**1.5- Le nombre de liens :** un grand nombre de liens peut causer la confusion de l'utilisateur quant à l'identification d'un lien recherché. C'est le nombre total de liens dans une page. Plus le nombre de liens dans une application augmente, plus la possibilité d'erreurs de liens augmente.

**1.6- La couleur des liens :** pour mieux identifier les liens, il faudra qu'ils soient facilement reconnaissables parmi les autres éléments du texte, entre autres par leur couleur. De plus, ils doivent être colorés de la même façon à travers toute l'application (Nielsen 2000). La littérature fournit des directives pour les couleurs à utiliser pour les liens texte. Ces couleurs doivent être de préférence celles utilisées par les navigateurs (Nielsen 2000; Ivory 2002).

**1.7- Le soulignement des liens :** il aide, avec la couleur, à différencier visuellement les liens du contenu texte de l'application. Les liens non soulignés peuvent être ignorés, puisque l'utilisateur est habitué à l'inverse (Sawyer 2000). C'est à éviter, puisqu'ils pourront être confondus avec du texte.

**1.8- Le changement de couleur des liens visités :** il est recommandé d'utiliser des couleurs distinctes pour les liens non visités/visités (Nielsen 2000; Sawyer 2000).

**2- L'affabilité des liens :** elle est assurée selon le type, et le titre de liens, par la présence d'un lien vers la page d'accueil et par l'absence d'erreurs de liens.

**2.1- Les liens image ou graphique :** ce sont des liens accessibles en cliquant sur les images. L'utilisation de liens graphiques est à éviter car ils peuvent être ignorés (Sawyer 2000) ou gêner la navigation (Ivory 2002). Un texte alternatif à l'image peut aider à mieux comprendre la destination du lien.

**2.2- Les liens texte :** les liens qu'on retrouve sous forme de texte dans la page. Les liens texte sont plus importants et préférables aux liens graphiques.

**2.3- Le titre des liens (voir plus haut)**

**2.4- Le lien vers la page d'accueil :** toutes les pages doivent avoir un lien vers Home.

**2.5- Le lien vers la page courante inactif :** le lien vers la page courante (ouverte) doit être marqué et doit rester inactif quand on clique dessus. Sinon, il n'est pas reconnu par l'utilisateur et la page est rechargée de nouveau quand il est cliqué.

**2.6- Les erreurs des liens :** les erreurs des liens constituent un problème sérieux qui affecte la qualité des liens et par la suite la qualité de l'application Web. La présence d'un mécanisme automatique de détection des liens coupés aide à éviter un certain nombre d'erreurs de liens. Plusieurs types d'erreurs de liens sont rencontrés : les liens coupés (invalides, sans destination), les liens redondants (la même information est pointée de différentes façons), les liens non implémentés, les liens vers les pages orphelins, et les faux liens (des liens prévus pour une destination donnée mais qui pointent vers une autre destination), tous peuvent causer la confusion chez l'utilisateur (Ivory 2002).

**2.7- Le nombre de liens (voir plus haut)**

**2.8- La présence d'un mécanisme de détection des erreurs de liens :** la présence d'un tel mécanisme peut diminuer les erreurs de liens et améliorer ainsi la qualité des liens.

#### 4.1.2.2 Le sous-réseau de base de la qualité des liens

Afin d'aborder la construction du sous-réseau de la qualité des liens, il faut commencer par étudier le type de relation entre les critères et les sous-critères. En effet, d'après Koyani & al. (Koyani 2003), pour assurer la qualité des liens, les concepteurs des applications Web doivent porter une attention particulière aux liens hypertextes afin de faciliter leur identification et de soutenir leur affabilité. Ainsi la relation qui lie l'identification des liens et l'affabilité des liens à la qualité des liens est causale.

En conséquence, le sous-réseau de base de la qualité des liens est composé de trois nœuds *IdentificationLiens*, *AffabiliteLiens* et *QualiteLiens*. Les variables aléatoires *IdentificationLiens* et *AffabiliteLiens* sont indépendantes en termes de leur action sur le nœud fils *QualiteLiens*. La Figure 5 représente le sous-réseau de base de la qualité des liens. Les arêtes orientées décrivent la relation de cause à effet entre les deux parents et leur fils *QualitéLiens*.

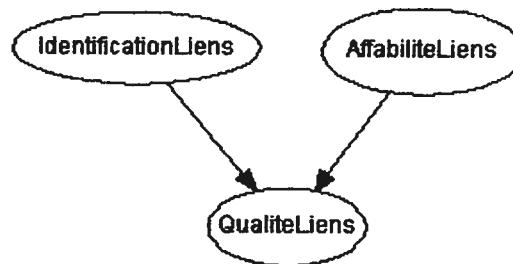


Figure 5. Sous-réseau de base de la qualité des liens.

#### 4.1.2.3 Le sous-réseau de l'identification des liens

Ensuite, d'après le regroupement précédent des sous-critères de la qualité des liens (Tableau 9), l'identification des liens est influencée par huit sous-critères. Ces sous-critères sont les variables aléatoires qui vont constituer les nœuds du sous-réseau de l'identification des liens (*IdentificationLiens*) : Titre des liens (*TitreLiens*), Texte de liens significatifs (*TexteLiensSignificatif*), Longueur du texte de lien (*NombreMotsTexteLiens*), Texte de liens

représentatif de la cible (*TexteLiensCibleReprésentatif*), Nombre de liens (*NombreLiens*), Soulignement des liens (*SoulignementLiens*), Changement de couleur des liens visités (*ChgtCoullienVisite*), Couleurs des liens (*CouleurLiens*). Tous ces critères sont indépendants en terme de leur action sur le nœud *IdentificationLiens*. La variable *CouleurLiens*, par exemple, affecte *IdentificationLiens* de la même façon quelque soit la qualité du texte des liens ou si le lien est souligné ou non.

Or, pour construire le sous-réseau, il faut lier tous les nœuds qui représentent ces sous-critères au nœud *IdentificationLiens*. Ces liaisons sont schématisées par des arêtes orientées partant de la cause (les sous-critères) vers la conséquence (le critère *IdentificationLiens*). Le sous-réseau de la Figure 6 représente les différents sous-critères qui affectent la variable *IdentificationLiens*.

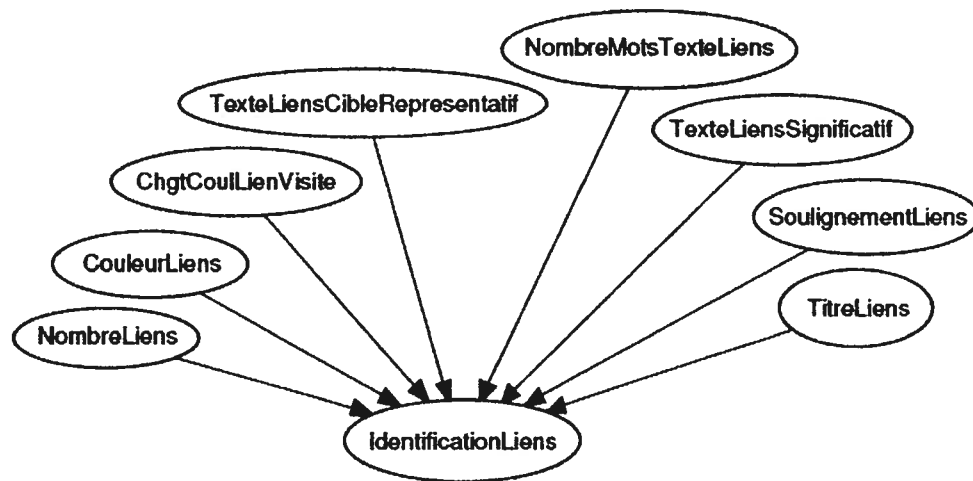


Figure 6. Sous-réseau de l'identification des liens.

Pour diminuer la complexité de ce sous-réseau, et réduire l'effet de l'explosion combinatoire lors de la création des tables de probabilité des nœuds (TPN), des regroupements de ces sous-critères sont possibles. En effet dans le cas de la Figure 6, nous avons neuf nœuds;  $p(\text{IdentificationLiens} \mid \text{CouleurLiens}, \text{TitreLiens}, \dots)$ . Si, pour chaque variable nous avons seulement deux états possibles, le nombre des valeurs de probabilité

pour peupler la table de probabilité du nœud *IdentificationLiens* est  $2^8 = 256$ . En fait, il est possible de diviser cette table en plusieurs tables plus simples par l'introduction de nœuds synthétiques. Nous pouvons, ainsi, aboutir à un réseau moins complexe en suivant un raisonnement qui respecte le formalisme de construction des RBs.

La technique de couper l'espace combinatoire est appelé « Divorce » (Jensen 2001). Cependant, les nœuds parents ne peuvent divorcer que si leur effet sur le nœud fils peut être considéré séparément des autres nœuds parents non divorcés. C'est une condition nécessaire pour l'application de cette technique. En outre, pour qu'un nœud synthétique soit valide, quelques uns des états de combinaison des nœuds parents doivent être échangeables et ainsi équivalents, en terme de leur effet sur le nœud fils. Ces états de combinaisons échangeables doivent aussi être indépendants de chaque parent non divorcé, toujours en termes d'effet sur le nœud fils.

Par exemple, pour illustrer cette technique, considérons les trois nœuds *TexteLiensSignificatifs*, *NombreMotsTexteLiens*, et *TexteLiensCibleReprésentatif*. Ce sont trois sous-critères qui caractérisent le texte d'un lien. En effet, selon une colonne d'Alertbox<sup>8</sup> de Nielsen, les mots utilisés dans les liens textes affectent à la fois la conception de l'information et la navigation. De plus, la qualité du texte des liens, ou la phrase titre est de première importance pour identifier un lien donné. D'après Koyani & al (Koyani 2003), un texte de lien est de bonne qualité s'il est significatif, représentatif de la cible et est composé d'un nombre restreint de mots.

Ainsi, ces trois critères affectent d'une façon causale la qualité du texte de liens. Il est donc possible de concevoir un sous-réseau composé par un nœud synthétique le *TexteLiens* par combinaison des trois nœuds considérés. Nous aurons un sous-réseau composé de quatre variables qui sont *TexteLiensSignificatifs*, *NombreMotsTexteLiens*, *TexteLiensCibleReprésentatif*, et *TexteLiens*, ayant chacun deux ou trois états possibles (par

---

<sup>8</sup> Dans Alertbox à l'adresse <http://www.useit.com/alertbox/980111.html>

exemple *TexteLiensSignificatifs* peut avoir deux états : significatifs et non significatifs), comme nous allons l'expliquer plus loin à l'étape de préparation des TPNs .

En fait, l'effet des trois nœuds parents (Figure 7) sur le nœud *IdentificationLiens*, peut être considéré séparément des autres nœuds parents non divorcés. Par exemple, le regroupement des trois nœuds n'affecte en rien l'influence des autres nœuds parents comme *TitreLiens* ou *CouleurLiens* sur le nœud *IdentificationLiens*. De plus, l'effet conjoint du nœud parent *TexteLiens*, et des autres nœuds parents restants, sur *IdentificationLiens* est le même peu importe que les valeurs des états de *TexteLiens* sont déterminées par *TexteLiensSignificatifs* ou *NombreMotsTexteLiens* ou *TexteLiensCibleReprésentatif*.

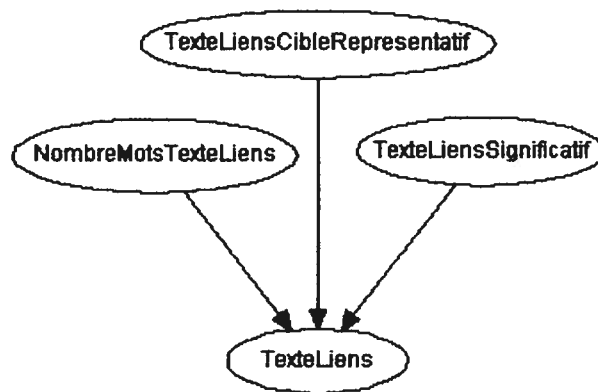


Figure 7. Sous-réseau du texte de liens.

Le même raisonnement est suivi pour regrouper d'autres nœuds parents en créant de nouveaux nœuds synthétiques. Par exemple, la capacité des liens d'être reconnus facilement et d'être familiers pour l'utilisateur provient de leur uniformité. Pour Ivory & al. (Ivory 2002), l'uniformité des liens facilite l'identification des liens et accélère la navigation. Nous pouvons en déduire que, dans une application Web, les liens sont uniformes s'ils ont la même couleur, sont tous soulignés pour faciliter leur reconnaissance et ont un comportement identique sur toutes les pages.





été largement discuté dans la littérature), la présence des liens vers la page d'accueil à partir de toutes les pages de l'application et le fait que le lien vers la page courante soit inactif.

Ainsi, un raisonnement semblable à celui suivi pour la construction du sous-réseau de la facilité d'identification des liens aboutit au sous-réseau de l'affabilité des liens de la Figure 9.

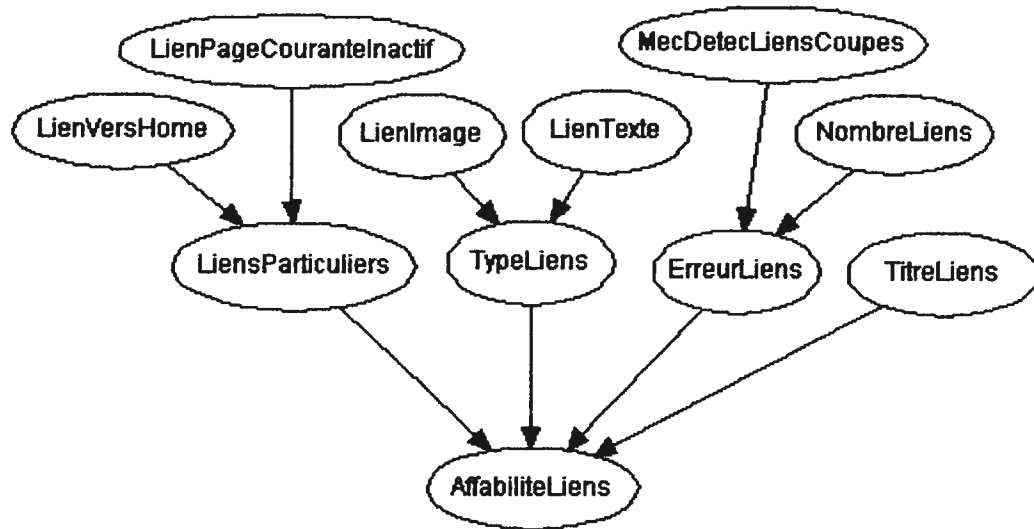


Figure 9. Sous-réseau de l'affabilité des liens.

Dans ce réseau, trois nœuds synthétiques sont déjà introduits dans le réseau afin de réduire l'effet de l'explosion combinatoire : *LiensParticuliers*, *TypeLiens*, *ErreursLiens*. Une remarque cependant, la relation entre les nœuds parents et fils est causale (cas du nœud *ErreurLiens*) ou définitionnelle (cas du nœud *TypeLiens* et *LiensParticuliers*). De plus, les critères et sous-critères évoqués peuvent affecter positivement ou négativement leur super critère.

#### 4.1.2.5 Le sous-réseau rassemblé de la qualité des liens

Enfin, en rassemblant les sous réseaux de l'identification des liens et de l'affabilité des liens, tous les deux affectant la qualité des liens, nous obtenons le sous réseau de la Figure 10. À noter qu'il faut toujours vérifier, lors de l'assemblage des sous réseaux, que

les différentes conditions de construction du RB sont respectées (absence de cycles, indépendances des parents, etc.).

Nous remarquons dans la Figure 10, que les sous-critères *NombreLiens* et *TitreLiens* qui peuvent caractériser en même temps l'identification et l'affabilité des liens sont facilement et intuitivement reliés avec leur deux fils dans la structure du graphe. Les relations se résument à des arêtes orientées et chacun des parents dans ce cas a deux fils. Ce qui peut éviter la redondance rencontrée dans des cas pareils avec les représentations hiérarchiques.

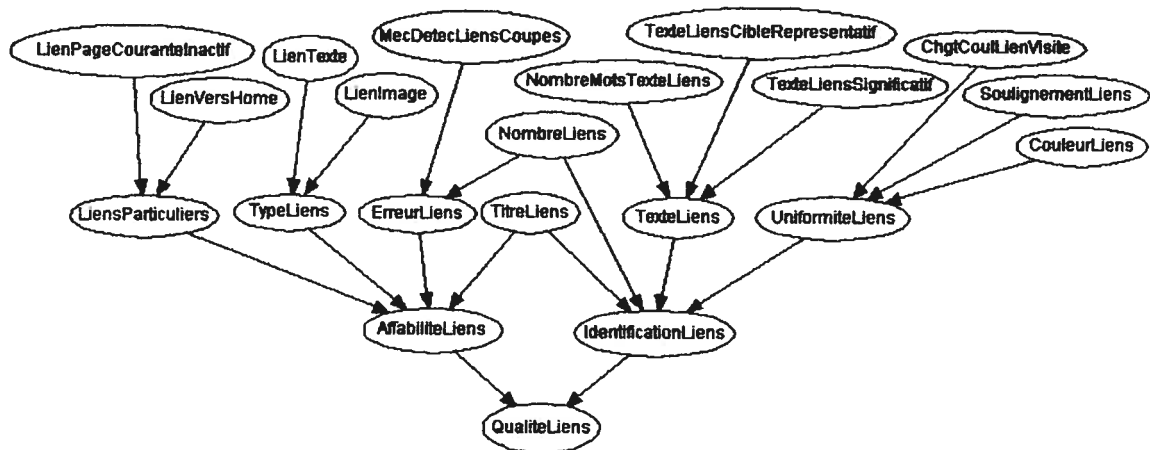


Figure 10. Sous-réseau rassemblé de la qualité des liens.

Toutefois, comme nous l'avons déjà mentionné, la qualité des liens et quelques uns de ses sous-critères peuvent affecter plusieurs sous-caractéristiques de la qualité à la fois. D'après Olsina & al. (Olsina 2001), l'uniformité des liens est un critère d'utilisabilité, les titres de liens et le texte de liens sont des facteurs de fonctionnalité et affectent l'aptitude, les erreurs de liens affectent la maturité, une sous-caractéristique de la fiabilité. D'après Dalton (Dalton 1996) le nombre de liens affectent la facilité d'analyse et la facilité de modification lors de la maintenance des applications. De plus selon plusieurs études (Nielsen 2000; Koyani 2003) la qualité des liens est un critère de la navigabilité comme nous allons voir dans le Chapitre 5.

Donc, le sous-réseau de la qualité des liens n'est qu'un fragment du réseau global de la qualité des applications Web ayant plusieurs liaisons avec d'autres critères et sous-caractéristiques de la qualité.

## 4.2 Définition des paramètres

Pour mieux expliquer le mécanisme de définition des paramètres et l'attribution des probabilités aux nœuds du RB considérons, par exemple, le sous-réseau de l'affabilité des liens de la Figure 9. Dans ce sous-réseau, nous comptons quatre nœuds intermédiaires (*TypeLiens*, *ErreursLiens*, *AffabiliteLiens*, *LiensParticuliers*). Les sept autres sont des nœuds d'entrée qui n'ont pas de parents.

### 4.2.1 Cas des nœuds intermédiaires

Les nœuds intermédiaires ne sont pas directement mesurables. Ils sont définis ou influencés par leurs nœuds parents. Pour chaque nœud intermédiaire  $C_c$  qui a des valeurs possibles  $\{V_{c1}, \dots, V_{ck}, \dots, V_{cn}\}$  et a des parents  $\{C_{p1}, \dots, C_{pi}, \dots, C_{pm}\}$  avec des valeurs possibles  $\{V_{c11}, \dots, V_{cij}, \dots, V_{c1l}\}$ , nous avons besoin de définir une table qui donne les probabilités pour toutes les combinaisons possibles des valeurs :

$$P(V_{ck} | V_{p1j}, \dots, V_{pmj})$$

Ces valeurs de probabilités peuvent être ajustées par la suite en utilisant l'apprentissage automatique à partir des données simples ou à partir des cas traités.

Un parent peut influencer positivement ou négativement ses nœuds fils. Les distributions des probabilités sont attribuées selon l'importance ou le poids de chacun des parents pour le nœud fils. Au départ, pour dériver les TPNs (tables de probabilités des nœuds), il faut considérer le poids de chaque sous-critère dans la définition ou l'influence de son super critère. Ainsi, quand la présence d'un sous-critère est recommandée, bénéfique et contribue à améliorer la qualité de son super critère, la probabilité à attribuer à ce critère

dans la table de probabilité du super critère est grande tout en respectant l'influence des autres sous-critères. Pour cela, les TPNs sont d'abord déterminées à partir des études dans le domaine et les avis des experts pour la phase initiale.

Par exemple, la variable *ErreursLiens* est influencée par ses deux parents *NombreLiens* et *MecDetecLiensCoupes*. Il s'agit de trouver la probabilité conditionnelle du nœud *ErreurLiens* :  $p(\text{ErreurLiens} \mid \text{NombreLiens}, \text{MecDetecLiensCoupes})$ . Or, l'augmentation du nombre de liens peut causer une augmentation des erreurs de liens. Par contre, la présence dans l'application d'un mécanisme de détection des liens coupés contribue à la diminution des erreurs des liens. Un scénario possible pour la TPN du nœud *ErreurLiens* est représenté au Tableau 10.

<i>MecDetecLienCoupes</i>	Oui			Non		
<i>NombreLiens</i>	Petit	Moyen	Grand	Petit	Moyen	Grand
Faible	0.9	0.8	0.85	0.7	0.75	0.6
Grand	0.1	0.2	0.15	0.3	0.25	0.4

Tableau 10. La TPN du nœud intermédiaire *ErreurLiens*.

En effet, en fonction de l'organisation, du degré de maintenance et du domaine de l'application, ces chiffres peuvent être réajustés. Un type de raisonnement qui peut être appliqué est le suivant : si le nombre de liens est faible et l'application possède un mécanisme de détection des liens coupés, la probabilité de trouver des erreurs de liens dans une telle application est faible. Donc, la probabilité de l'état « Faible » dans la table de probabilité du nœud *ErreurLiens* peut être de 90%. Inversement, si l'application n'a pas de mécanisme pour détecter les erreurs de liens et que le nombre de liens dans l'application est grand, la probabilité de l'état « Grand » du nœud *ErreurLiens* peut être de 40%. À noter que les erreurs de liens peuvent provenir de problèmes autres que les liens coupés, comme les faux liens, les liens sans destination, etc.

Ainsi, les tables de probabilités conditionnelles reliant la sortie aux entrées, vont décrire la relation d'incertitude entre les différentes causes et la conséquence, et la probabilité avec laquelle chacune des causes va affecter la conséquence.

## 4.2.2 Cas des nœuds d'entrée

Pour la plupart, les critères d'entrée des sous-réseaux sont mesurables automatiquement. Ce sont les valeurs empiriques mesurées de ces critères, pour une application Web donnée, qui servent à définir les tables de probabilités des nœuds d'entrée. Toutefois, l'utilisation des mesures pour l'attribution des états possibles et des probabilités à ces variables peut se faire de différentes façons selon la nature du critère. Trois cas sont à considérer.

### 4.2.2.1 Cas des critères binaires mesurés selon leur présence

C'est le cas des nœuds d'entrée du réseau pour lesquels la mesure du critère se résume à sa présence ou non dans l'application Web. Par exemple, la variable *MecDetecLiensCoupes* est binaire et peut être mesurée simplement par sa présence ou non. Pour ce type de critères nous pouvons attribuer deux états « Oui » s'il est présent et « Non » dans le cas contraire. Si l'application ne possède pas un mécanisme de détection des erreurs de liens (état « Non »), la table de probabilité, 'a priori', pour ce nœud est présentée par le Tableau 11.

Oui	0.01
Non	0.99

Tableau 11. La TPN 'a priori' du nœud d'entrée *MecDetecLiensCoupes*.

Comme les probabilités ne doivent pas être nulles dans un RB, nous avons attribué une probabilité de 1% à l'état « Oui » et 99% à l'état « Non ». Dans le cas où l'application possède un mécanisme de détection de liens coupés, il faut faire le raisonnement inverse. Dans les deux cas c'est la valeur obtenue par la mesure de ce critère pour une application donnée qui détermine la TPN du nœud. En outre, ce nœud affecte négativement son fils *ErreurLiens*, puisque la présence d'un mécanisme de détection de liens coupés dans une application contribue à diminuer les erreurs de liens. De même, le nœud *ErreursLiens* affecte négativement son fils *AffabilitéLiens* et par conséquent la qualité des liens.

#### 4.2.2.2 Cas des critères ayant des degrés d'existence mesurables

C'est le cas de plusieurs critères de la qualité des applications Web. Dans le sous-réseau de l'affabilité des liens, les nœuds *TitreLiens*, *LienImage* et *LienTexte* sont des variables qui peuvent avoir des degrés d'existence mesurables. Prenons l'exemple de la variable *TitreLiens* pour illustrer ce cas. En effet, dans une application donnée, il se peut que tous les liens n'aient pas de titre ou inversement tous les liens ont un titre. Or, nous avons remarqué que dans une même application Web, quelques liens ont des titres.

Ainsi, nous pouvons prévoir deux états pour le nœud *TitreLiens*, « AvecTitre » ou « SansTitre ». La probabilité de chaque état est déterminée par les pourcentages calculés. Si le nombre de liens ayant des titres, dans une application donnée, est 30%, nous attribuons une probabilité de 0.3 à l'état « Avec titre » et 0.7 à l'état « Sans titre ». Dans le cas où l'application ne prévoit pas des titres pour ces liens, nous aurons des probabilités de 0.01 et 0.99 respectivement pour les deux états (Tableau 12), etc.

Avec titre	0.3
Sans titre	0.7

Tableau 12. La TPN 'a priori' du nœud *TitreLiens*.

D'autre part, plus le nombre de liens ayant des titres est grand, mieux est l'affabilité des liens. Donc, ce nœud affecte positivement son nœud fils.

#### 4.2.2.3 Cas des critères admettant une infinité de valeurs

Plusieurs critères de qualité comme le nombre de liens, la vitesse de téléchargement d'une page, le nombre d'images dans une application, etc., sont des variables quantitatives qui ont des valeurs numériques mesurables directement à partir de l'application Web. La valeur mesurable de ces variables est différente d'une application Web à l'autre. De plus, le nombre des valeurs possibles pour ces variables peut être infini.

Pour cela, afin de faciliter la définition des probabilités, ces variables sont d'abord transformées en variables discrètes ayant un nombre limité de valeurs. Cette transformation peut être accomplie via l'application de la logique floue. En effet, le processus de partitionnement flou remplace les différentes valeurs d'un critère par un ensemble de fonctions qui représentent le degré d'appartenance (ou d'adhésion) de chaque valeur aux différentes étiquettes floues (souvent « grand », « moyen » et « petit »).

#### 4.2.2.3.1 *Partitionnement flou*

Le partitionnement flou généralise les méthodes de regroupement par grappes en permettant à une valeur d'être partiellement classée dans une ou plusieurs grappes à la fois. L'adhésion ou l'appartenance de cette valeur est distribuée dans toutes les grappes. Ceci a l'avantage de ne pas forcer chaque valeur dans une grappe spécifique. L'inconvénient est que, dans ce cas, il y a beaucoup plus d'information à interpréter. Une condition, cependant, la somme de tous les degrés d'appartenance de cette valeur dans toutes les grappes doit être égale à un.

L'intérêt du partitionnement flou est de permettre la séparation des données, dont les identités ne sont pas connues à l'avance, en groupes. Généralement, le vrai nombre de groupes ou grappes à choisir n'est pas connu au départ. C'est plutôt le degré de similitude et de différence entre les différentes observations qui est utilisé pour définir les grappes. Des essais avec plusieurs nombres de grappes (de 2 à 5 par exemple) peuvent être faits. Lors du partitionnement flou, un degré d'appartenance à chaque grappe est assigné à chacune des données mesurées.

Or, empiriquement, nous pouvons déterminer le nombre optimal de grappes avec une statistique connue sous le nom de coefficient de partition de Dunn  $F_k$ . Ce coefficient nous indique comment regrouper de la meilleure façon un ensemble de données dans différentes grappes (Trauwaert 1988). Plus le coefficient de Dunn est élevé, plus les sous-ensembles flous s'approchent des ensembles de la logique classique. Donc, le nombre de



grappes optimales est celui qui maximise  $F_k$ . Le coefficient de partition de Dunn est calculé selon la formule :

$$F_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{g=1}^k u_{ig}^2$$

( $N$  étant le nombre total d'observations (données),  $g$  l'indice pour une grappe,  $k$  le nombre de grappes et  $u_{ig}$  la valeur ou le degré d'appartenance d'un objet donné à une grappe).

$F_k$  varie du minimum de  $1/k$  pour une classification complètement floue (où tous les  $u_{ig} = 1/k$ ) jusqu'à 1 pour une classification entièrement dure (où tous les  $u_{ig} = 0$  ou 1). Il est donc égal à un quand, pour chaque objet, le degré d'appartenance est égal à l'unité dans une grappe et à zéro dans toutes les autres grappes.

#### 4.2.2.3.2 Exemple d'application

Pour procéder à un partitionnement flou, un nombre important de valeurs doit être obtenu pour un critère donné afin d'améliorer la précision des résultats. Par exemple, pour le nœud *NombreLiens*, il faut mesurer le nombre de liens pour un grand nombre de pages Web sur Internet. L'histogramme de fréquence construit à partir des valeurs obtenues (Figure 11) ne permet de voir qu'un seul ensemble de données.

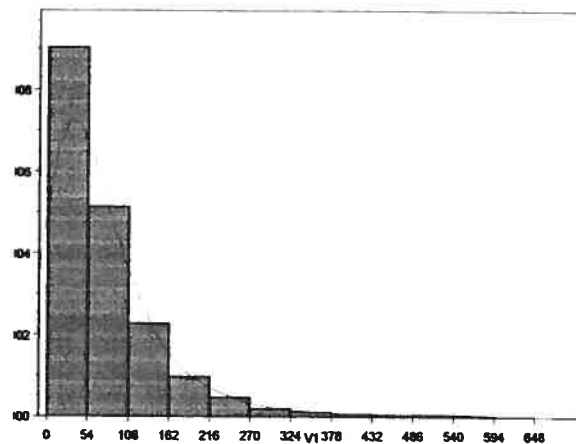


Figure 11. Histogramme de fréquence pour le sous-critère nombre de liens.

Pour cela, des essais de partitionnement flou avec 2 et 3 grappes, des valeurs obtenues pour le sous-critère nombre de liens, montrent qu'avec deux grappes le coefficient de Dunn est 0.6036112 et avec trois grappes il est égal à 0.6787186. Donc, pour ce sous-critère, c'est le partitionnement en trois grappes qui est retenu. Le partitionnement de l'ensemble des valeurs mesurées du sous-critère considéré attribue à chacune de ces valeurs son degré d'appartenance à chacune des trois grappes.

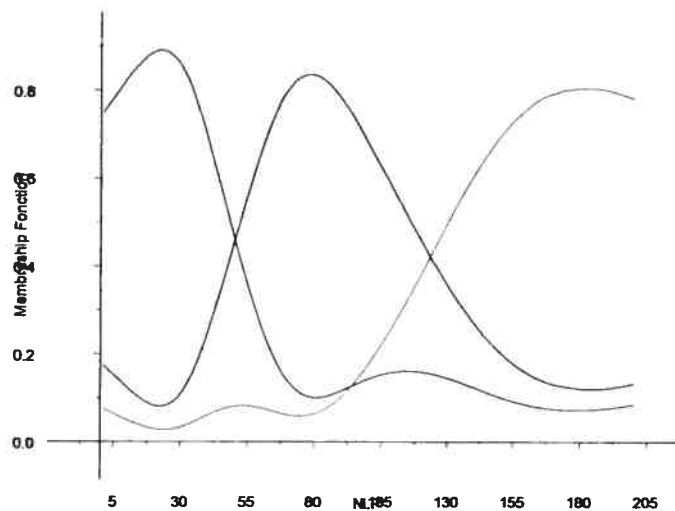


Figure 12. Partitionnement flou pour le sous-critère nombre de liens.

Si nous représentons les degrés d'appartenance obtenus en fonction du nombre de liens par page nous aurons le graphe de la Figure 12 représentant les trois ensembles flous du sous-critère nombre de liens.

Ensuite, pour définir les limites de ces ensembles flous, une méthode d'approximation est utilisée afin de transformer les courbes en formes standard (trapèze ou triangle). L'approximation est réalisée par l'intersection des tangentes aux courbes (Sahraoui 2002). Nous obtenons ainsi un graphe représentant les grappes floues pour le nombre de liens (Figure 13).

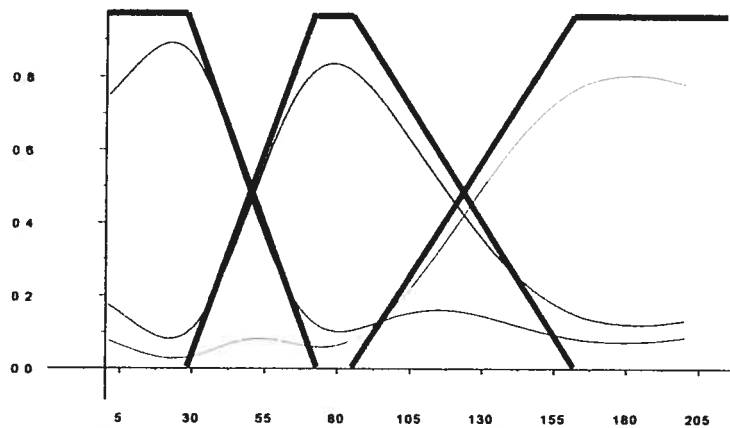


Figure 13. Ensembles flous du sous-critère nombre de liens.

#### 4.2.2.3.3 Degrés d'appartenance et probabilités

Une fois le partitionnement flou et l'approximation réalisés pour le nombre optimal de grappes, le graphe obtenu représente les valeurs des degrés d'appartenance en fonction des nombres de liens des applications Web (Figure 13). Ainsi, le partitionnement flou d'un critère a comme conséquence la création d'une variable floue avec le même nom, et des ensembles flous associés aux fonctions d'appartenance.

Par la suite, les degrés d'appartenance de chaque mesure à chacun des ensembles flous sont assimilés à des probabilités. En effet, Dubois & al (Dubois 1993), avance que la procédure Bayésienne de mise à jour des probabilités peut être interprétée en termes d'observations floues. Les auteurs précisent que les degrés d'appartenance sont perceptibles comme des probabilités à condition que l'algorithme de partitionnement flou et la méthode d'approximation préserve le fait que la somme des degrés d'appartenance dans toutes les grappes est égale à « un » (condition respectée par le partitionnement flou appliqué aux données).

#### 4.2.2.3.4 Définition des TPNs à partir des degrés d'appartenance

Lors de l'évaluation d'une page en particulier, et comme pour les autres nœuds d'entrée du sous-réseau, il faut d'abord mesurer la valeur du critère « Nombre de liens » dans la page Web considérée. À la valeur obtenue correspond trois degrés d'appartenance au trois sous-ensembles flous du graphe, déterminés plus haut (Figure 13). Ces trois degrés d'appartenance constituent les probabilités d'appartenance de la valeur du critère aux différents sous-ensembles flous, et servent à définir les TPNs. Supposons que nous avons trouvé un nombre de lien de 110 et que, rapportée sur le graphe, cette valeur a les degrés d'appartenance suivants : 1% dans le sous-ensemble flous « Petit », 65% dans « Moyen » et 34% dans « Grand », la TPN du critère *NombreLiens* dans ce cas est celui du Tableau 13.

Petit	0.01
Moyen	0.65
Grand	0.34

Tableau 13. La TPN du nœud *NombreLiens*.

### 4.3 Mise en œuvre du réseau Bayésien

Le même raisonnement doit être fait pour tous les nœuds d'un sous-réseau donné. Une fois la structure du graphe et tous les TPNs sont définies, nous pouvons procéder à l'inférence Bayésienne. Il en résulte une mise à jour de toutes les probabilités conditionnelles de tous les nœuds.

Dans le cas du sous-réseau de l'affabilité des liens, nous pouvons attribuer des valeurs, correspondant à la page <http://www.sdcoe.k12.ca.us/> par exemple (Figure 14), aux nœuds d'entrées pour la mise en œuvre du réseau. Dès que les distributions des probabilités sont mises à jour pour les valeurs introduites, nous aurons une estimation sous forme de probabilité pour les différents états attribués au nœud *AffabiliteLiens* (Figure 15).

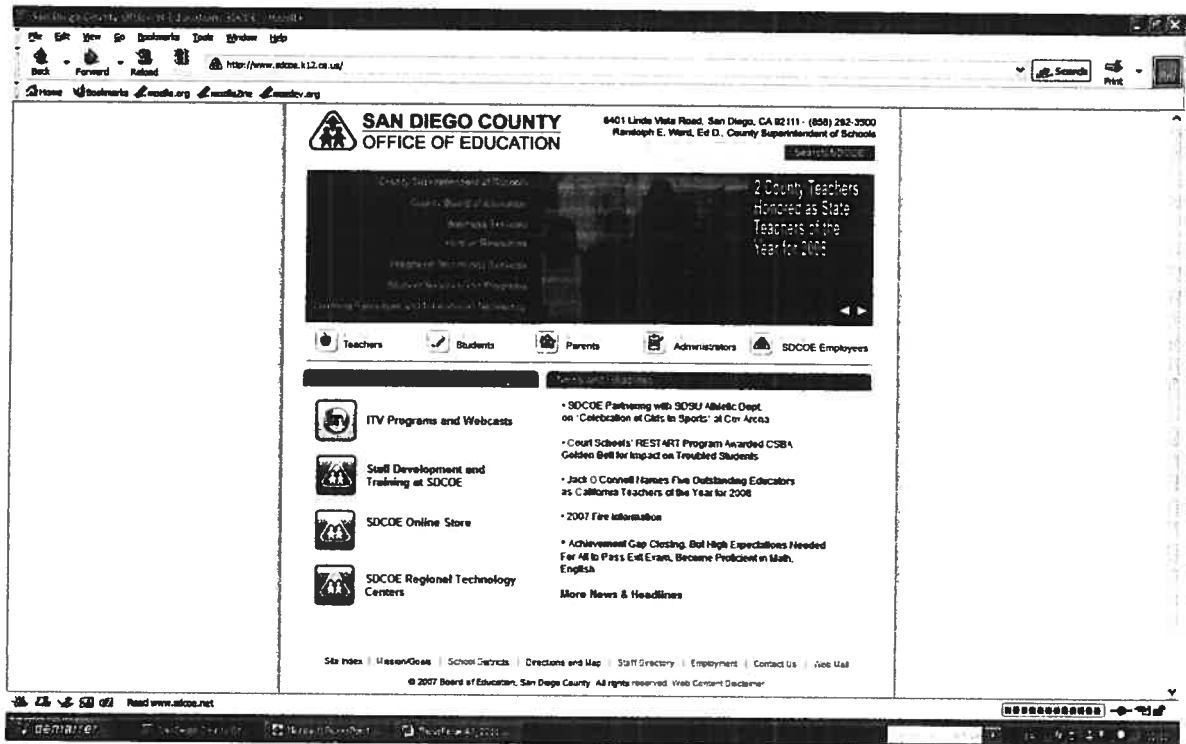


Figure 14. Copie d'écran de la page <http://www.sdcoe.k12.ca.us/>

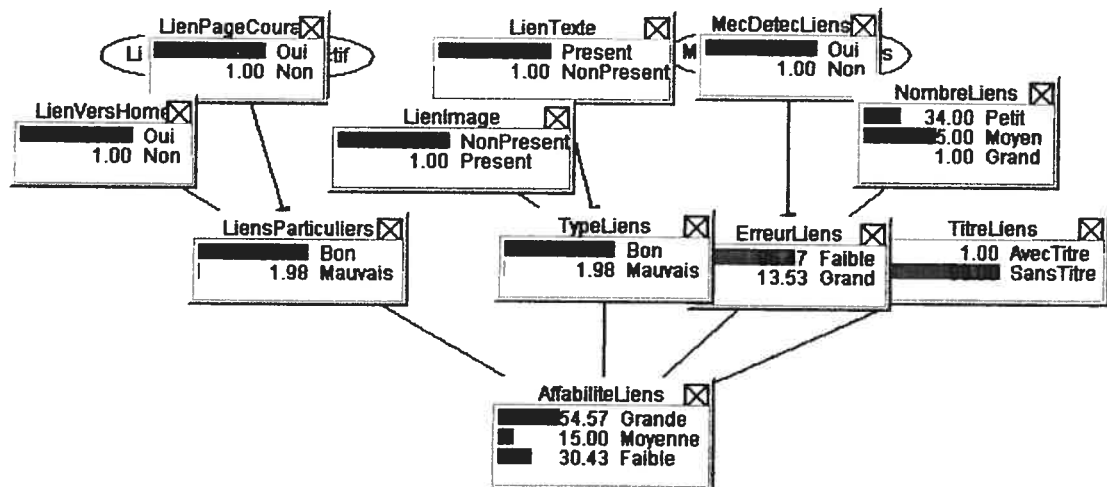


Figure 15. Sous-réseau de l'affabilité des liens après inférence.

Ayant affecté trois états « Mauvaise », « Moyenne » et « Bonne » au nœud *AffabiliteLiens*, et avec les données d'entrée utilisées, nous pouvons conclure que

l'affabilité des liens pour la page Web considérée a 54.57 % de probabilité d'être bonne. Une extension du raisonnement au réseau global de la qualité des applications Web, permet d'avoir des prévisions quantitatives concernant cette qualité.

## 4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre processus de construction d'un modèle relationnel de la qualité spécifique aux applications Web utilisant une approche probabiliste. L'utilisation des réseaux Bayésiens et de la logique floue ont permis de prendre en considération l'incertitude, l'imprécision et la subjectivité des mesures lors de l'évaluation quantitative de la qualité de ce type d'application. Notre modèle est conçu pour être extensible et adaptable et peut être élargi et complété dans un environnement de développement approprié.

Une fois développé, le graphe construit s'applique à toutes les applications Web et constitue donc le cadre de travail qui sera utilisé pour l'évaluation d'une application Web en particulier. Pour les critères d'entrée ayant une infinité de valeurs mesurables, les données préalables à l'attribution des probabilités c.à.d. les ensembles flous correspondants, sont déterminés une fois pour toutes et les valeurs des mesures sont conservées dans une base de données. L'affectation des probabilités aux nœuds intermédiaires du réseau attribuées au départ sont valables pour la plupart des applications. Cependant, elles peuvent être réajustées ponctuellement, s'il y a lieu, selon le domaine de l'application à évaluer, la raison de l'évaluation, etc. Les probabilités a priori des critères d'entrée sont déterminés pour chaque application à évaluer à partir de la mesure directe de ces critères.

Ainsi, le développement d'un environnement automatisé, implémentant notre méthodologie et permettant les mesures des critères d'entrée, offrira un moyen pratique et efficace pour l'évaluation quantitative de la qualité des applications Web. Cet environnement sera présenté au Chapitre 6. Par la suite, dans le chapitre suivant, nous

démontrons la faisabilité de notre modèle par un exemple d'application complet portant sur un critère de qualité représentatif des applications Web qui est la navigabilité.

## **Chapitre 5**

# **Application à la Navigabilité**

Dans ce chapitre, nous procédons à une illustration complète de notre méthodologie d'évaluation basée sur le modèle de qualité probabiliste proposé. Nous débutons par la recherche des critères dans la littérature, le rassemblement des critères communs d'une façon hiérarchique puis le raffinement par GQM. Nous détaillons ensuite le processus de développement du RB, la collecte des données, la mise en oeuvre du réseau obtenu et l'obtention d'une estimation de la qualité, pour une page Web donnée, d'un des critères de la qualité des applications Web.

Pour des raisons de clarté et dans le but de montrer la faisabilité de notre approche, nous avons choisi de nous concentrer sur un fragment du réseau concernant un critère majeur de la qualité qui est la conception ou le design de la navigabilité au niveau d'une page Web. La navigabilité est un critère essentiel de la qualité des applications Web. Le design de la navigabilité constitue une partie importante de la conception de l'interface utilisateur. De plus, le design de la navigabilité s'amorce au niveau de l'interface d'une page Web et plusieurs éléments de design de la page sont importants dans l'assurance de la qualité de la navigabilité.

Un tel sous-réseau, avec un nombre limité de nœuds, permet de focaliser sur les étapes essentielles de la construction du RB et de la dérivation des TPNs sans se perdre



dans la gestion d'un grand nombre de critères. Par la suite, il est possible d'étendre cette approche à quelques pages ou à la totalité des pages d'une application Web afin d'évaluer la qualité globale de la navigabilité de cette application.

## **5.1 Introduction à la conception de la navigabilité**

Durant les dernières années, plusieurs auteurs se sont intéressés particulièrement à l'étude de la navigabilité des applications Web. Pour Zhang & al (Zhang 2004) la navigabilité est devenue le pivot de la conception de ces applications. Il précise que concevoir une application Web nécessite une attention particulière à la conception de sa navigabilité afin d'assurer sa qualité. Newman & al (Newman 2000) présentent le design de la navigabilité comme l'un des trois aspects qui affectent la qualité totale de l'interface Web. Selon Ivory & al (Ivory 2002), certains auteurs relient, spécifiquement, la navigabilité aux hyper liens (clarté des liens, pertinence des liens, texte du lien, etc.).

### **5.1.1 La conception de la navigabilité comme facteur de qualité**

Un bon nombre de travaux ont étudié le design de la navigabilité comme facteur de la qualité d'une application Web. Pour Olsina & al (Olsina 2001) le design de la navigabilité est un critère de fonctionnalité, pour d'autres (Nielsen 2000; Ivory 2002; Koyani 2003) elle caractérise l'utilisabilité. Or, pour mieux assigner le design de la navigabilité à l'une ou l'autre des caractéristiques, nous nous référons aux définitions des caractéristiques et sous-caractéristiques de la qualité selon ISO/IEC 9126. Nous constatons que le design de la navigabilité concerne à la fois trois caractéristiques de la qualité qui sont l'utilisabilité, la fonctionnalité et le rendement.

La facilité d'exploitation, une sous-caractéristique de l'utilisabilité, est définie par ISO/IEC 9126 comme étant l'effort à fournir par l'utilisateur pour opérer et contrôler l'opération. En effet, une application est facilement opérable si, entre autres :

- elle fait un peu ou pas appel aux connaissances techniques des utilisateurs (Niessink 2002). Dans le cas du Web, un utilisateur quelconque doit pouvoir parcourir une page, passer d'une page à l'autre de l'application, chercher ou accéder à une information donnée (en d'autres mots « Naviguer ») d'une façon intuitive en utilisant les hyperliens (Nielsen 2000).
- elle requiert des commandes uniformes, basées sur le sens commun (Niessink 2002). Pour une application Web, les commandes sont les boutons, les barres et les menus de navigation qui doivent être cohérents, stables, permanents et basés sur le sens commun (Olsina 2002).

La facilité à trouver l'information, une autre sous-caractéristique de l'utilisabilité, est l'effort à fournir par l'utilisateur pour repérer l'information recherchée. Ainsi, la facilité de localisation et d'accès à l'information fait partie, par définition, de la facilité à trouver l'information. La présence des mécanismes de la navigation (mécanisme de recherche, plan de site) va aider à accomplir cette tâche.

L'aptitude, une sous-caractéristique de la fonctionnalité, est la présence et la convenance d'un ensemble de fonctions pour réaliser des tâches indiquées (ISO/IEC9126 2003). La présence des éléments de la navigation, d'un mécanisme de recherche, et des éléments pour assurer une rétroaction visuelle ou textuelle à l'utilisateur sont, selon Olsina (Olsina 2001), des fonctionnalités nécessaires pour réaliser des tâches spécifiques (se repérer et se déplacer dans l'application).

La performance, une sous-caractéristique du rendement, est le temps de traitement et de réponse, et le taux de réalisation des tâches (ISO/IEC9126 2003). L'efficacité de la navigation, qui peut être assurée par de bons éléments de navigation ou par la rapidité de téléchargement des pages Web, caractérise la performance selon Brajnik (Brajnik 2000).

Ainsi, le design de la navigabilité dans une application Web peut caractériser son utilisabilité (facilité d'exploitation, facilité à trouver l'information), sa fonctionnalité

(aptitude) et son rendement (performance). Une amélioration de la navigabilité a comme effet d'améliorer la qualité d'une application Web.

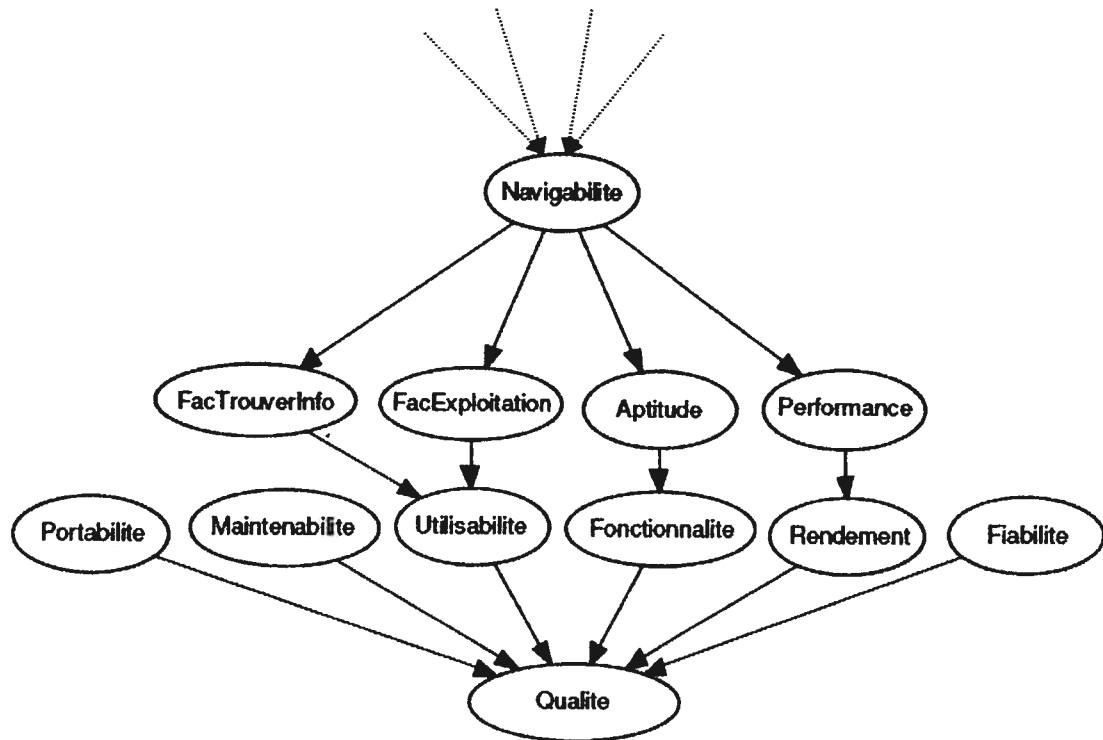


Figure 16. Interdépendances avec les sous-caractéristiques de la qualité.

La construction d'un fragment de RB, représentant les liens de cause à effet entre le design de la navigabilité et les sous-caractéristiques de la qualité, permet de situer le nœud *Navigabilité* dans le RB de la qualité des applications Web (Figure 16). Les flèches en pointillés indiquent la présence des critères qui influencent la qualité de la navigabilité. Par la suite, nous nous intéressons particulièrement à la conception de la navigabilité.

### 5.1.2 Définition de la conception de la navigabilité

Afin de construire le sous-réseau de la conception de la navigabilité, il faut trouver les sous-critères qui influencent la qualité de ce critère au niveau d'une page Web. Comme dans le cas de la qualité des liens (§ 4.1.2), il n'y a pas de standard qui définit ou indique

quels sont ces sous-critères. C'est à partir de la littérature et des travaux existants dans le domaine qu'ils sont déterminés.

D'après l'encyclopédie 'Britannica Online', « Naviguer » consiste à trouver la manière d'arriver à une destination désirée. Concernant la conception de la navigabilité, des descriptions proposées par plusieurs auteurs, ont permis d'élaborer une définition globale de ce critère qui aide à déterminer les sous-critères correspondants.

Pour McGovern (McGovern 2001), un bon design de la navigabilité doit permettre à l'utilisateur de reconnaître où il est exactement dans l'application Web, où il était et où un lien particulier peut l'amener.

Selon Koyani & al (Koyani 2003), la navigabilité se rapporte à la méthode utilisée pour trouver l'information dans une application Web. Le design de la navigabilité (schéma et dispositifs de navigation) doit permettre aux utilisateurs de localiser l'information et de se lier aux pages de destination.

D'une façon plus détaillée, la navigabilité est à la fois la représentation de l'architecture de l'information (la structure) d'une application, et le mécanisme par lequel les utilisateurs se déplacent dans cette application. Un bon design de la navigabilité permet aux utilisateurs de répondre facilement aux questions suivantes pour chaque page de l'application : je suis en ligne avec quelle application Web, où suis-je dans cette application, qu'est-ce que je peux faire ici, où est-ce que je peux aller à partir d'ici, où sont les informations que je cherche (AGIMO 2004).

À partir de ces différents commentaires, nous pouvons formuler une définition résultante de la conception de la navigabilité au niveau d'une page Web tel que : « Le design de la navigabilité, pour une page Web, se rapporte à *la présence dans cette page d'éléments spécifiques* qui permettent à l'utilisateur de se repérer et localiser l'information recherchée, de se déplacer vers les autres pages de l'application pour accéder à cette information via l'utilisation des hyper liens vers les pages destinations ».

Dans la suite de ce chapitre, nous utilisons le mot Navigabilité pour désigner la conception ou le design de la navigabilité afin d'alléger le texte.

## **5.2 Méthodologie d'évaluation de la Navigabilité**

### **5.2.1 Étape de la collecte des données**

C'est la première étape de la phase de production du modèle de qualité. Elle consiste à rassembler et regrouper les critères de la Navigabilité à partir de la littérature. En effet, plusieurs travaux ont focalisé sur la façon de faciliter et d'améliorer la navigabilité dans une application Web. Ces études ont suggéré un certain nombre d'éléments de conception, des points de contrôle, des conseils et des directives pour assurer la qualité de la navigabilité. Nous nous intéressons particulièrement aux éléments de conception de la navigabilité présents dans une page Web.

W3C (W3C 1999) propose un ensemble de directives et points de contrôle importants pour assurer la qualité de la Navigabilité d'une application Web. Pour améliorer cette Navigabilité au niveau d'une page Web, W3C recommande :

- la création d'un style de présentation cohérent à travers les pages avec les structures qui peuvent apparaître à la même place sur toutes les pages comme, par exemple, les barres et les menus de navigation ;
- l'utilisation des mécanismes de navigation d'une façon cohérente. Quelques mécanismes typiques incluent : les barres de navigation, les plans de site, et les mécanismes de recherche. W3C recommande de regrouper les liens relatifs en barres de navigation, de fournir des informations au sujet de l'organisation générale d'une application Web avec une carte de site ou une table de contenu, et de proposer des fonctions de recherche permettant les différents types de recherche pour différents niveaux de compétences et préférences ;

- l'identification de la cible de chaque lien d'une façon claire. Le texte de lien doit être significatif et concis (ne pas utiliser 'cliquer ici' comme texte de lien). En plus, les concepteurs peuvent clarifier la cible d'un lien avec un titre de lien instructif ;
- l'exposition de l'information principale au début de la page Web : les titres, les paragraphes, les listes, etc.

Ivory & al (Ivory 2002) considèrent la conception de la navigabilité comme une partie importante de la conception de l'interface utilisateur et par conséquent comme un critère majeur de l'utilisabilité. Ce travail remarque que les mécanismes de navigation (barres, liens) facilitent l'interaction avec la structure de l'information dans l'application. Afin d'évaluer la qualité de la Navigabilité au niveau d'une page, plusieurs mesures sont développées :

- taux de texte dans la page (nombre de mots) ;
- type de texte dans la page (texte, texte de liens, titres) ;
- combinaison des mots du texte dans la page (pas de 'cliquer ici', texte de liens significatif, nombre de bons mots, etc.) ;
- qualité des liens dans la page : nombre de liens dans la page (liens texte, liens image, liens vers les autres sections, liens internes, liens redondants), nombre de mots soulignés qui ne sont pas des liens texte, nombre de liens texte qui ne sont pas soulignés, nombre de couleurs utilisées pour les liens texte, nombre de couleurs par défaut du navigateur pour les liens texte, nombre de regroupements de liens texte.
- profondeur de la page ;
- senteur de la page (bons mots visibles, mots invisibles, mots uniques, mots communs dans les pages source et destination) ;

Olsina & al considèrent la navigabilité comme un critère de fonctionnalité (Olsina 2001). L'arbre de qualité qu'ils proposent comporte plusieurs éléments concernant la conception de la navigabilité au niveau de la page comme la présence : d'un indicateur de chemin, d'un indicateur de la position courante, des objets de contrôle de la navigation, d'un roulement (vertical ou horizontal), et d'un titre de lien. En outre, les auteurs évoquent

la permanence et la stabilité des éléments de contrôle (commandes), la qualité du texte de lien et le nombre moyen de liens par page. Pour Olsina & al, la présence d'un mécanisme de recherche dans une page Web est un critère de fonctionnalité qui ne concerne pas la navigabilité.

Brajnik a étudié la plupart des outils automatisés (Brajnik 2000) disponibles pour l'évaluation de l'utilisabilité des sites Web. Pour mesurer la Navigabilité il évoque :

- la validité contextuelle ;
- l'absence de cadres dans la page, mais la présence d'options équivalentes ;
- la présence d'un lien de chaque page vers la page d'accueil ;
- la validité des liens de la page (les liens doivent être vérifiés périodiquement) ;
- l'absence de texte souligné dans la page ;
- la page n'est pas auto-référencée ;
- l'efficacité ;
- la profondeur de la page (règle des trois cliques) ;
- la taille de la page; les tables, les images et les graphes ont des W et H explicites ;
- le temps de téléchargement de la page ;
- le texte de lien significatif.

Dans l'Alertbox<sup>9</sup>, les remarques de Nielsen sur le comportement de l'utilisateur montrent, qu'en général, ce dernier cherche le contenu, scanne rapidement la page et ignore les éléments de la navigation. Il précise, cependant, que la présence de certains éléments de la navigation peut supporter et aider l'utilisateur dans sa recherche de l'information comme la présence : d'un indicateur de chemin, d'un indicateur de la position courante, d'une carte ou plan de site, d'une fonction de recherche, de liens vers la page d'accueil. D'autres directives pour améliorer la Navigabilité de la page sont indiquées dans ces travaux, comme l'absence de liens vers des pages orphelines, le changement de couleur des liens visités, le

---

<sup>9</sup> À l'adresse <http://www.useit.com/alertbox/20000109.html>

bouton retour toujours actif, l'URL relatif, le temps de réponse rapide, la présence d'un titre de lien et le fait de ne pas utiliser 'cliquer ici' comme texte de lien.

Pour Dalton (Dalton 1996), assurer la qualité de la Navigabilité pour une application Web requiert la présence : d'une barre de navigation en haut et en bas de la page, d'un texte alternatif aux boutons graphiques, d'un plan de site, d'un titre significatif par page et d'un service de recherche. De plus, une bonne Navigabilité requiert une attention particulière aux liens externes et une limitation de la taille de la page en octets.

Koyani & al (Koyani 2003) proposent 10 directives dans le but de faciliter la Navigabilité :

- l'assurance d'une rétroaction efficace sur la position courante de l'utilisateur dans l'application (indication de la position courante) ;
- la présence d'une liste de contenu cliquable pour les longues pages ;
- la présence d'options de navigation (bouton de retour actif, mécanisme automatique de fermeture si nouvelle fenêtre) ;
- la différenciation et le regroupement des éléments de navigation ;
- l'utilisation des étiquettes de table descriptives ;
- la présentation efficace des étiquettes de table ;
- la présence d'un plan ou d'une carte de site ;
- l'utilisation de types appropriés de menus (séquentiel ou simultané) ;
- la réduction de la taille (longueur) des pages réservées seulement à la navigation ;
- l'attribution des titres pour les liens (pop-up, commentaire) pour aider les utilisateurs à choisir correctement un lien ;
- l'absence de pages orphelines.

Selon les Développeurs du Web (WDVL 2004), cinq consignes sont importantes pour un bon système de navigation dans une application Web :



- placer les éléments de navigation à gauche ou en haut, sous le titre de la page. Ne pas essayer de concevoir différemment à moins d'être sûr de ce qui serait fait ;
- lier toujours le logo de l'application à la page d'accueil ;
- s'assurer d'avoir un lien vers la page d'accueil dans le menu de navigation de l'application Web ;
- une bonne carte de site et un bon menu de navigation réduiront le nombre de clics nécessaires pour se déplacer d'une page à l'autre. Une règle de pouce pour la bonne navigation dans une application Web : le nombre de clics pour passer d'une page à l'autre à la recherche d'une information doit être de trois.

Pour Opquast.com (Opquast 2004), appliquer les bonnes pratiques pour une Navigabilité de qualité revient à :

- garder les boutons de navigation (précédent, suivant) toujours actifs. Ceci permet le déplacement dans l'historique des pages et d'utiliser le bouton retour du navigateur en toutes conditions ;
- s'assurer que les hyper liens internes ne pointent pas vers des pages en construction pour éviter des clics inutiles aux utilisateurs ;
- vérifier que l'utilisateur peut reprendre la navigation immédiatement après l'envoi d'un formulaire, sans avoir à recourir au bouton précédent de son navigateur. Il faudra éviter les pages "cul-de-sac" et la désorientation des utilisateurs ;
- accompagner les icônes de navigation d'une légende explicite. Ce qui évite aux nouveaux utilisateurs de rechercher le sens d'une icône et améliore l'accessibilité ;
- relier toutes les pages à la page d'accueil. Il faut fournir une solution simple de réorientation en cas de difficulté de navigation ou en cas d'arrivée directe sur une page secondaire du site ;
- si la totalité des pages du site n'est pas directement accessible depuis le menu de navigation, il faut qu'un plan du site soit accessible depuis toutes les pages. Il faut fournir aux utilisateurs une solution en cas de désorientation, pour naviguer, se repérer dans le site et visualiser l'ensemble du contenu ;

- fixer l'emplacement du menu principal de la navigation sur toutes les pages. Il faut fournir aux utilisateurs des repères permanents et stables pour se repérer dans le site;
- s'assurer que l'utilisateur est informé sur chaque page de la position de cette dernière dans la structure du site. Ce qui permet à l'utilisateur de se repérer dans l'architecture, facilite la navigation et la recherche d'information.

D'autres directives concernant la Navigabilité incluent les suivantes:

- présenter l'architecture de l'information en niveaux multiples (i.e., groupe de liens avec titres) (Sawyer 2000) ;
- minimiser la désorientation de l'utilisateur en fournissant un plan de site ou de l'aide en ligne, et une vitesse de téléchargement raisonnable (Mich 2003) ;

Auteurs	Les critères du design de la navigabilité pour une page Web														
	Liens					Éléments			Rétroaction			Autres			
	Tx	Tt	Nb	Cl	Lpa	BM	Mr	Bra	Ic	Ipc	URL	Ps	Rl	T	Vt
W3C	*	*				*	*				*	*			
Ivory	*		*	*		*									
Olsina	*	*	*	*		*	*	*	*	*		*	*		
Brajnik	*				*	*				*				*	*
Nielsen	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*			*
Dalton	*		*			*	*					*		*	
Koyani		*				*		*		*		*		*	
WebDev					*	*			*			*			
Opquast	*				*	*		*		*		*			
Mich						*						*			*

Tx : texte de liens; Tt : titre de liens; Nb : nombre de liens par page; Cl : couleur de liens; Lpa : lien vers la page d'accueil; BM : Barres, Menus (éléments navigation); Mr : mécanisme de recherche; Bra : bouton de retour actif; Ic : indicateur de chemin; Ipc : indicateur de la position courante ; URL : URL relatifs; Ps : plan de site; Rl : Roulement; T : taille de la page; Vt : vitesse de téléchargement de la page. (WebDev : Web Developers)

Tableau 14. Les critères de la Navigabilité pour une page Web.

Tous les critères, directives ou bonnes pratiques communs signalés par les auteurs, parmi ceux cités précédemment, ont été retenus comme critères de la conception de la navigabilité au niveau d'une page et sont rassemblés dans le Tableau 14.

Un premier regroupement hiérarchique de critères communs de la Navigabilité rassemblés à partir des différentes études peut être celui du Tableau 15.

<b>Qualité de la conception de la navigabilité</b>	
<b>1 Liens</b>	<b>3 Rétroaction</b>
1.1 Texte de liens	3.1 Indicateur de chemin
1.2 Titre de liens	3.2 Indicateur de la position courante
1.3 Nombre de liens	3.3 URLs relatifs
1.4 Couleur des liens	<b>4 Autres</b>
1.5 Lien vers la page d'accueil	4.1 Plan de site
<b>2 Éléments</b>	4.2 Profondeur de la page
2.1 Barres et Menus de navigation	4.4 Taille de la page
2.2 Mécanisme de recherche	4.5 Vitesse de téléchargement
2.3 Bouton retour toujours actif	

Tableau 15. Le regroupement des critères de la Navigabilité.

Cependant, la présence de barres de roulement est considérée comme un sous-critère de la navigabilité dans un seul travail (Olsina 2001). Dans les autres travaux, il n'est pas considéré comme affectant la qualité de la Navigabilité d'une page. À notre avis aussi, les barres de roulement ne sont pas des éléments de conceptions qui facilitent ou qui limitent la navigabilité. C'est pour cette raison que ce sous-critère ne figure pas dans le Tableau 15.

### 5.2.2 Étape de raffinement

Un premier essai de raffinement du regroupement obtenu est réalisé par l'application du paradigme GQM. L'application de GQM permet de réorganiser, d'enrichir ce modèle et d'attribuer des métriques aux critères retenus (§ 3.1.2.1)

En effet, pour produire le plan GQM, il faut partir de la définition de la navigabilité (§ 5.1.2). L'objectif principal de l'application de ce paradigme est l'évaluation la qualité de la Navigabilité d'une page Web. Plusieurs questions sont dérivées de la définition proposée de la Navigabilité. Ensuite, les hypothèses de bases, les facteurs de variations, et l'impact des facteurs de variations sur les hypothèses de base sont déterminés. Le Tableau 16 montre le plan GQM produit pour la Navigabilité pour une page Web.

<b>Conception de la navigabilité au niveau d'une page Web</b>				
Le design de la navigabilité pour une page Web se rapporte à la présence dans cette page d'éléments spécifiques qui permettent à l'utilisateur de se repérer et localiser l'information recherchée, de se déplacer vers les autres pages de l'application pour accéder à cette information via l'utilisation des hyper liens.				
<b>Objectif :</b> Analyser la conception de la navigabilité d'une page Web pour l'évaluer du point de vue des Utilisateurs et des Développeurs dans un but d'assurance qualité				
<b>Objet</b> Page Web	<b>But</b> Évaluation de la navigabilité	<b>Focus</b> Qualité	<b>Point de vue</b> Utilisateur, Développeur	<b>Environnement</b> Assurance qualité
<b>Qualité considérée</b> Le repérage de la position courante La localisation de l'information L'accès à l'information La rapidité de téléchargement de la page			<b>Facteurs de variations</b> - La qualité de la conception de l'interface utilisateur. - Le domaine de l'application.	
<b>Hypothèses de base</b> - Il faut pouvoir se repérer facilement - Il faut pouvoir localiser facilement l'information - Il faut pouvoir accéder facilement à l'information - Il faut que le temps de réponse ou la vitesse de téléchargement de la page soit assez rapide pour permettre un accès plus rapide à l'information.			<b>Impact sur les hypothèses de base</b> - Une bonne conception de l'interface utilisateur respectant les principes ergonomiques améliore la navigabilité - Selon le domaine de l'application les différentes hypothèses de base sont plus ou moins affectées.	
<b>Critères</b>			<b>Métriques</b>	
Conception de la navigabilité au niveau d'une page Web			Subjectif	
Se repérer et localiser l'information			Subjectif	
Présence des éléments de la navigation			O/N	
Présence d'un plan de site			O/N	
Présence d'un mécanisme de recherche			O/N	
Présence d'un indicateur de la position courante			O/N	
Présence d'un indicateur de chemin			O/N	
Changement de couleur du lien visité			O/N	
URLs relatifs			O/N	
Texte de liens significatif			mesure %	
Présence d'un titre de lien			O/N	
Accéder ou se lier à l'information			Subjectif	
Liens hypertextes			Subjectif	
Nombre de liens par page			mesure directe	
Présence d'indicateur de chemin			O/N	
Présence des éléments de la navigation			O/N	
Présence d'un plan de site			O/N	
Bouton Retour Actif			O/N	
Lien vers la page d'accueil			O/N	
Vitesse de téléchargement de la page			mesure directe	
Taille de la page			mesure directe	

Tableau 16. Le plan GQM, pour la conception de la navigabilité dans une page Web.

<b>Présence des éléments de la navigation : variable binaire</b>		
<b>Nom</b> : PresElementsNav	<b>Mesure</b> : Oui / Non	(1 ou 0)
<b>Note</b> : Dans la page il existe oui ou non une barre ou un menu de navigation.		
<b>Présence d'un plan de site : variable binaire</b>		
<b>Nom</b> : PlanSite	<b>Mesure</b> : Oui / Non	(1 ou 0)
<b>Note</b> : Dans la page il existe oui ou non un lien vers un plan ou une carte de site.		
<b>Présence d'un mécanisme de recherche : variable binaire</b>		
<b>Nom</b> : MecRecherche	<b>Mesure</b> : Oui / Non	(1 ou 0)
<b>Note</b> : Dans la page il existe oui ou non un mécanisme de recherche.		
<b>Présence d'un indicateur de la position courante : variable binaire</b>		
<b>Nom</b> : IndPosCourante	<b>Mesure</b> : Oui / Non	(1 ou 0)
<b>Note</b> : Dans la page est-ce que oui ou non la position courante est indiquée (lien vers la page courante grisailé ou accentué ou inactif).		
<b>Présence d'un indicateur de chemin : variable binaire</b>		
<b>Nom</b> : IndChemin	<b>Mesure</b> : Oui / Non	(1 ou 0)
<b>Note</b> : Dans la page il existe oui ou non un indicateur de chemin au niveau de la barre de navigation.		
<b>Changement de couleur du lien visité : variable binaire</b>		
<b>Nom</b> : ChgtCoulLienVisite	<b>Mesure</b> : Oui / Non	(1 ou 0)
<b>Note</b> : Dans la page les liens visités changent oui ou non de couleurs.		
<b>URLs relatifs : variable binaire</b>		
<b>Nom</b> : URL	<b>Mesure</b> : Oui / Non	(1 ou 0)
<b>Note</b> : L'URL de la page est relatif à cette page oui ou non		
<b>Texte de lien significatif : nombre décimal</b>		
<b>Nom</b> : TexteLien	<b>Mesure</b> : % (nombre décimal)	
<b>Note</b> : (Liens représentatifs / Liens totaux) * 100 avec Liens représentatifs = liens sous forme de texte significatif - Liens sous forme de 'click here', 'more', 'previous', etc.		
<b>Présence d'un titre de lien : nombre décimal</b>		
<b>Nom</b> : TitreLien	<b>Mesure</b> : % (nombre décimal)	
<b>Note</b> : (Liens ayant des titres / Liens totaux) * 100		
<b>Nombre de liens par page : nombre entier</b>		
<b>Nom</b> : NbLiensPage	<b>Mesure</b> : Nombre entier	
<b>Note</b> : Le nombre de liens est une mesure directe du nombre total des liens de la page.		
<b>Bouton Retour Actif : variable binaire</b>		
<b>Nom</b> : BoutonRetActif	<b>Mesure</b> : Oui / Non	(1 ou 0)
<b>Note</b> : Dans la page les boutons précédent et suivant restent actifs oui ou non.		
<b>Lien vers la page d'accueil : variable binaire</b>		
<b>Nom</b> : LienPageAccueil	<b>Mesure</b> : Oui / Non	(1 ou 0)
<b>Note</b> : Dans la page il y a oui ou non un lien vers 'home'.		
<b>Vitesse de téléchargement de la page : nombre décimal</b>		
<b>Nom</b> : VitesseTelech	<b>Mesure</b> : Nombre décimal	
<b>Note</b> : La vitesse de téléchargement est une mesure directe au niveau de la page.		
<b>Taille de la page : nombre décimal</b>		
<b>Nom</b> : TaillePage	<b>Mesure</b> : Nombre décimal	
<b>Note</b> : C'est une mesure directe de la taille de la page en octets.		

Tableau 17. La liste des sous-critères retenus pour la Navigabilité.

Par rapport au Tableau 15, dans le Tableau 16 les sous-critères de la conception de la navigabilité sont classés différemment. La nouvelle classification découle directement de la définition proposée du super critère et des réponses aux questions posées. C'est une des façons possibles d'attribuer les sous-critères aux critères et plusieurs autres façons de regroupement sont aussi valables.

Par ailleurs, en parcourant les critères retenus (Tableau 16), nous remarquons qu'il est possible de leur attribuer des métriques. Plusieurs critères sont binaires et peuvent être évalués selon leur présence ou non dans la page. D'autres critères peuvent être mesurés automatiquement. Il reste que les super critères sont à évaluer subjectivement puisque leurs différents sous-critères ne les influencent pas de la même façon et nous avons déjà évoqué la nécessité de pondérer ces sous-critères (§ 3.1.1.3). Cette subjectivité peut affecter la précision des mesures et par la suite celle de l'évaluation de la qualité de la Navigabilité.

Le Tableau 17 résume pour chacun des critères retenus: son type en tant que variable, l'abréviation qui sera utilisée pour le représenter, une note explicative du critère et la façon de le mesurer.

### **5.2.3 Étape de la construction du graphe**

La construction de la structure du sous-réseau de la Navigabilité est la troisième étape de la phase d'acquisition des connaissances de notre méthodologie d'évaluation. Comme pour la qualité des liens, nous allons construire le RB de la Navigabilité avec les critères retenus, rassemblés hiérarchiquement et raffinés par GQM.

#### **5.2.3.1 Les recommandations dans la littérature des critères de la Navigabilité**

Les directives et les recommandations, trouvées dans la littérature, concernant ces critères retenus, ainsi que leur importance, leurs propriétés et leurs caractéristiques, sont résumées ci-dessous. Ces informations vont nous aider, d'abord, pour la construction des sous-réseaux afin de mieux comprendre les relations entre les critères. Ensuite, lors de la

définition des paramètres, ces informations sont utiles pour l'attribution des probabilités aux nœuds des sous-réseaux. Ainsi les critères et sous-critères de la Navigabilité au niveau d'une page Web sont expliqués comme suit.

**1- La facilité à localiser l'information :** C'est la facilité avec laquelle l'utilisateur peut repérer l'information qu'il cherche ou un indicateur sur l'emplacement de cette information dans une page Web. La localisation de l'information peut être facilitée par la présence dans la page des éléments de conception suivants :

**1.1- Les éléments de la navigation :** Les éléments de la navigation sont des regroupements de liens. Il faudra clairement différencier les éléments de la navigation mais les regrouper d'une façon cohérente sur chaque page. Ce regroupement peut réduire le temps nécessaire à l'utilisateur pour localiser et identifier ces éléments (Koyani 2003). La présence des barres et des menus est un aspect très important d'une application Web. Ils sont considérés comme les éléments primaires d'aide à la navigation selon l'Alertbox<sup>10</sup> de Nielsen. Une barre ou un menu de navigation est une collection de liens vers les parties les plus importantes d'un document, d'un site ou d'une application Web (W3C 1999). Une barre ou un menu de navigation est de préférence horizontal quand le nombre de liens vers les parties majeures de l'application est inférieur à 10 et vertical quand ce nombre de liens dépasse 15 (WDVL 2004). En général, un tel regroupement de liens est placé en haut de la page, sous le logo de l'application ou à gauche de l'écran dans des endroits qui suggèrent la cliquabilité (Koyani 2003).

**1.2- Le plan de site :** La présence d'un plan ou d'une carte de site facilite la compréhension de l'architecture du site et par la suite la localisation et l'accès direct à l'information recherchée. Les cartes de site permettent de trouver et d'amener les utilisateurs à leurs destinations présentes dans les cartes. La présence d'un plan ou d'une carte de site affecte ainsi en même temps la localisation et l'accès à

---

<sup>10</sup> À l'adresse [http://www.useit.com/alertbox/20050117\\_guidelines.html](http://www.useit.com/alertbox/20050117_guidelines.html)

l'information. Pour Nielsen (Alertbox<sup>11</sup>), c'est un élément d'aide secondaire à la navigation. Il précise que les utilisateurs retournent vers ces éléments quand les éléments d'aide primaires comme les barres de navigation et le mécanisme de recherche ne répondent pas à leur besoin.

**1.3- Le mécanisme de recherche :** La présence d'un mécanisme de recherche, permettant la recherche par mots clés, par exemple, permettra de localiser plus rapidement l'information. C'est la ligne de sauvetage de l'utilisateur pour maîtriser les applications Web complexes et c'est un élément d'aide primaire pour la navigation (Alertbox<sup>12</sup>).

**1.4- L'indicateur de la position courante :** Fournit une rétroaction au sujet de l'emplacement courant (Nielsen 2000). L'utilisateur est informé sur chaque page de la position de cette dernière dans la structure de l'application. Ceci est assuré par un changement de la couleur du lien vers la page courante (en le grisillant ou en l'accentuant). Il permet à l'utilisateur de se repérer dans l'architecture, facilite la navigation et la recherche d'information (Koyani 2003). Il est préférable que le lien vers la page courante reste inactif.

**1.5- L'indicateur de chemin :** aide les utilisateurs à reconnaître le contexte et aide ceux qui font des recherches en offrant l'accès direct à des niveaux plus élevés de l'architecture de l'information (Nielsen 2000). Beaucoup de pages Web offrent un indicateur de chemin en haut de la page pour situer la page courante relativement à ses nœuds parents et pour permettre aux utilisateurs de franchir plusieurs niveaux par un simple clic. L'indicateur de chemin fonctionne surtout pour les applications ayant une architecture hiérarchique de l'information, et il facilite la navigation dans de telles applications. Il n'y a aucune norme pour la façon d'indiquer la progression entre les niveaux hiérarchiques pour un indicateur de chemin. En général le signe > est utilisé pour indiquer le chemin à travers la hiérarchie (Nielsen 2000). Récemment,

---

<sup>11</sup> À l'adresse <http://www.useit.com/alertbox/20020106.html>

<sup>12</sup> À l'adresse <http://www.useit.com/alertbox/20010513.html>



dans l'Alertbox<sup>13</sup>, Nielsen évoque que cet élément secondaire d'aide à la navigation est de plus en plus bénéfique et populaire pour l'utilisateur. Il ajoute que cet élément permet de passer à un autre niveau hiérarchique de l'application par un seul click, prend très peu d'espace dans la page et ne cause jamais de problèmes lors des tests par l'utilisateur.

**1.6- Le changement de couleur du lien visité :** Le changement de couleur d'un lien est un bon indicateur précisant que le lien a été visité. Il aide les utilisateurs à comprendre quelles parties de l'application ont été visitées. Ce type de rétroaction est la seule variable avérée pour améliorer la vitesse de l'utilisateur à trouver l'information. Si un utilisateur choisit un lien, et s'il y a d'autres liens vers la même cible, il faut s'assurer que tous les liens vers cette destination changent de couleurs (Koyani 2003).

**1.7- L'URL relatif :** L'attribution d'un URL relatif à chaque page aide l'utilisateur dans la reconnaissance de la page et de sa place dans l'application (Nielsen 2000).

**1.8- Texte de liens :** Les mots utilisés comme texte des liens affectent l'information et la navigation (Nielsen 2000). Pour identifier clairement la cible de chaque lien, le texte de lien doit être assez significatif pour être compris s'il est lu hors contexte; seul en tant qu'élément ou faisant partie d'une séquence de liens. Les utilisateurs préfèrent les textes de liens qui sont assez descriptifs pour permettre des choix sans erreur (Koyani 2003). Le texte de lien doit être également concis. Utiliser des termes comme "cliquez ici" peut être contre productif et amener à un texte de lien non significatif. Quand le texte d'un lien et sa destination cible sont étroitement assortis, ceux-ci aide à fournir la rétroaction nécessaire aux utilisateurs pour atteindre la page prévue. En plus, les textes des liens doivent être assez longs pour être compris, mais assez court pour ne pas dépasser plus d'une ligne (Koyani 2003).

**1.9- Le titre de liens :** C'est l'apparition d'une boîte (pop-up) quand la souris touche le lien. Cette boîte contient une courte explication sur la destination du lien. De telles

---

<sup>13</sup> À l'adresse <http://www.useit.com/alertbox/breadcrumbs.html>

explications peuvent donner aux utilisateurs une prévision sur où le lien mènera et améliorera la navigation (Nielsen 2000).

**2- Facilité d'accéder ou de se lier à l'information :** C'est la facilité avec laquelle l'utilisateur parvient à atteindre l'information déjà repérée ou ayant eu l'information sur son emplacement possible dans l'application Web. Au niveau d'une page, les éléments de conception qui peuvent faciliter l'accès à cette information sont possiblement :

**2.1- Les liens hypertextes :** permettent le déplacement dans une page et d'une page à l'autre de l'application. Pour faciliter ce déplacement, plusieurs sous-critères (ou autres éléments de conception) peuvent être en cause :

**2.1.1- Le nombre de liens par page :** Ce sous-critère indique le nombre d'interconnexion de la page avec les nœuds destinations. Un haut niveau d'interconnexion peut affecter négativement la navigabilité car il permet, potentiellement, de choisir diverses destinations en même temps et peut causer la désorientation de l'utilisateur (Olsina 2001). Dans le cas contraire, un petit nombre de liens dans une page est un indicateur d'une pauvre conception (Botafogo 1992). Le nombre de liens par page peut être mesuré automatiquement. Cette mesure comprend tous les liens dans une page qu'ils soient des liens internes ou externes.

**2.1.2- La présence d'un indicateur de chemin (voir plus haut)**

**2.1.3- La présence des éléments de la navigation (voir plus haut) :** Les éléments de la navigation, permettant l'accès rapide et facile aux informations recherchées, affectent aussi la facilité d'accéder ou de se lier à l'information.

**2.2- La présence d'un plan de site (voir plus haut) :** permet aussi l'accès rapide et facile à l'information localisée dans le plan, affectant ainsi la 'facilité d'accéder ou de se lier à l'information.

**2.3- Le bouton de retour arrière (*Back Button*):** Beaucoup de pages Web contiennent des liens qui ouvrent de nouvelles fenêtres de navigateur. Quand ces fenêtres s'ouvrent, le bouton de retour arrière est désactivé. Si la nouvelle fenêtre s'ouvre en pleine page, les utilisateurs peuvent ne pas se rendre compte qu'ils ont été

réorientés vers une autre fenêtre, et peuvent devenir frustrés parce qu'ils ne peuvent pas presser de nouveau le bouton retour vers la page précédente. En outre, la neutralisation du bouton arrière peut avoir comme conséquence la confusion des utilisateurs, et empêcher rigoureusement leur navigation (Koyani 2003).

**2.3- Présence d'un lien vers la page d'accueil :** La page d'accueil doit communiquer à l'utilisateur l'objectif de l'application Web et montrer les options majeures disponibles dans l'application. Les concepteurs doivent assurer un accès facile, rapide et évident à la page d'accueil à partir de toutes les autres pages de l'application. En effet, plusieurs utilisateurs retournent à la page d'accueil pour commencer une nouvelle tâche (Koyani 2003). Dans certaines applications Web le logo de l'organisation situé en haut de chaque page est un lien vers la page d'accueil. Chaque page doit être liée à la page d'accueil (typiquement en transformant le logo en un lien) (Nielsen 2000). Une remarque s'impose, bien que le lien vers la page d'accueil soit un lien hypertexte, cet élément est plutôt considéré comme une option de navigation (W3C 1999) et il sera aperçu comme tel par la suite.

**3- Rapidité de téléchargement des pages / Taille de la page :** Concernant la vitesse de téléchargement de la page, il faut réduire au minimum le temps requis pour télécharger les pages des applications Web. Les utilisateurs sont plus productifs quand le temps de téléchargement est inférieur à une seconde (Nielsen 2000). La meilleure façon de faciliter le téléchargement rapide de la page est de réduire au minimum le nombre de bytes de la page ou la taille de la page (Koyani 2003).

#### **5.2.3.2 Le sous-réseau de base de la Navigabilité**

Par définition, la Navigabilité dans une page Web (§ 5.1.2) se rapporte à la présence dans cette page d'éléments spécifiques qui permettent à l'utilisateur de se repérer et localiser l'information recherchée, de se déplacer vers les autres pages de l'application pour accéder à cette information via l'utilisation des hyper liens.

Considérons le nœud *Navigabilite* comme étant la variable qui indique la qualité de la conception de la navigabilité dans le RB. Soit *Localiser* le nœud qui représente les éléments de conception qui facilitent la localisation de l'information, et *SeLier* le nœud qui représente les éléments de conception permettant le déplacement vers cette information.

Dans le regroupement du Tableau 17, il reste deux autres critères de la conception de la navigabilité : la vitesse de téléchargement de la page et la taille de la page. Or, la taille de la page influence directement et négativement la vitesse de téléchargement, plus la taille de la page en octets est grande, plus la vitesse de téléchargement de la page est lente. Cependant, l'influence de la vitesse de téléchargement sur la Navigabilité exprime en même temps l'influence de la taille de la page. L'inverse n'est pas vrai, car la vitesse de téléchargement n'affecte pas la taille de la page. Ainsi, c'est la variable vitesse de téléchargement qui est retenue et sera représentée par un nœud dans le RB de la *Navigabilite*.

D'autre part, dans la définition proposée de la Navigabilité, l'accès rapide à l'information dans la page destination dépend de la vitesse de téléchargement de la page destination et non de celle de la page considérée. Cependant, puisque nous raisonnons au niveau d'une page, le nœud *VitesseTelech* concerne la vitesse de téléchargement de la page considérée. Toutefois, la qualité de la conception de la navigabilité de la page considérée est aussi concernée par la rapidité de téléchargement de cette page. En effet, lors de la navigation, il arrive que l'utilisateur retourne à cette page et donc la *VitesseTelech* de cette page affecte la qualité du design de la page.

Par conséquent, la variable *Navigabilite* est définie par les variables *Localiser*, *SeLier* et *VitesseTelech* (Figure 17). D'après l'idiome Définition/Synthèse cas où il existe une relation de définition entre les variables (Neil 2000), le nœud *Navigabilite* est défini en termes des nœuds *Localiser*, *SeLier* et *VitesseTelech*. Le sens des flèches dans cet idiome indique la direction dans laquelle un sous-critère définit un critère, en combinaison avec les autres sous-critères (ou les critères définissent un super-critère).

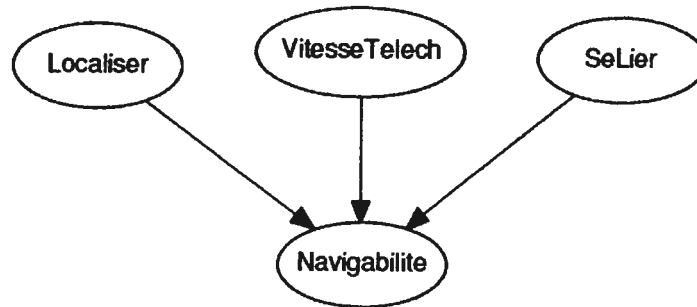


Figure 17. Sous-réseau de base de la Navigabilité.

Le nœud *Navigabilite*, représentant la relation définitionnelle, ne peut pas être spécifié comme fonction déterministe. En effet, la définition proposée est une des possibilités de définir la Navigabilité et il y a inévitablement de l'incertitude dans la relation entre les concepts. Ainsi, nous devons employer une fonction probabiliste pour énoncer le degré auquel une certaine combinaison des nœuds parents se combine pour définir ce nœud enfant.

### 5.2.3.3 Le sous-réseau de la facilité à localiser l'information

La facilité de localiser l'information est une variable qui peut être représentée par le nœud *Localiser*. La présence des éléments de la navigation, d'un mécanisme de recherche ou d'un plan de site vont aider à localiser l'information recherchée. De plus, assurer une bonne identification de 'où je suis', par l'indication de la position courante, la présence d'un indicateur de chemin, l'URL relatif ou le changement de couleur du lien visité, soutient l'utilisateur dans sa recherche de l'information. Par ailleurs, un texte de lien significatif ou un titre de lien indiquant plus précisément la destination va aider l'utilisateur à trouver ce qu'il cherche avec moins d'erreur (Figure 18).

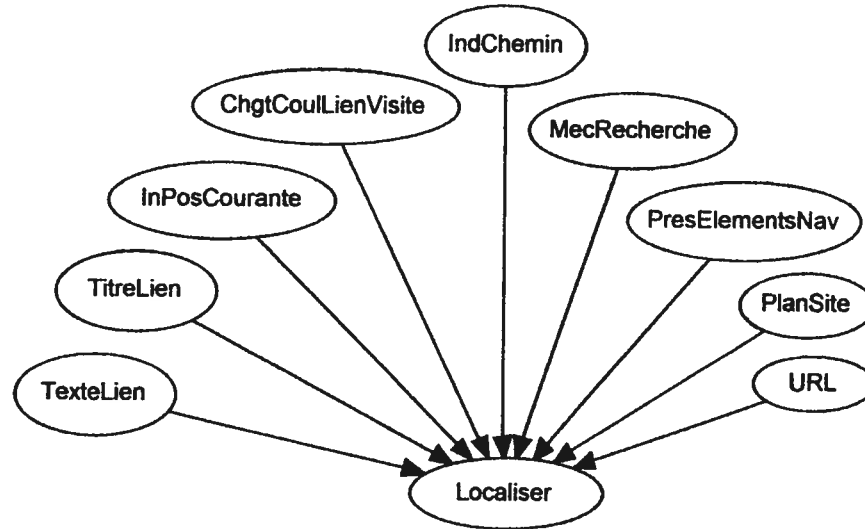


Figure 18. Sous-réseau préliminaire de la facilité à localiser l'information.

Ainsi, la présence de chacun des éléments, cités plus haut, va faciliter la localisation de l'information recherchée. Subséquemment, c'est une relation causale qui existe entre les parents et l'enfant dans le sous-réseau de la facilité à localiser l'information.

Cependant, avec 9 parents, une réorganisation de ce sous-réseau s'impose pour éviter l'explosion combinatoire lors de la préparation des tables de probabilité des nœuds. Pour cela, il est possible d'appliquer de nouveau, à ce sous-réseau, l'idiome Définition/Synthèse, cas de combinaison des différents nœuds ensemble pour diminuer l'effet de l'explosion combinatoire (Neil 2000). L'introduction d'un nouveau nœud synthétique regroupant quelques nœuds parents, diminuant ainsi le nombre de nœuds parents, permet de soulager l'acquisition des probabilités.

En effet, d'après W3C, quelques mécanismes typiques de la navigation incluent: les barres de navigation, les cartes de site, et les dispositifs de recherche. En conséquence, *MecRecherche*, *PlanSite* et *ElementsNav* sont par définition des *MecanismeNav*. Ce qui permet de regrouper ces trois nœuds en un nœud synthétique qui est *MecanismesNav* et obtenir le sous-réseau de la Figure 19. La condition précisant que les nœuds parents peuvent seulement être divorcés les uns des autres, quand leurs effets sur le nœud enfant

peuvent être considérés séparément des autres nœuds parents non-divorcés, est respectée. En effet, la présence de chacun de ces mécanismes est indépendante les uns des autres.

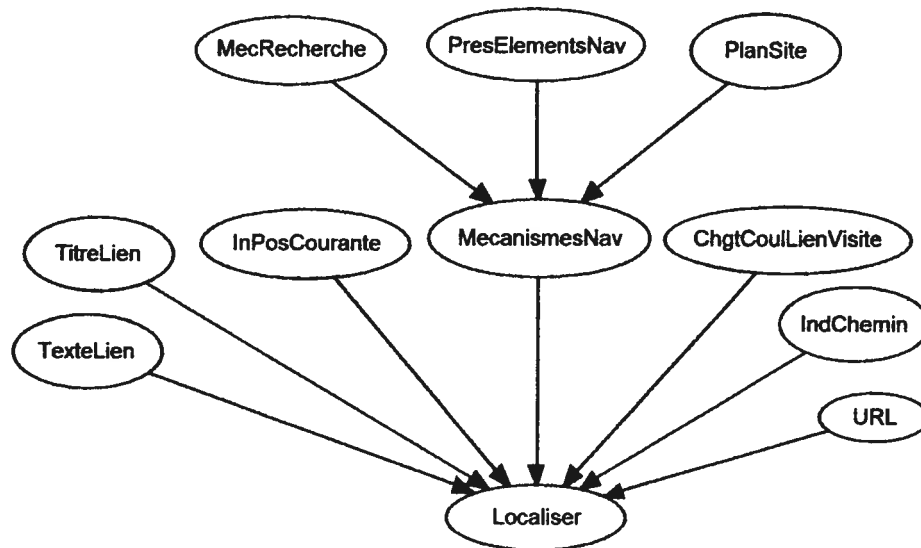


Figure 19. Sous-réseau de la facilité à localiser l'information avec un nœud synthétique.

Pour les nœuds restants, ce sont des sous-critères qui permettent, selon plusieurs auteurs (Nielsen 2000; Koyani 2003), d'assurer une rétroaction importante pour les utilisateurs. En effet, la rétroaction fournit aux utilisateurs l'information nécessaire pour comprendre où ils sont dans l'application Web, et comment procéder à la prochaine activité (Koyani 2003). Une rétroaction continue offre aux utilisateurs la possibilité d'ajuster leurs actions avant qu'ils commettent un faux parcours selon Nielsen<sup>14</sup>.

Quelques exemples de rétroaction incluent : la présence d'un indicateur de chemin représentant la hiérarchie de l'information ou le fait d'accorder le texte de lien au titre de la page de destination (Koyani 2003). D'autres formes de rétroaction incluent : le changement de la couleur d'un lien qui a été visité (suggérant que la destination a été visitée), ou l'emploi d'autres éléments visuels pour indiquer la partie active de l'écran (Koyani 2003).

<sup>14</sup> Dans Web Usability à l'adresse <http://www.useit.com/papers/noncommand.html>

En effet, deux types de rétroaction peuvent être distingués :

- La rétroaction visuelle qui informe les utilisateurs au sujet du contexte de l'application, de leur position courante, des parties visitées ou non. Elle améliore le modèle mental de l'utilisateur à propos de l'application selon Nielsen<sup>15</sup>. Ce type de rétroaction peut être assuré par la présence d'un indicateur de la position courante, d'un indicateur de chemin ou par le changement de couleur du lien visité.
- La rétroaction textuelle qui est importante pour bien naviguer dans une application Web. Pour assurer cette rétroaction, il faudra que le texte des liens hypertextes (que ce soit dans la barre de navigation, dans le menu ou dans le texte) indique là où le lien amène (Koyani 2003). Un URL relatif décrivant la page ou un texte de lien significatif avec un titre de lien expliquant la destination est très apprécié (Nielsen 2000). L'apparition d'une explication sur la destination d'un lien quand la souris touche ce lien permet de faire des choix plus justes rendant ainsi plus facile le déplacement dans l'application. D'après l'Alertbox<sup>16</sup>, la rétroaction est un principe nécessaire d'utilisabilité fournissant à l'utilisateur des informations sur ce qu'il fera avant qu'il le fasse.

En introduisant donc des nœuds synthétiques représentant la rétroaction, nous obtenons le sous-réseau de la Figure 20. Dans ce sous-réseau le nœud *ChgtCoulLienVisite* détermine la *RetVisuelle* sachant la présence de *IndPosCourante* et *IndChemin*. Un texte de lien significatif détermine la *RetTextuelle* sachant la présence d'un titre de lien et d'un URL relatif. La présence de chacun des sous-critères cités peut contribuer à augmenter la complétude de la rétroaction utilisateur qu'elle soit visuelle ou textuelle. C'est l'idiome Cause-Conséquence qui est employé donc dans ce cas.

---

<sup>15</sup> Dans Web Usability à l'adresse <http://www.useit.com/papers/noncommand.html>

<sup>16</sup> À l'adresse [http://www.useit.com/alertbox/20050117\\_guidelines.html](http://www.useit.com/alertbox/20050117_guidelines.html)



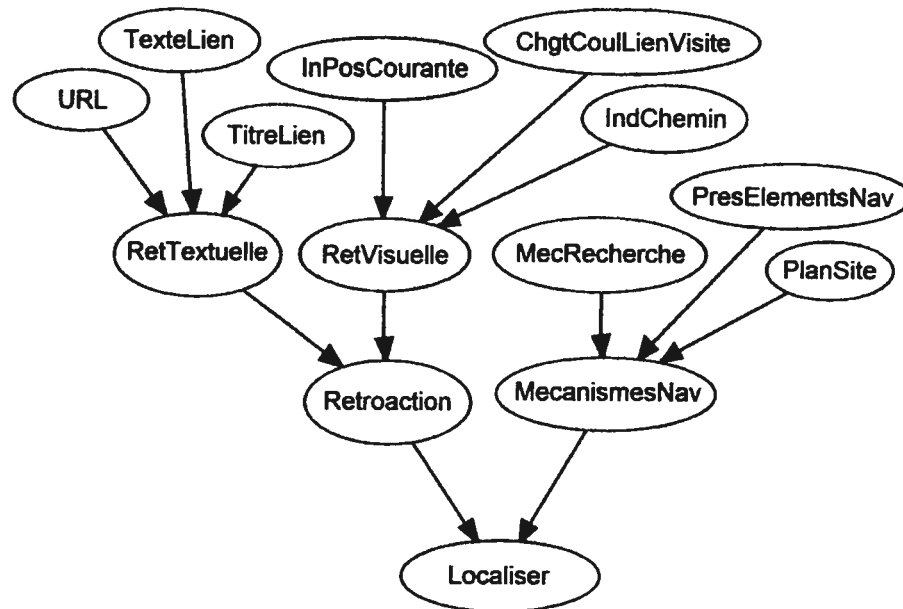


Figure 20. Sous-réseau final de la facilité à localiser l'information.

#### 5.3.2.4 Le sous-réseau de la facilité d'accéder ou de se lier à l'information

Dans le regroupement hiérarchique des critères de la Navigabilité (Tableau 16) la facilité de se lier à l'information dans l'application Web, est une variable qui peut être représentée par le nœud *SeLier*. Cette variable dépend principalement des liens hypertextes et de leurs regroupements qui vont influencer le déplacement à travers l'application. Au niveau d'une page Web, la présence des éléments de navigation, comme les menus et les barres, est nécessaire pour assurer un déplacement rapide et facile. Ainsi, le nœud *SeLier* peut être affecté par la variable *LiensHypertextes* qui représente les éléments de navigation et l'indicateur de chemin qui peuvent être présents dans la page Web et qui permettent d'améliorer la navigation dans l'application.

Par ailleurs, la présence, dans une page Web, d'un lien vers la page d'accueil assure un déplacement rapide vers cette page particulière. Aussi, le fait que les boutons de retour 'précédent' et 'suivant' du navigateur restent actifs, permet le déplacement vers les pages

précédemment visitées, sans avoir recours à se souvenir des liens utilisés pour y arriver. Ce qui peut influencer la variable *SeLier* à l'information recherchée.

De ce fait, les nœuds *LiensHypertextes*, *LienPageAccueil*, *BoutonRetourActif* et aussi *PlanSite* représentent quatre variables correspondant à quatre éléments de conception qu'on peut trouver dans une page Web. Ces quatre nœuds sont susceptibles d'affecter la possibilité de *SeLier* à l'information recherchée. Dans ce cas, c'est l'idiome Cause-Conséquence qui peut représenter cette situation. En effet, la présence ou non de ces variables en entrée peut avoir des conséquences importantes sur la facilité de *SeLier* (Nielsen 2000; Koyani 2003). Le sous-réseau de base du nœud *SeLier* est présenté par la Figure 21.

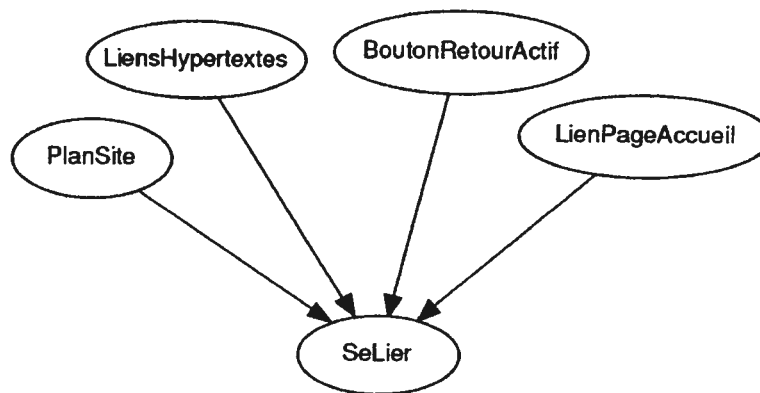


Figure 21. Sous-réseau préliminaire de la facilité de se lier à l'information.

Les tables de probabilités conditionnelles reliant la sortie aux entrées, vont décrire la relation d'incertitude entre les différentes causes et la conséquence, et la probabilité avec laquelle chacune des causes va affecter la conséquence. Or, l'explosion combinatoire est importante aussi dans le cas du sous-réseau de la Figure 21. Une application de l'idiome Définition/Synthèse cas de divorce permet d'ajouter des nœuds synthétiques et facilitera la préparation des tables de probabilités des nœuds comme précédemment.

Pour Koyani & al (Koyani 2003), la présence d'un lien vers la page d'accueil (*LienPageAccueil*) et d'un bouton retour toujours actif (*BoutonRetourActif*) sont des

options de la navigation. Ce qui suggère de regrouper ces deux nœuds en un nœud synthétique qui est *OptionsNav* et obtenir le sous-réseau de la Figure 22. La même condition qu'auparavant s'applique (§ 4.1.2.3). La réduction de quatre à trois nœuds parents réduit l'effort requis pour la définition des tables de probabilité du nœud *SeLier*.

D'autre part, les liens hypertextes peuvent être déterminés par leurs regroupements et leurs nombres. Un grand nombre de liens par page nécessite plus de temps pour identifier, choisir et ainsi accéder à la destination. Ceci peut donc affecter négativement la rapidité d'accès à l'information.

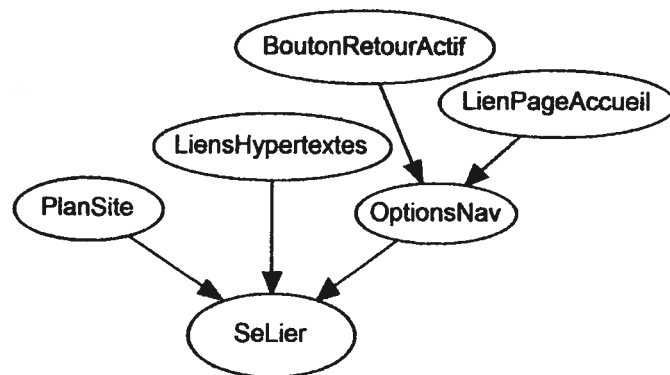


Figure 22. Sous-réseau de la facilité de se lier à l'information avec un nœud synthétique.

Les éléments de navigation (§ 5.2.3.1) sont des regroupements de liens qui, au contraire facilitent cet accès. De même, la présence dans la page Web d'un indicateur de chemin, un hyper lien qui facilite l'accès aux différents niveaux hiérarchiques de l'application, contribue à la complétude du sous-critère *LiensHypertextes*.

L'application de l'idiome Cause-Conséquence permet donc d'obtenir le sous-réseau de la Figure 23 représentant le nœud *SeLier*.

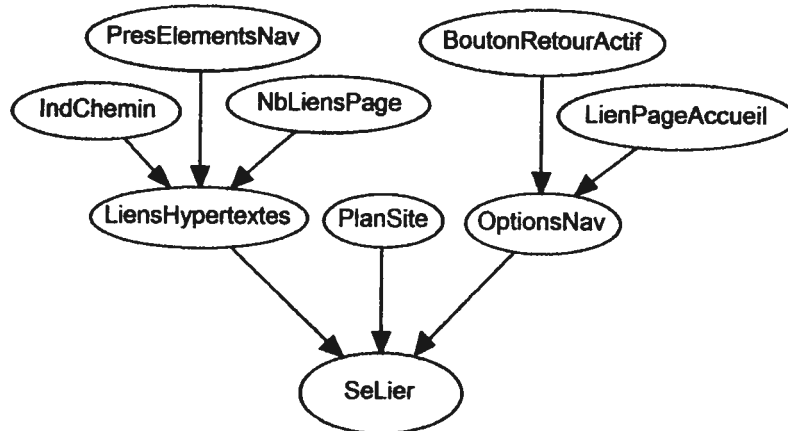


Figure 23. Sous-réseau final de la facilité de se lier à l'information.

### 5.3.2.5 Le sous-réseau de la Navigabilité

Subséquentement, en rassemblant les différents sous-réseaux, nous obtenons le réseau Bayésien de la Navigabilité (Figure 24).

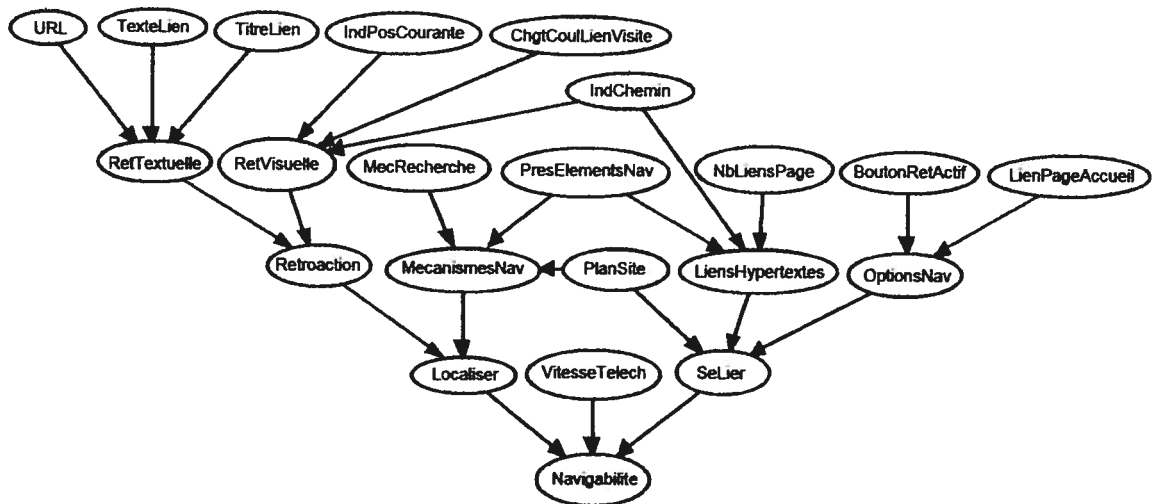


Figure 24. Réseau Bayésien de la Navigabilité pour une page Web.

Dans ce réseau, tous les critères susceptibles d'affecter la Navigabilité d'une page Web sont représentés. Les interactions entre quelques sous-critères peuvent être indiquées clairement. L'affectation, par la suite, des tables de probabilités des nœuds à chacun des

sous-critères permettra de tenir compte de l'incertitude dans la façon de regrouper ces sous-critères dans le sous-réseau. La mise en œuvre de ce RB permettra à cette représentation visuelle intuitive de fournir des prévisions précises malgré la subjectivité et l'imprécision des mesures.

### 5.2.4 Étape de la définition des paramètres

Maintenant que le réseau de la Navigabilité est construit, il faudra affecter des tables de probabilités aux nœuds du réseau, puis mettre le RB en œuvre pour propager les effets des valeurs des sous-critères et évaluer le critère considéré. Le même raisonnement suivi pour le sous-réseau de la qualité des liens (§ 4.2) sera appliqué au sous-réseau de la Navigabilité.

#### 5.2.4.1 Cas des nœuds intermédiaires

Pour les nœuds intermédiaires du réseau, la probabilité avec laquelle un critère affecte un super critère en présence d'autres critères sera déterminée à partir des études déjà mentionnées et des avis des experts. Pour ces nœuds, les probabilités 'a priori' sont décidées selon l'importance des nœuds parents pour le nœud fils (voir § 4.2.1).

Pour les mécanismes de navigation (*MecanismesNav*), par exemple, le nœud parent *PresElementsNav*, a un effet plus important sur la qualité de son nœud fils *MecanismesNav* que *MecRecherche* et *PlanSite*. En effet, les éléments de navigation comme les barres et les menus sont considérés par tous les auteurs comme les éléments principaux qui assurent la navigation dans l'application. La présence d'un mécanisme de recherche puis d'un plan de site suit en importance. Ainsi, dans le cas où la probabilité de l'état « Oui » pour *PresElementsNav* est grande, la probabilité d'avoir une bonne Navigabilité est grande même si la probabilité d'avoir l'état « Oui » pour *PlanSite* est très faible. Ceci est dû à la moindre importance accordée à ce critère, dans l'influence de son super critère, lors du remplissage des TPNs (Tableau 18).

PresElementsNav	Oui				Non			
	Oui		Non		Oui		Non	
PlanSite	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
MecRecherche	0.99	0.70	0.85	0.55	0.45	0.15	0.30	0.01
Bon	0.01	0.30	0.15	0.45	0.55	0.85	0.70	0.99
Mauvais								

Tableau 18. La TPN du nœud *MecanismesNav*.

Les probabilités ‘a priori’ des autres nœuds intermédiaires du RB de la Navigabilité sont présentées à l’Annexe E.

#### 5.2.4.2 Cas des nœuds d’entrée

En examinant les nœuds d’entrée, du sous-réseau de la Navigabilité, nous constatons que la majorité sont binaires et leur mesure repose sur la présence ou non du critère considéré. Deux ont des valeurs intermédiaires mesurables (texte des liens, titre des liens) et deux ont une infinité de valeurs mesurables (nombre de liens par page et vitesse de téléchargement de la page).

Pour les critères d’entrée binaire, s’appuyant sur les différentes études sur la Navigabilité (Nielsen 2000; Koyani 2003; Opquast 2004), la présence de ces sous-critères d’entrée est recommandée, bénéfique et contribue à améliorer la qualité de la Navigabilité. Donc, une bonne qualité de la Navigabilité, pour une page Web, suppose que ces critères d’entrée soient présents avec une grande probabilité. Ainsi, nous attribuons une probabilité de 99 % à l’état présent quand le critère est présent dans la page et 1% dans le cas contraire. Dans le cas du texte des liens qui doit être significatif, le nombre total de liens textes est mesuré. Le nombre de liens, dont le texte n’explique pas la destination comme : ‘click’, ‘click here’, ‘more’, ‘previous’, ..., est mesuré.

Significatif	0.8
NonSignificatif	0.2

Tableau 19. La TPN ‘a priori’ du nœud *TexteLiens*.

Si, par exemple nous obtenons 80% des textes de liens significatifs, le TPN du nœud *TexteLiens* peut être celui du Tableau 19.

Dans le cas des nœuds ayant une infinité de valeurs mesurables comme *NbLiensPage* et *VitesseTelech*, des mesures de ces sous-critères sont faites sur un grand nombre de pages Web (un millier de pages). Puis un partitionnement flou est appliqué à ces résultats. L'exemple du nombre de liens par page est déjà étudié (§ 4.2.2.3). Dans ce qui suit nous détaillons l'exemple du critère vitesse de téléchargement de la page.

En effet, pour le nœud *VitesseTelech*, les valeurs mesurées obtenues permettent de déterminer l'histogramme de fréquence de la Figure 25.

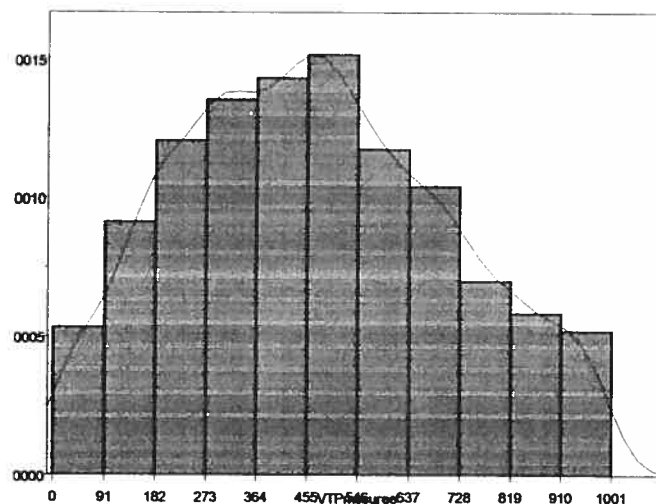


Figure 25. Histogramme de fréquence pour la vitesse de téléchargement de la page.

Cet histogramme ne montre qu'un seul regroupement des données. Le partitionnement flou de ces valeurs aboutit aux deux sous-ensembles flous correspondant à ce sous-critère (Figure 26)

Un essai avec trois grappes montre un coefficient de Dunn plus faible qu'avec deux grappes. Ainsi c'est le partitionnement flou avec deux grappes qui est retenu.

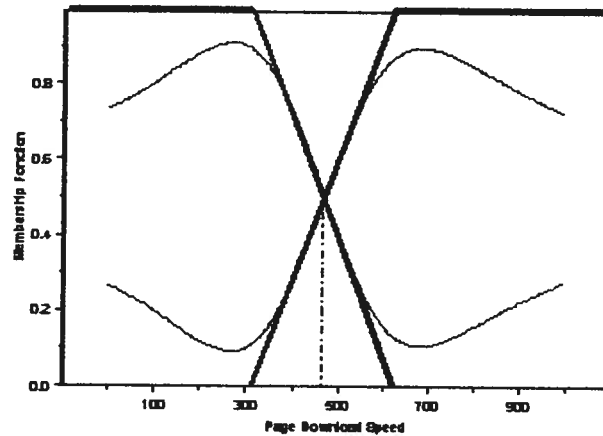


Figure 26. Partitionnement flou du sous-critère *VitesseTelech*.

### 5.2.5 Mise en œuvre du sous-réseau de la navigabilité

Le réseau de la navigabilité est implanté en utilisant l'éditeur du logiciel Hugin (Jensen 2001). Après avoir affecté les valeurs de probabilité 'a priori' et rempli les tables des nœuds, nous procédons à l'inférence Bayésienne. Un essai de mise en œuvre du sous-réseau de la Navigabilité avec des valeurs optimales pour tous les critères d'entrée donne les résultats montrés dans la Figure 27.

Dans ce réseau, le scénario suppose que tous les critères qui affectent la qualité de la Navigabilité au niveau d'une page Web sont présents ou ont des valeurs optimales. Dans ce cas nous obtenons une probabilité pour l'état 'Good' de la Navigabilité de 96,24%. Cette valeur de probabilité peut être considérée comme une estimation de la qualité de la Navigabilité. Évidemment, le fait d'attribuer des probabilités de 1% (un choix que nous avons fait pour la distribution des probabilités) aux autres états non satisfaisants des critères d'entrée fait que la probabilité pour l'état 'Good' de la Navigabilité n'est pas 100%.



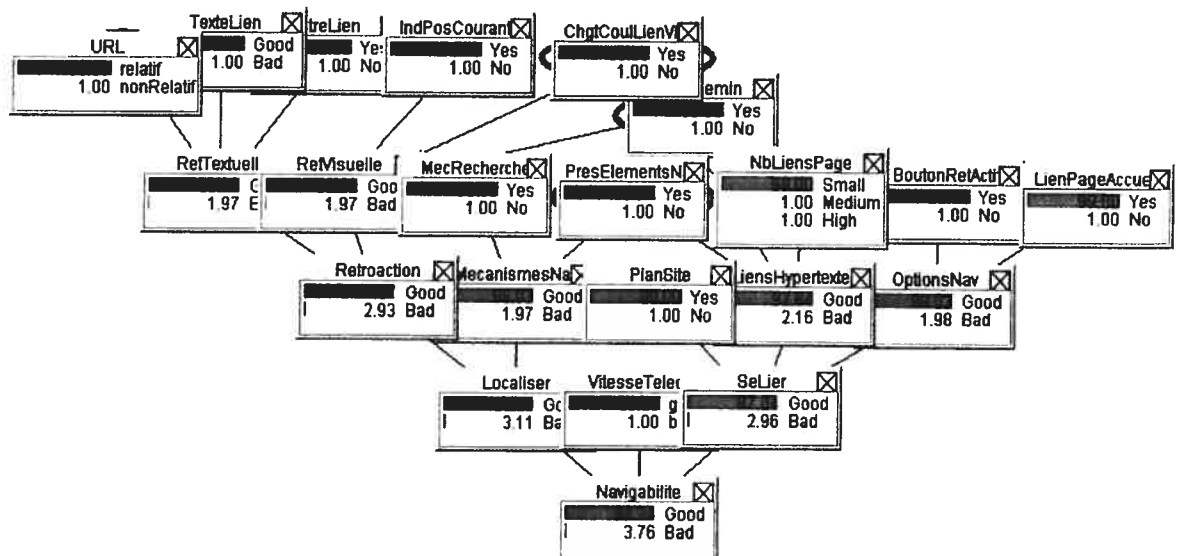


Figure 27. Réseau Bayésien de la Navigabilité : scénario d'un cas optimal.

### 5.3 Évaluation de la facilité de la navigation d'une page Web

Pour évaluer la navigabilité d'une page Web donnée, il faudra d'abord recueillir les informations à propos de cette page et faire les mesures des sous-critères constituant les nœuds d'entrée du réseau de la navigabilité.

Pour les critères binaires, les valeurs sont attribuées selon la présence ou non de l'élément. Pour les nœuds *TitreLiens* et *TexteLiens* les calculs sont faits à partir des mesures puis les valeurs correspondantes sont attribuées aux deux nœuds. Pour la qualité des liens et la vitesse de téléchargement de la page, les valeurs obtenues pour la page sont projetées sur l'axe des ordonnées des graphes représentant les ensembles flous (voir figure 26 pour le sous-critère vitesse de téléchargement). Les valeurs des degrés d'appartenance obtenues sont utilisées comme des probabilités pour les différents états possibles dans les TPNs de ces deux critères. Par exemple, avec les ensembles flous, déterminés précédemment, ayant obtenu une valeur de *NbLiensPage* mesurée pour la page Web considérée, cette valeur est reportée sur le graphe et la valeur correspondante de sa probabilité dans les différents

grappes est trouvée directement. La même procédure est suivie pour l'autre sous-critère qui est *VitesseTelech*.

Toutes ces valeurs sont les nouvelles données ou probabilités qui vont permettre de mettre à jour les probabilités conditionnelles des autres nœuds. La propagation des effets de mise à jour des probabilités jusqu'au nœud Navigabilité permettra de trouver une estimation de la qualité de la Navigabilité de la page Web à évaluer.

Considérons par exemple la page Web de PBS à l'adresse <http://www.pbs.org> (Figure 28) pour laquelle nous avons mesuré les critères d'entrée de la Navigabilité. Les valeurs obtenues sont rassemblées dans le Tableau 20.



Figure 28. Copie d'écran de la page <http://www.pbs.org>

TitreLien	0
TexteLien	1
URL	1
IndPosCourante	0
ChgtCoulLiensV	0
IndChemin	0
MecRecherche	1
PresElementsNav	1
PlanSite	0
NbLiensPage	123
LienPageAccueil	1
BoutonRetActif	1
VitesseTelech	23,55 s

Tableau 20. Les valeurs des critères d'entrée mesurées pour la page de PBS.

Les TPNs des nœuds d'entrée sont dérivées à partir de ces mesures et le RB est mis en œuvre. Après la mise à jour des probabilités dans le réseau, nous obtenons une estimation de la qualité de la Navigabilité de cette page de 78,02% pour l'état Good (Figure 29). La possibilité de faire des scénarios de « qu'est ce qui se passe si », que les réseaux Bayésiens offrent, permet d'identifier les problèmes potentiels et les actions d'amélioration possibles.

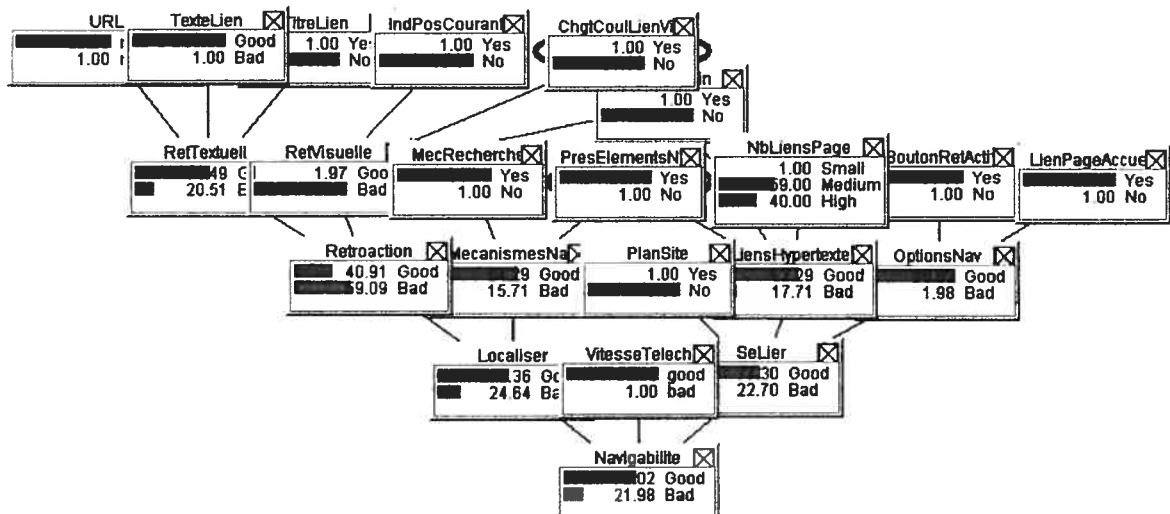


Figure 29. Évaluation de la navigabilité de la page d'accueil de PBS.

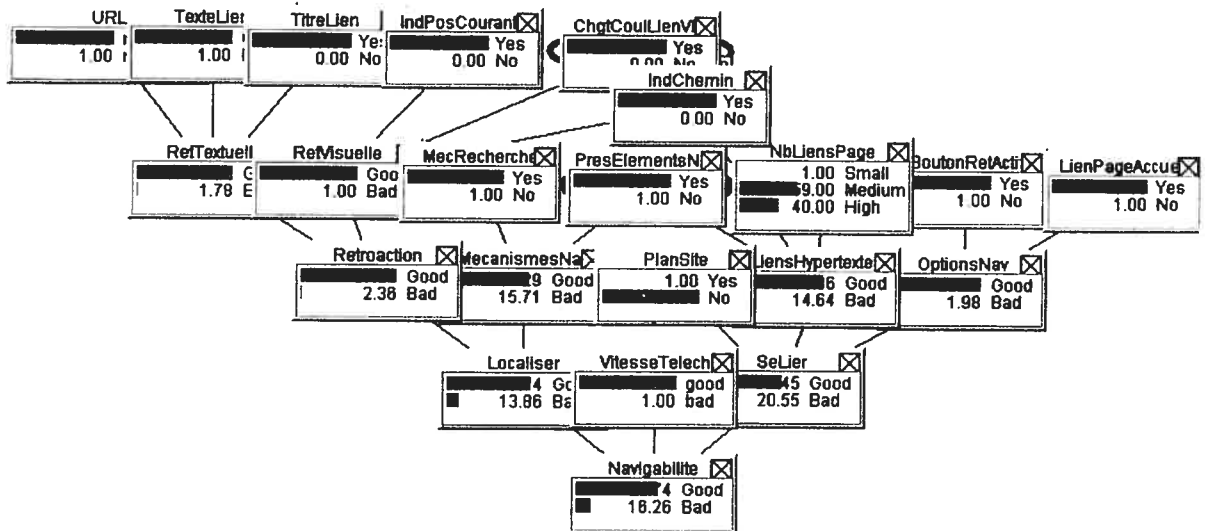


Figure 30. Scénario d'amélioration de la navigabilité par ajout d'éléments.

La Figure 30 montre qu'en rajoutant les éléments de conception manquant (titre de lien, indicateur de la position courante, indicateur de chemin et le changement de couleur du lien visité) qui augmentent la rétroaction utilisateur, il y a une nette amélioration de la qualité de la Navigabilité. La probabilité de l'état Good passe de 78,02% à 83,74% avec un gain de plus que 5 points.

Un autre scénario possible, le fait d'ajouter un plan de site à l'application, par exemple, contribue efficacement à améliorer la Navigabilité au niveau de la page considérée. La probabilité de l'état 'Good' passe à 86.89% (Figure 31).

Donc, nous avons une façon d'évaluer la qualité de la conception de la Navigabilité d'une page Web à partir des valeurs directement mesurées de ses sous-critères. Avec les réseaux Bayésiens, nous avons la possibilité d'exécution de toute une gamme de scénarios pour identifier les problèmes potentiels et les améliorations possibles. Il est intéressant de faire plusieurs essais et de voir comment la Navigabilité peut être améliorée d'une façon maximale avec le moindre changement ou effort à fournir.

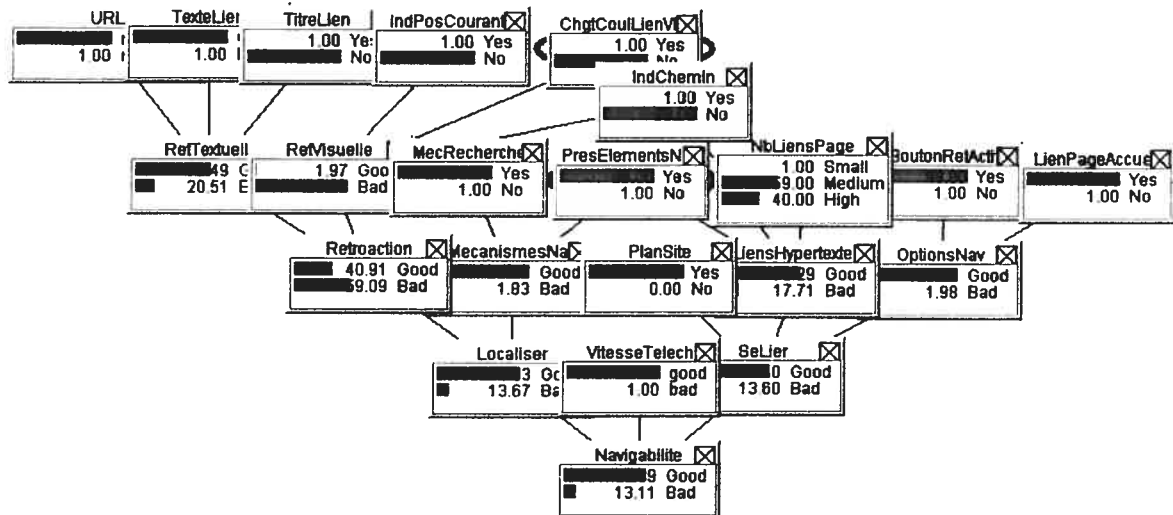


Figure 31. Scénario d'amélioration de la navigabilité par ajout d'un plan de site.

Les RB offrent ainsi un outil de prévision de la qualité et des possibilités de voir les effets des variations ponctuelles sur cette qualité avant d'entreprendre des actions correctives nécessitant des coûts et un effort parfois importants.

## 5.4 Conclusion

Ce chapitre décrit en détail les différentes phases et étapes de notre méthodologie d'évaluation basée sur notre modèle probabiliste de la qualité spécifique aux applications Web. Le choix de la conception de la navigabilité comme critère d'application découle de l'importance de ce critère pour les applications Web. Nous avons commencé par rassembler les critères cités dans la littérature, les trier, les définir et les classer. Le raffinement par GQM a permis de valider et restructurer la hiérarchie résultante. Le RB est construit récursivement par ajout successif des fragments. Chaque fragment est construit en respectant le formalisme des RBs. Les TPNs sont définis rigoureusement selon le type de nœud considéré. La mise en œuvre du RB couronne cet effort par une estimation précise de la qualité qui tient compte de la subjectivité, l'incertitude et l'imprécision des mesures.

## **Chapitre 6**

# **Réalisation et Validation**

Après avoir montré la faisabilité de notre approche sur un fragment du réseau de la qualité des applications Web relatif à la Navigabilité, nous procédons dans ce chapitre à la validation de notre modèle par une étude empirique. Dans un premier temps, ce chapitre présente brièvement l'environnement implantant notre méthodologie d'évaluation. Ensuite, il aborde les détails de l'expérience conçue et réalisée pour valider le modèle de qualité construit, avec les résultats et les conclusions.

### **6.1 Développement de l'environnement d'évaluation**

Afin de permettre une estimation quantitative rapide de la qualité d'une application Web, nous avons développé un environnement automatisant quelques étapes de notre méthodologie d'évaluation. Cet environnement est créé dans le but de faciliter la mesure des critères, la génération des probabilités et la dérivation d'une estimation de la qualité. Trois modules composent notre environnement d'évaluation : un éditeur/moteur de réseaux Bayésiens, un générateur de fonctions de probabilités et un outil de collecte de mesures.

### **6.1.1 L'éditeur/moteur des réseaux Bayésiens**

Ce premier module comprend un éditeur et un moteur d'inférence probabiliste. L'éditeur permet de construire la structure graphique des réseaux Bayésiens et de fournir les tables de probabilités des nœuds. Le moteur sert à la mise en œuvre du RB. Il effectue l'inférence Bayésienne en modifiant les probabilités des nœuds suite à l'introduction des valeurs mesurées des critères. Cette inférence aboutit à la mise à jour de toutes les probabilités des nœuds du RB par propagation et calcul.

Dans le cadre de ce travail, c'est le logiciel Hugin GUI (Jensen 1996) qui a été intégré comme éditeur/moteur de réseaux Bayésiens.

### **6.1.2 Le générateur des fonctions de probabilités**

Ce deuxième module sert à générer des fonctions de probabilités pour les critères d'entrée du RB admettant une infinité de valeurs. À partir des données rassemblées par le troisième module qui est l'outil de collecte des mesures (§ 6.1.3), le générateur permet dans un premier temps de procéder au partitionnement flou de ces données. Les résultats sont présentés sous forme de tables associant des valeurs des degrés d'appartenance à chaque mesure collectée dans chacune des grappes floues considérées. Ce module calcule aussi le coefficient de partition de Dunn pour le nombre de grappes choisi lors du partitionnement flou (Tableau 21).

Dans un deuxième temps, ce module permet de générer les graphes représentant les ensembles flous correspondants aux critères considérés.

C'est le logiciel S-plus qui nous a servi comme générateur de fonctions de probabilités pour notre environnement d'évaluation.

*** Fuzzy Partitioning ***					
... Membership coefficients: numeric matrix: 1709 rows, 2 columns.			... Membership coefficients: numeric matrix: 1709 rows, 3 columns.		
	[,1]	[,2]		[,1]	[,2] [,3]
1	0.8768534	0.1231466	1	0.5507041	0.3510337 0.09826224
2	0.8776810	0.1223190	2	0.5528985	0.3491392 0.09796226
3	0.8776810	0.1223190	3	0.5528985	0.3491392 0.09796226
4	0.8776810	0.1223190	4	0.5528985	0.3491392 0.09796226
...	...	...	...	...	...
1707	0.09923777	0.9007622	1707	0.08911887	0.2864245 0.6244567
1708	0.10177906	0.8982209	1708	0.09044646	0.2928308 0.6167227
1709	0.10304978	0.8969502	1709	0.09109309	0.2960033 0.6129036
...	...	...	...	...	...
... Coefficients: dunn_coeff      normalized			... Coefficients: dunn_coeff      normalized		
	0.8336837	0.6673674		0.713503	0.5702545

Tableau 21. Un exemple de résultat du partitionnement flou pour *VitesseTelech*.

### 6.1.3 L'outil pour la collecte des mesures

Avec les caractéristiques actuelles du Web, l'abondance des critères de qualité et le besoin d'avoir un grand nombre de mesures, un tel outil constitue un module important de notre environnement d'évaluation. Il permet de mesurer automatiquement plusieurs critères à partir d'un grand nombre de pages Web. D'ailleurs, une évaluation manuelle de la qualité est inconcevable, compte tenu de la taille des applications Web à évaluer et de la fréquence des évaluations pendant le cycle de vie.

L'outil semi-automatique WebQuality est développé avec la contribution de François Charland. lors de son travail de maîtrise (Charland 2006). Son automatisation complète est difficile à réaliser puisque les technologies impliquées sont trop nombreuses et en constante évolution (JavaScript, Pearl, ASP, Flash, CSS, DOM, CGI, PHP, Active Server Page, etc.). De plus, certains critères de la qualité sont subjectifs et nécessitent la présence de l'évaluateur.



WebQuality (Figure 32) est composé de plusieurs unités : le noyau, la base de données, la gestion des utilisateurs, l'Assistant, l'Évaluateur et le *Crawler*.

Le noyau gère les différentes unités ainsi que les interactions entre celles-ci et la base de données. L'Assistant fonctionne de manière semi-automatique. Il permet une évaluation partielle d'une application Web en demandant à l'utilisateur d'évaluer une liste de critères. Les réponses saisies peuvent être stockées dans la base de données. Cette unité, faisant partie de l'outil WebQuality, n'a pas servi pour ce travail.

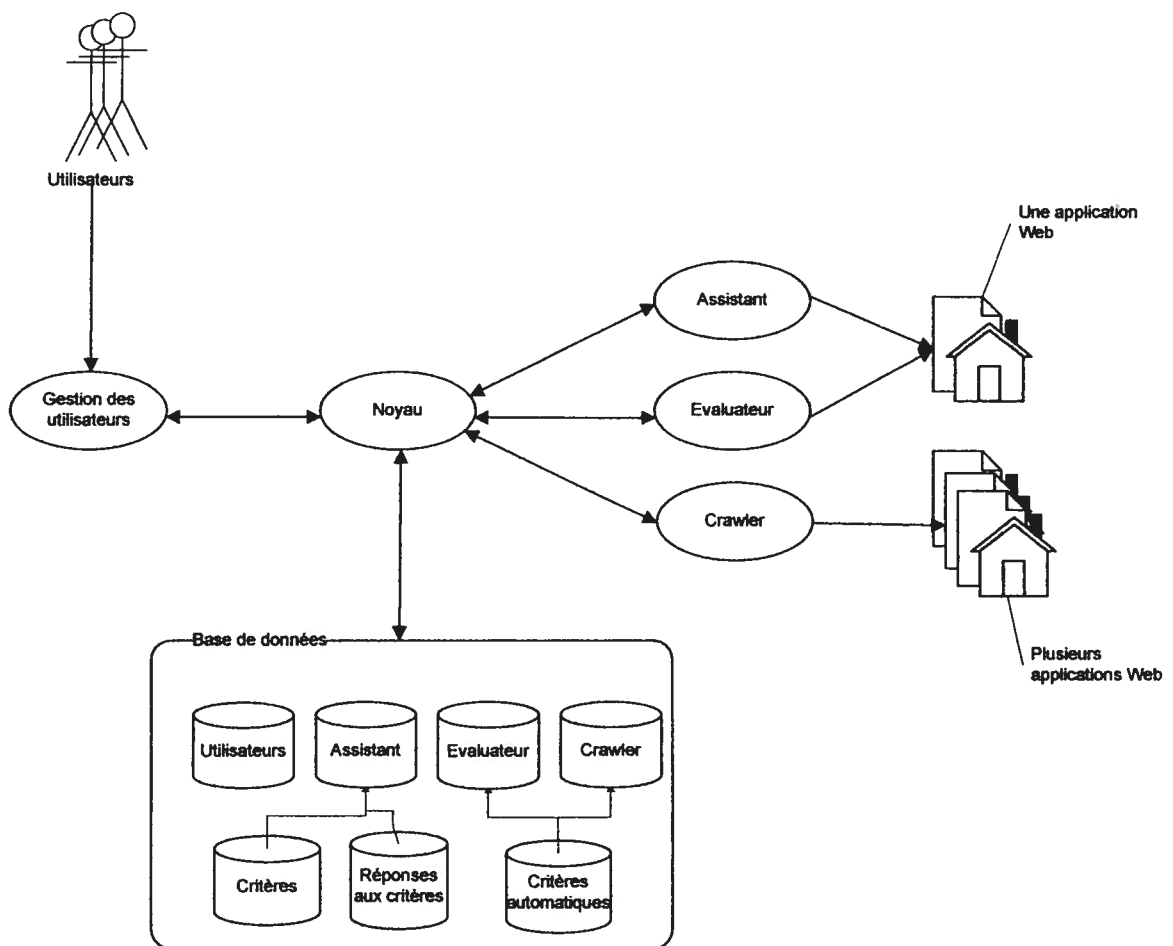


Figure 32. Architecture de l'outil WebQuality.

L'Évaluateur permet l'évaluation automatique de plusieurs critères d'une application Web en même temps. Son interface (Figure 33) présente une liste des critères automatiquement mesurables. Cette unité supporte aisément l'ajout de nouveaux critères (ou la mise à jour de ceux existants). Pour procéder aux mesures, l'utilisateur doit sélectionner les critères qui l'intéressent dans la liste proposée. Par la suite il doit préciser la profondeur maximale à explorer dans l'application Web. Par défaut, l'évaluation commence à la page source de l'application spécifiée et se termine à la profondeur désirée. Une option permettant le choix aléatoire d'une page de profondeur 1 est mise à la disposition de l'utilisateur.

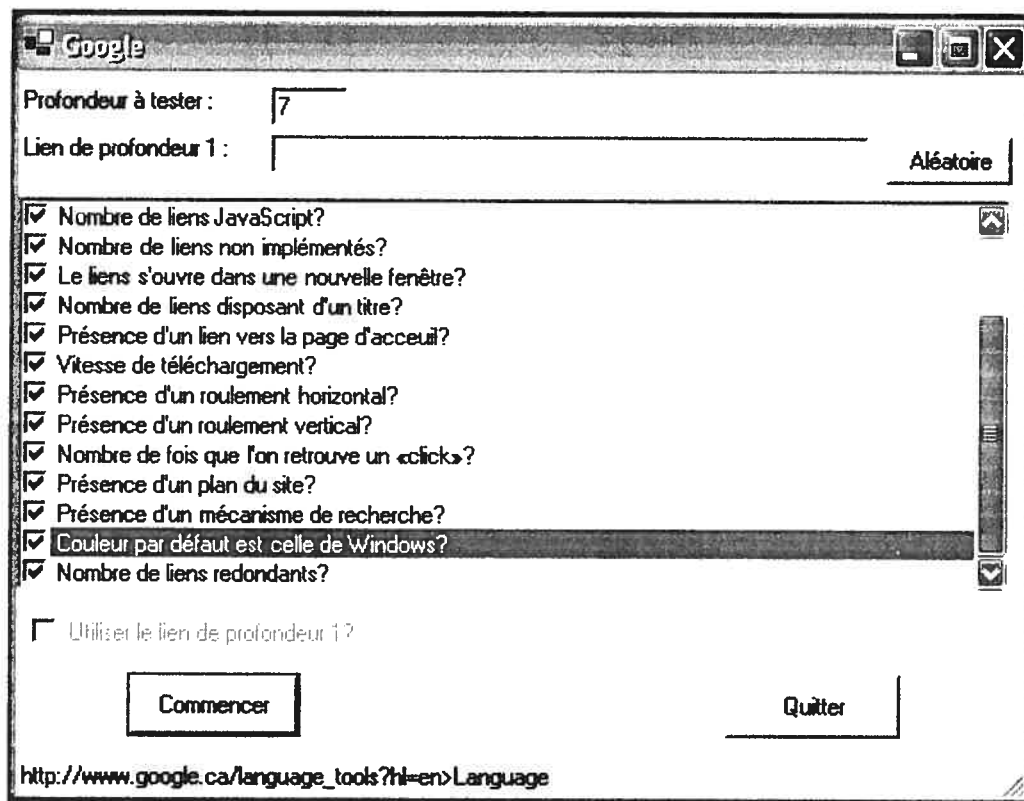
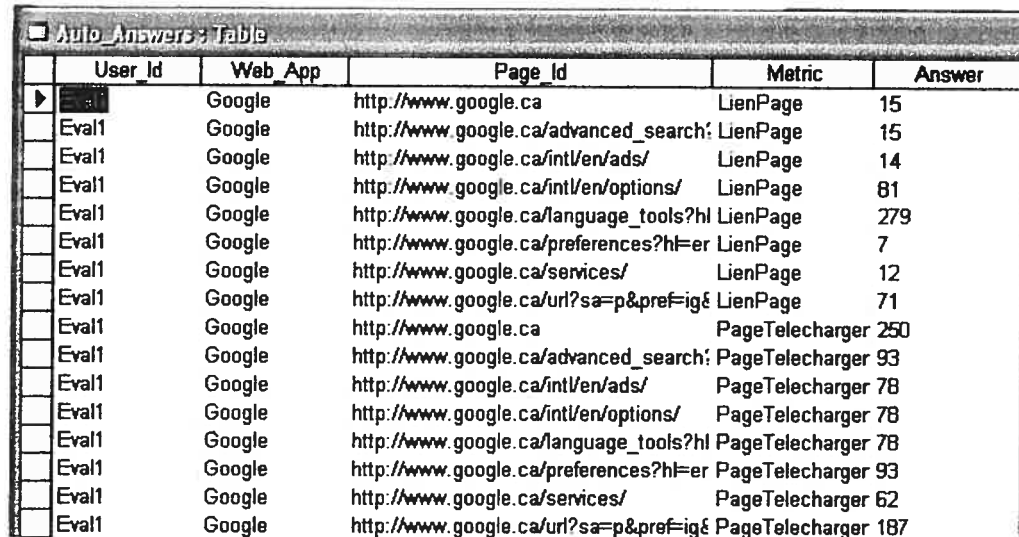


Figure 33. Vue de l'interface Évaluateur.

La Figure 34 montre une fraction des résultats des mesures faite pour les critères nombre de liens et vitesse de téléchargement pour les pages de profondeur 2 du site de Google.



User_Id	Web_App	Page_Id	Metric	Answer
	Google	http://www.google.ca	LienPage	15
Eval1	Google	http://www.google.ca/advanced_search:	LienPage	15
Eval1	Google	http://www.google.ca/intl/en/ads/	LienPage	14
Eval1	Google	http://www.google.ca/intl/en/options/	LienPage	81
Eval1	Google	http://www.google.ca/language_tools?hl	LienPage	279
Eval1	Google	http://www.google.ca/preferences?hl=er	LienPage	7
Eval1	Google	http://www.google.ca/services/	LienPage	12
Eval1	Google	http://www.google.ca/url?sa=p&pref=ig&	LienPage	71
Eval1	Google	http://www.google.ca	PageTelecharger	250
Eval1	Google	http://www.google.ca/advanced_search:	PageTelecharger	93
Eval1	Google	http://www.google.ca/intl/en/ads/	PageTelecharger	78
Eval1	Google	http://www.google.ca/intl/en/options/	PageTelecharger	78
Eval1	Google	http://www.google.ca/language_tools?hl	PageTelecharger	78
Eval1	Google	http://www.google.ca/preferences?hl=er	PageTelecharger	93
Eval1	Google	http://www.google.ca/services/	PageTelecharger	62
Eval1	Google	http://www.google.ca/url?sa=p&pref=ig&	PageTelecharger	187

Figure 34. Exemple d'exécution.

Le Crawler permet d'explorer méthodiquement et automatiquement les pages Web dont les adresses URLs sont spécifiées dans une liste (Figure 35). Il rend possible la mesure de nombreux critères pour un grand nombre de pages Web.

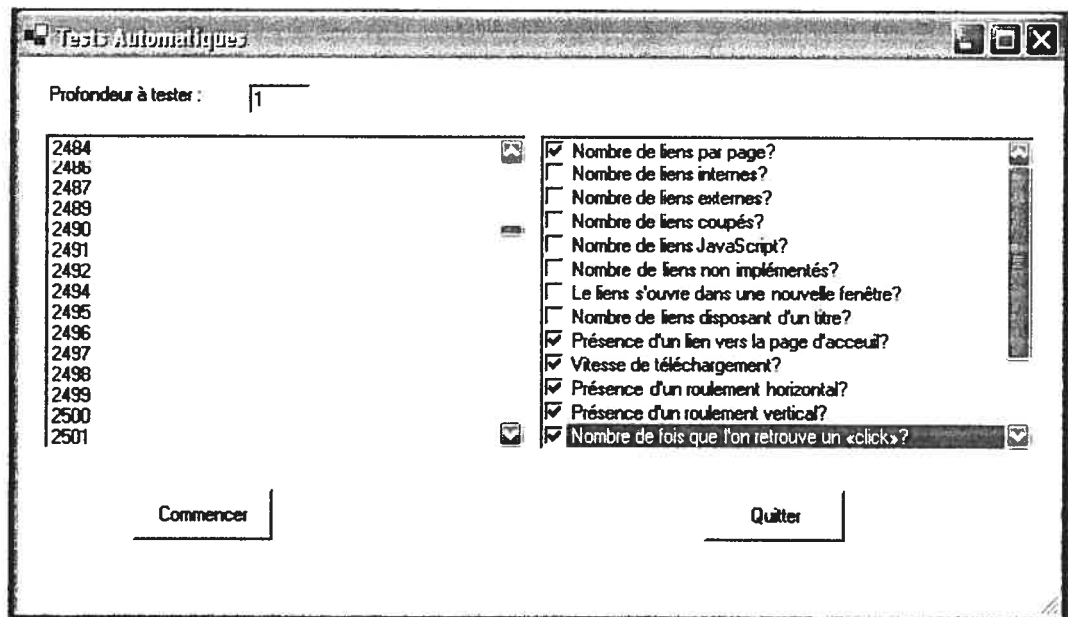


Figure 35. Vue du Crawler.

Pour effectuer les mesures, l'utilisateur peut sélectionner les critères à évaluer puis lancer le crawler. Ce dernier procède à la mesure des critères sélectionnés pour toutes les

pages Web dont les adresses sont fournies par le noyau. Le noyau lui-même s'approvisionne dans la base de données. Dans cette base de données, à chaque adresse URL correspond un chiffre assigné automatiquement et qui identifie la page à évaluer. Ce sont ces chiffres qui apparaissent dans la liste à gauche de la fenêtre de la Figure 35.

Comme premier test de cet outil, nous avons procédé à la mesure de plusieurs critères pour un grand nombre de pages Web choisies aléatoirement avec un moteur de recherche (§ 4.2.2.3.2). La Figure 36 montre une partie des résultats obtenus; le nom de l'utilisateur ayant fait les tests (ici «123»), le nom de la page Web (sous forme d'un chiffre assigné automatiquement), l'adresse URL de la page Web, la métrique évaluée et la réponse obtenue.

User_Id	Web_App	Page_Id	Metric	Answer
123	2350	http://www.debian.org/	LienPage	122
123	2351	http://www.defenselink.mil/sites/f.html	LienPage	136
123	2353	http://www.desktoppipeline.com/	LienPage	121
123	2354	http://www.dev.org/	LienPage	7
123	2355	http://www.devsource.com/	LienPage	107
123	2356	http://www.devx.com/	LienPage	310
123	2357	http://www.dexonline.com/	LienPage	130
123	2358	http://www.dfes.gov.uk/bullying/	LienPage	65
123	2359	http://www.dgeec.gov.py/	LienPage	0
123	2360	http://www.dhtml-menu.com/	LienPage	94
123	2361	http://www.dictionary.com/	LienPage	51
123	2363	http://www.digital.library.upenn.edu/won	LienPage	228
123	2365	http://www.diligentproject.org/	LienPage	39
123	2367	http://www.disabilityresources.org/	LienPage	169
123	2368	http://www.discover.com/	LienPage	64
123	2369	http://www.discovery.org/	LienPage	37

Figure 36. Vue d'une fraction de la base de données suite au test.

Le critère mesuré lors de ce test correspond à *LienPage*. Il s'agit du nombre total de liens dans une page qu'ils soient internes ou externes à l'application Web, et qu'ils soient fonctionnels ou non. Les résultats obtenus peuvent être exportés et analysés (§ 4.2.2). Ce jeu de test a permis une évaluation comparative des nombres des liens pour plus de 1700 pages Web (§ 4.2.2.3.2). Cependant, nous remarquons qu'il y a des pages Web qui ne retournent aucun lien (cas de la page 2359 dans la Figure 36). Ceci peut arriver quand la page concernée utilise une nouvelle technologie non supportée par l'outil.

## 6.2 Validation de l'approche

Cette partie décrit et discute l'étude expérimentale conduite afin de valider le modèle probabiliste construit. Cette étude porte sur le problème spécifique de l'évaluation de la qualité de la conception de la navigabilité d'une page Web. Il s'agit de déterminer si des utilisateurs d'Internet évaluant la qualité de ce critère arrivent à des résultats conformes avec les estimations de qualité obtenues par le modèle probabiliste. Vingt évaluateurs sont sélectionnés pour participer à l'expérience et évaluer quarante pages Web présélectionnées.

### 6.2.1 Objectifs de l'étude

L'étude a pour objectif de montrer que notre modèle probabiliste de la qualité des applications Web est valide. En d'autres termes, nos choix de critères de qualité, leur organisation sous forme de réseau Bayésien et leur pondération par l'attribution des probabilités aux nœuds du réseau sont adéquats.

Pour réaliser cette expérience, nous appliquons le plan proposé par Wohlin & al (Wohlin 1999). Nous allons, d'abord, formuler l'hypothèse de l'étude, sélectionner les variables, choisir les sujets, concevoir l'expérience, établir les techniques d'analyse. Ensuite, nous procédons au recueil des données, à la vérification de l'hypothèse, à la discussion des résultats et à l'évaluation de la validité de l'étude.

### 6.2.2 Formulation de l'hypothèse

L'hypothèse de l'étude peut être formulée comme suit : *le modèle probabiliste construit est un bon estimateur de la qualité de la Navigabilité.*

La Figure 37 schématise cette hypothèse. Le modèle de qualité (Modèle) représenté par le RB de la Navigabilité (Sortie), modélisée à partir des sous-critères d'entrée retenus (Entrée), est supposé donner une estimation de la qualité de ce critère conforme avec les résultats des évaluations de la Navigabilité obtenus par les utilisateurs (Évaluation).

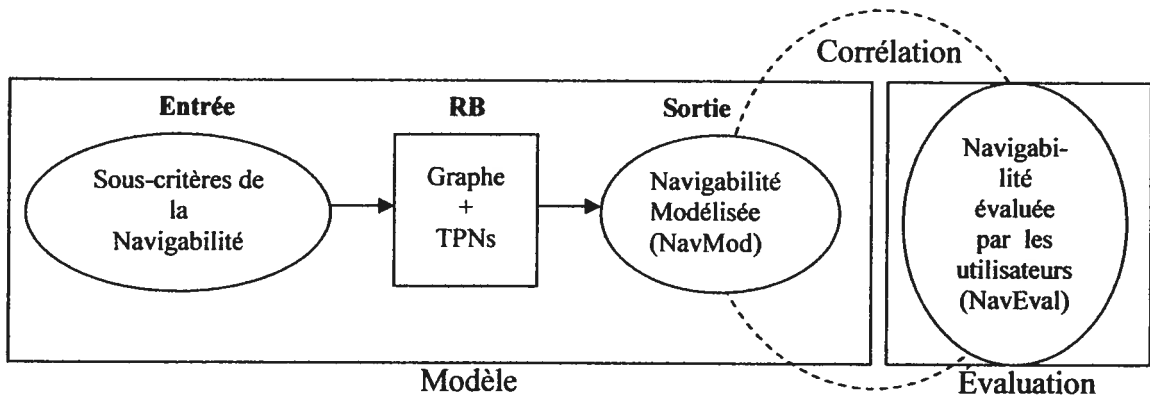


Figure 37. Corrélation entre les résultats du modèle et de l'expérience.

En effet, les critères d'entrée retenus pour le sous-réseau de la Navigabilité, le graphe construit et les probabilités tel qu'affectées aux nœuds du réseau (§ 5.2.3 et 5.2.4), permettent de calculer une estimation de la qualité de la Navigabilité sous forme de probabilité (NavMod). La présence ou non, d'une corrélation entre cette estimation et les résultats des évaluations des utilisateurs (NavEval), permet de démontrer ou de contester la validité de notre modèle.

La vérification de cette hypothèse confirmera donc la validité du choix des sous-critères d'entrée, de la structure du graphe et de l'attribution des probabilités aux différents nœuds du réseau.

### 6.2.3 Sélection des variables

En se basant sur l'hypothèse de l'étude, nous choisissons les variables suivantes :

- Les variables indépendantes : ce sont les variables qui sont supposées influencer le critère de qualité étudié. Selon le modèle construit, les sous-critères d'entrée du RB de la Navigabilité (Entrée) influencent la qualité de la conception de la navigabilité et sont, ainsi, les variables indépendantes. Pour chaque page Web, les sous-critères d'entrée sont mesurés directement à partir des pages et leurs probabilités sont dérivées tel qu'expliqué (§

4.2.2). Les effets des traitements, i.e., les variations des valeurs des variables indépendantes, sont mesurés sur les variables dépendantes.

- Les variables dépendantes : ce sont les variables qui sont influencées par les variables indépendantes. Elles doivent être dérivées directement de l'hypothèse et ne sont pas directement mesurables. Dans notre cas, la variable dépendante est la navigabilité modélisée (NavMod) estimée par le RB sous forme de probabilité (Sortie). Cette variable est estimée par la mise en œuvre du RB construit avec les valeurs mesurées des sous-critères d'entrée correspondantes à la page à évaluer.

#### **6.2.4 Sélection des sujets**

Vingt sujets ont été sélectionnés en fonction de leur disponibilité (échantillon de convenance). Ce sont tous des étudiants universitaires. Les sujets ont répondu à des questions démographiques avant le début de l'expérience. Spécifiquement, chaque sujet a indiqué son niveau d'éducation, son expérience en informatique et avec Internet, le nombre d'heures passées sur l'Internet chaque semaine et son niveau en anglais.

Ces informations ont permis de constater que l'échantillon des sujets est homogène. Ils ont tous des niveaux comparables d'éducation et de très bonnes connaissances en informatique. Tous utilisent fréquemment le Web et sont très familiers avec la recherche d'information et la navigation sur Internet. De plus, ils ont tous un niveau au moins moyen en anglais. Le niveau d'anglais est demandé dans le but de s'assurer que la langue de la page n'affectera pas la capacité des sujets dans la recherche de l'information.

#### **6.2.5 Conception de l'expérience**

L'expérience est planifiée comme suit :

- vingt sujets sont divisés en 4 groupes de 5 sujets ( $G_S 1$ ,  $G_S 2$ ,  $G_S 3$ ,  $G_S 4$ ) ;

- quarante pages Web sont réparties en 4 groupes de 10 pages (g<sub>p</sub> 1, g<sub>p</sub> 2, g<sub>p</sub> 3, g<sub>p</sub> 4) ;
- pour chacune des pages, deux types d'évaluation de la Navigabilité de la page sont prévus : une évaluation rapide suite à un parcours libre du contenu de la page et une évaluation basée sur la tâche suite à un parcours ciblé.

#### **6.2.5.1 Sélection des pages**

Les quarante pages Web sont sélectionnées aléatoirement sur Internet. Cependant, toutes ces pages respectent les propriétés suivantes :

- la page est en anglais ou en français ;
- la page ne requiert pas un login ;
- les pages appartiennent à différents domaines d'application ;
- la page peut être une page d'accueil ou autre ;
- la page est disponible lors de l'étude (si les participants éprouvent des difficultés techniques, la page est éliminée).

#### **6.2.5.2 Sélection des tâches**

Pour chacune des pages, une tâche à réaliser par le sujet est spécifiée. La tâche est spécifiée de telle façon qu'elle invite l'utilisateur à expérimenter la Navigabilité de la page (voir Annexe C). Des exemples de tâches comprennent : la recherche d'une rubrique ou d'un item ou d'un service particulier, l'accès à la page d'accueil, le déplacement de et vers la page à évaluer, la reconnaissance de certaines métaphores, etc.

#### **6.2.5.3 Type d'évaluation et échelle**

Pour le type d'évaluation rapide sans réalisation de tâche, le sujet doit attribuer à la page une note de 1 (très mauvais) à 10 (excellent). C'est la Navigabilité perçue (NavPer). Pour le type d'évaluation basé sur la tâche, le sujet doit répondre aux questions posées et attribuer une note de 1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant) à chaque question. C'est la Navigabilité expérimentée (NavExp).



La Navigabilité perçue (NavPer) et la Navigabilité expérimentée (NavExp) représentent deux façons d'exprimer la Navigabilité évaluée (NavEval) de la Figure 37. Le but étant de comparer l'impression subjective que l'utilisateur a au premier contact avec la page versus une évaluation plus systématique de la page basée sur la tâche.

#### **6.2.5.4 Questionnaire d'évaluation**

Tous les sujets ont reçu un questionnaire dont un exemplaire est présenté à l'Annexe C. Il comprend :

- une liste contenant les adresses URLs des dix pages Web à évaluer sans recherche de tâches ;
- un questionnaire reproduit dix fois pour les dix pages Web à évaluer avec recherche de tâches spécifiques (un pour chaque page avec l'adresse URL de la page et la tâche à réaliser) ;
- une page de questions générales.

Pour plus de commodité, une liste électronique des adresses URLs des pages Web à évaluer est envoyée par courriel à chaque évaluateur pour éviter les fautes de frappe lors de l'écriture de l'adresse des pages. Les participants sont invités à copier et coller les différentes adresses.

#### **6.2.5.5 Distribution des pages**

Les pages sont répartis entre les sujets comme indiqué dans le Tableau 22. Chaque groupe de sujets doit évaluer un groupe de pages sans recherche de tâches et un autre groupe de pages avec la réalisation d'une tâche. Ainsi, chaque page est évaluée dix fois : cinq fois rapidement par un groupe de sujets et cinq fois avec recherche d'information ou réalisation d'une tâche par un autre groupe de sujets. Aucune page n'est évaluée selon les deux types d'évaluation par le même sujet.

Groupes de sujets	Groupes des pages Web à évaluer	
	Sans recherche de tâches	Avec tâches à réaliser
G <sub>S</sub> 1	g <sub>p</sub> 1	g <sub>p</sub> 2
G <sub>S</sub> 2	g <sub>p</sub> 2	g <sub>p</sub> 3
G <sub>S</sub> 3	g <sub>p</sub> 3	g <sub>p</sub> 4
G <sub>S</sub> 4	g <sub>p</sub> 4	g <sub>p</sub> 1

Tableau 22. La distribution des pages entre les sujets.

En outre, pour des raisons de validité, un ordre aléatoire pour la séquence des pages dans le questionnaire est choisi. La préparation des questionnaires est, ainsi, faite selon le Tableau 23. Par exemple, pour le sujet no 2 du groupe G<sub>S</sub> 1, qui doit évaluer rapidement le groupe de pages g<sub>p</sub>1 et évaluer avec réalisation de tâche le groupe de pages g<sub>p</sub> 2, l'ordre des pages dans le questionnaire correspond à celui de la colonne grisée du Tableau 23. Les autres sujets du groupe G<sub>S</sub> 1 recevront les pages des groupes g<sub>p</sub>1 et g<sub>p</sub> 2 dans un ordre différent.

Sujets	G <sub>S</sub> 1					G <sub>S</sub> 2					G <sub>S</sub> 3					G <sub>S</sub> 4				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Sans tâche	g <sub>p</sub> 1					g <sub>p</sub> 2					g <sub>p</sub> 3					g <sub>p</sub> 4				
	4	8	5	5	9	14	18	15	15	19	24	28	25	25	29	34	38	35	35	39
	6	10	3	1	5	16	20	13	11	15	26	30	23	21	25	36	40	33	31	35
	5	4	4	6	6	15	14	14	16	16	25	24	24	26	26	35	34	34	36	36
	9	9	9	9	10	19	19	19	19	20	29	29	29	29	30	39	39	39	39	40
	10	6	1	8	1	20	16	11	18	11	30	26	21	28	21	40	36	31	38	31
	8	2	8	10	8	18	12	18	20	18	28	22	28	30	28	38	32	38	40	38
	1	1	10	2	2	11	11	20	12	12	21	21	30	22	22	31	31	40	32	32
	3	3	7	7	3	13	13	17	17	13	23	23	27	27	23	33	33	37	37	33
	7	5	6	3	7	17	15	16	13	17	27	25	26	23	27	37	35	36	33	37
	2	7	2	4	4	12	17	12	14	14	22	27	22	24	24	32	37	32	34	34
Avec tâche	g <sub>p</sub> 2					g <sub>p</sub> 3					g <sub>p</sub> 4					g <sub>p</sub> 1				
	12	20	19	15	11	22	30	29	25	21	32	40	39	35	31	2	10	9	5	1
	17	14	16	16	20	27	24	26	26	30	37	34	36	36	40	7	4	6	6	10
	14	13	15	17	18	24	23	25	27	28	34	33	35	37	38	4	3	5	7	8
	11	19	14	19	15	21	29	24	29	25	31	39	34	39	35	1	9	4	9	5
	13	18	17	14	12	23	28	27	24	22	33	38	37	34	32	3	8	7	4	2
	19	11	18	20	19	29	21	28	30	29	39	31	38	40	39	9	1	8	10	9
	16	16	20	18	13	26	26	30	28	23	36	36	40	38	33	6	6	10	8	3
	20	12	13	13	17	30	22	23	23	27	40	32	33	33	37	10	2	3	3	7
	15	17	12	11	16	25	27	22	21	26	35	37	32	31	36	5	7	2	1	6
	18	15	11	12	14	28	25	21	22	24	38	35	31	32	34	8	5	1	2	4

Tableau 23. L'ordre aléatoire des séquences de pages.

### 6.2.5.6 Préparation de l'expérience

Avant le début de l'étude, les sujets sont rassemblés pour un mini-tutorial afin de :

- s'assurer de leur motivation pour l'expérience ;
- s'assurer qu'ils ont tous compris la tâche à effectuer.

Par ailleurs, d'autres remarques sont formulées comme :

- l'importance de faire ce travail sérieusement et dans les règles de l'art ;
- l'importance de commencer toujours par l'évaluation rapide du premier groupe de page ;
- l'importance de finir d'évaluer complètement une page avant de passer à autre chose ou de prendre du repos.

Enfin, cette expérience de validation est conduite entre le 8 et le 20 mai 2006. Les sujets disposaient d'une semaine pour remettre les dossiers d'évaluation. L'expérience a produit des évaluations de la Navigabilité pour quarante pages Web.

### 6.2.6 Les Techniques d'analyse

Plusieurs techniques d'analyse sont utilisées pour établir la distribution normale des données, décrire ces données et vérifier l'hypothèse. Ces techniques sont :

- les statistiques descriptives : nous utilisons la moyenne pour calculer la Navigabilité évaluée (NavPer et NavExp). Dans les deux cas l'échelle utilisée peut être considérée de type intervalle puisque la différence entre deux valeurs est aussi significative, ce qui justifie le calcul de la moyenne des notes attribuées ;
- les tests de normalité : nous utilisons le test de normalité (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) pour vérifier la normalité des données. Si la signification est supérieure à 0.05 nous considérons que la variable est normalement distribuée ;

- les tests d'hypothèse : si les variables sont normalement distribuées, nous utilisons le coefficient de corrélation de Pearson ( $r$ ) pour vérifier les dépendances. Sinon, la corrélation sera évaluée par le coefficient de Spearman ( $\rho$ ). Ces coefficients permettent d'établir si une corrélation est réellement significative ou si elle est le résultat de la chance seulement. Le coefficient de Pearson (respectivement de Spearman) mesure les dépendances linéaires des valeurs (respectivement des rangs), il est significatif quand il s'agit d'échelle de type intervalle. La valeur de ( $r$ ) se situe entre -1 (forte corrélation négative) et +1 (forte corrélation positive) et en cas d'absence de corrélation  $r$  est proche de zéro. Les corrélations sont calculées entre les valeurs de la Navigabilité, estimées par le RB (NavMod) et celles obtenues pour les deux types d'évaluation (NavPer et NavExp). Notre hypothèse est acceptée si les corrélations sont importantes et le test de corrélation est significatif ( $p < 0.05$ , c.a.d. un degré de confiance de 95%).

### 6.2.7 Recueil des données de l'expérience

Les sous-critères d'entrée du RB de la Navigabilité sont d'abord mesurés pour chacune des quarante pages. Pour chaque page, les valeurs obtenues sont transformées en probabilités (§ 4.2) et sont utilisées pour remplir les tables de probabilité des nœuds d'entrée du RB. Avec les nouvelles mesures, le RB est mis en œuvre. Les valeurs de probabilité sont mises à jour suite à l'inférence Bayésienne. Les valeurs de probabilité obtenues pour l'état 'Good' du nœud *Navigabilite* sont des estimations de la qualité de la Navigabilité des pages considérées. Ces valeurs représentent la Navigabilité modélisée (NavMod).

D'autre part, les résultats des évaluations par les sujets sont recueillis pour les deux types d'évaluation. Cependant, parmi ces résultats, les réponses d'un seul sujet sont retirées car elles étaient incomplètes. Aussitôt, un nouveau sujet est choisi en remplacement.

Ensuite, pour chacune des pages :

- la moyenne des notes attribuées par les sujets est calculée dans le cas de l'évaluation rapide. Cette moyenne représente la Navigabilité perçue (NavPer) ;
- la moyenne des notes est calculée pour chacune des questions posées dans le cas de l'évaluation basée sur la tâche (Annexe C). La question, portant sur la satisfaction de l'utilisateur (spécifiquement pour la navigabilité) lors de la recherche, représente la Navigabilité expérimentée. La moyenne des notes des évaluateurs pour une page donnée, en réponse à cette question, est donc la (NavExp) de la page. Les moyennes sont aussi calculées pour toutes les autres questions. Les valeurs obtenues peuvent servir pour les évaluations partielles des nœuds intermédiaires du réseau.

		NavMod	NavExp	NavPer
N		40	40	40
Normal Parameters(a,b)	Mean	67.8185	66.4750	71.0750
	Std. Deviation	13.15053	15.16066	15.25911
Most Extreme Differences	Absolute	.088	.092	.147
	Positive	.068	.061	.084
	Negative	-.088	-.092	-.147
Kolmogorov-Smirnov Z		.554	.583	.929
Asymp. Sig. (2-tailed)		.919	.886	.354

*a Test distribution is Normal.*

*b Calculated from data.*

Tableau 24. Le test de normalité (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test).

Un test de normalité des valeurs obtenues pour la Navigabilité modélisée, la Navigabilité perçue et la Navigabilité expérimentée (Tableau 24) montre que toutes les variables sont normalement distribuées ( $\text{sig} > 0.05$ ). Nous utiliserons donc le coefficient de corrélation de Pearson pour vérifier les dépendances.

Les résultats correspondants aux mesures directes faites pour les critères d'entrée, aux estimations de la Navigabilité obtenues à partir du RB et aux évaluations par les utilisateurs concernant toutes les quarante pages Web sont rassemblés. Une section du tableau récapitulatif est transposée dans le Tableau 25.

NomApplication	pageA	pageB	pageC	pageD	pageE	pageX
TitreLien	0	0	0	0	0	...
TexteLien	1	1	1	1	1	...
URL	1	1	1	1	1	...
IndPosCourante	0	1	0	1	1	...
ChgtCoulLienVisite	1	0	1	0	0	...
IndChemin	1	0	0	0	0	...
MecRecherche	1	1	0	1	1	...
PrésenceElementsNav	1	1	0	1	1	...
PlanSite	1	1	1	1	0	...
NbLiensPage	41	184	29	92	97	...
LienPageAccueil	1	1	0	1	1	...
BoutonRetActif	1	1	1	1	1	...
VitesseTelech	9,86	51,53	39,74	34,80	32,72	...
Navigabilite ou NavMod	85,12%	86,27%	36,36%	86,80%	78,71%	...
RapidEvaluation1	6	10	6	10	9	...
RapidEvaluation2	8	7	3	8	6	...
RapidEvaluation3	6	8	7	7	5	...
RapidEvaluation4	7	7	6	9	6	...
RapidEvaluation5	8	10	4	9	9	...
MoyenneRapide	70%	84%	52%	86%	70%	...
<b>EvaluationBaseeTache1</b>						
VitesseTelech	5	5	4	5	2	...
Où je suis	4	4	2	4	3	...
Où je vais aller	4	4	2	4	4	...
NavigationElementsSim	3	4	2	4	4	...
NavigationElementsOrg	4	3	2	5	4	...
FaciliteTrouverInfo	4	3	3	4	4	...
FaciliteaccesHome	3	4	2	4	3	...
FaciliteReconnaisLV	3	3	2	4	3	...
ReussiRealisationTache	oui	oui	non	oui	oui	...
SatisfactionUtilisateur	4	4	2	4	4	...
EvaluationTache 1	80%	80%	42%	80%	80%	...
...	...	...	...	...	...	...
<b>EvaluationBaseeTache5</b>						
VitesseTelech	5	5	3	5	3	...
Où suis-je	5	4	2	5	4	...
Où je m'en vais	3	4	2	5	4	...
NavigationElementsSim	4	5	2	5	5	...
NavigationElementsOrg	3	3	2	4	4	...
FaciliteTrouverInfo	3	3	2	5	5	...
FaciliteaccesHome	5	2	4	5	5	...
FaciliteReconnaisLienVisite	4	4	2	5	5	...
ReussiRealisationTache	oui	oui	oui	oui	oui	...
SatisfactionUtilisateur	2	4	3	5	5	...
EvaluationTache 5	50%	80%	44%	100%	100%	...
<b>EvaluationBaseeTacheMoy</b>	<b>80%</b>	<b>76%</b>	<b>32%</b>	<b>92%</b>	<b>88%</b>	...
<b>Nœuds Intermédiaires</b>						
<i>Localiser</i>	83,98%	87,04%	32,59%	86,13%	76,19%	...
<i>Seller</i>	84,84%	84,29%	27,06%	86,39%	78,04%	...

Tableau 25. La section du tableau récapitulatif des résultats des évaluations.

### 6.2.8 Résultats et interprétations

Comme nous l'avons déjà vu, les éléments de conception qui peuvent se trouver dans une page Web (correspondant aux sous-critères retenus) sont représentés par les nœuds d'entrée du RB de la Navigabilité. Ces éléments sont reconnus comme étant importants pour offrir à l'utilisateur une bonne qualité du design de la navigabilité dans la page.

L'hypothèse de l'expérience (§ 6.2.2) suppose que notre modèle est un bon estimateur de la qualité. En d'autres termes, la qualité de la conception de la navigabilité (NavMod), telle que modélisée et estimée par le réseau Bayésien, à partir des sous-critères d'entrée retenus, est corrélée avec les résultats des évaluations de la Navigabilité tel qu'évaluée par les utilisateurs (NavEval). Les résultats des évaluations vont nous permettre de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

Comme nous l'avons mentionné au début de ce chapitre, pour cette expérience contrôlée, la navigabilité estimée par le RB (NavMod) est comparée aux deux types d'évaluation par les utilisateurs ; l'évaluation rapide (NavPer) et l'évaluation basée sur la tâche (NavExp).

#### 6.2.8.1 Vérification de l'hypothèse générale

Pour vérifier notre hypothèse, il faut calculer la valeur du coefficient de corrélation de Pearson ( $r$ ) entre la navigabilité estimée et celle évaluée pour les deux types d'évaluation conduits. Nous constatons (Tableau 26) que les corrélations entre NavMod d'une part et NavExp et NavPer sont très bonnes (respectivement 0.87 et 0.75) et significatives ( $\text{sig} < 0.05$ ). Pour la détermination de la signification statistique de la corrélation, le lecteur peut consulter l'Annexe E.

Plus spécifiquement, la valeur obtenue pour  $r$  montre que la corrélation entre NavMod et NavExp est suffisamment importante pour accepter l'hypothèse. Donc, notre

réseau est un bon estimateur de la qualité de la Navigabilité. Cependant, entre NavMod et NavPer la corrélation est un peu moins forte mais demeure assez importante pour accepter l'hypothèse également pour la Navigabilité perçue.

		NavMod
<b>NavMod</b>	Pearson Correlation	1
	Sig. (2-tailed)	
	N	40
<b>NavExp</b>	Pearson Correlation	<b>.867(**)</b>
	Sig. (2-tailed)	<b>.000</b>
	N	40
<b>NavPer</b>	Pearson Correlation	<b>.749(**)</b>
	Sig. (2-tailed)	<b>.000</b>
	N	40

**\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).**

Tableau 26. Les corrélations de Pearson entre NavMod, NavPer et NavExp

Le graphe représentant les valeurs de la Navigabilité (NavMod, NavPer et NavExp) pour les 40 pages Web étudiées est montré dans la Figure 38. Il est bien clair que les variations vont dans le même sens pour les trois types de valeurs.

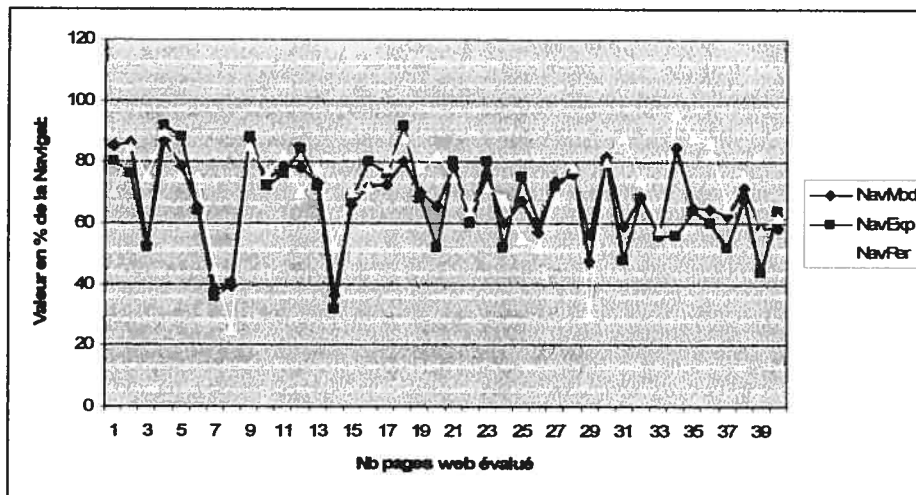


Figure 38. Représentation des valeurs obtenues pour NavMod, NavExp et NavPer.



Une explication possible au fait d'obtenir une meilleure corrélation de NavMod avec NavExp qu'avec NavPer, est que NavPer décrit l'impression rapide que l'utilisateur a en parcourant la page librement pour évaluer sa Navigabilité. Par contre, l'évaluation basée sur la tâche oblige l'utilisateur à réellement utiliser les facilités de navigation offertes par la page pour rechercher l'information demandée.

De plus, lors de l'évaluation basée sur la tâche, l'utilisateur est invité à répondre à plusieurs questions concernant une page donnée (Annexe C). Le fait de noter, par exemple, la facilité de reconnaître les liens déjà visités dans la page, la facilité d'accès à la page d'accueil à partir de la page à évaluer (s'il y a lieu) ou de comparer la similitude et l'organisation des éléments de navigation avec le commun des pages Web, etc., oblige l'utilisateur à explorer plus profondément les éléments de conception de la page et ainsi à mieux juger sa Navigabilité.

En conclusion, ces résultats nous permettent de confirmer que les critères d'entrée retenus sont des facteurs importants pour assurer la qualité de la Navigabilité. Le graphe construit et les probabilités telles qu'affectées aux nœuds du réseau permettent donc de dériver une estimation de la qualité de la Navigabilité qui est conforme avec l'évaluation expérimentée des utilisateurs.

#### **6.2.8.2 Évaluation partielle**

Comme pour le nœud *Navigabilite*, cette expérience nous permet aussi de valider les nœuds intermédiaires dans le RB construit. Ceci est possible avec les notes données par les évaluateurs aux autres questions posées. Ainsi, nous pouvons aussi trouver des corrélations entre les valeurs estimées par le RB, pour ces nœuds intermédiaires, et la moyenne des notes des utilisateurs suite à l'évaluation basée sur la tâche. Pour cela, considérons le cas de quelques nœuds intermédiaires.

##### *6.2.8.2.1 Cas du nœud Localiser*

Pour le nœud *Localiser*, les valeurs des probabilités obtenues après la mise en œuvre du RB sont recueillies. Les estimations de la qualité de ce nœud représentent la facilité à localiser l'information modélisée (LocMod). En effet, les éléments de conception qui peuvent se trouver dans une page Web et qui sont reconnus comme importants pour permettre à l'utilisateur de repérer l'information recherchée sont représentés dans le RB de la Navigabilité comme les sous-critères d'entrée du sous-réseau Localiser.

La question, portant sur la facilité à trouver l'information recherchée, est posée lors de l'évaluation basée sur la tâche. La moyenne des notes attribuées par les évaluateurs est calculée, c'est LocExp. Ainsi, il s'agit de trouver s'il existe une corrélation entre LocMod estimée à partir du sous-réseau de la facilité à localiser l'information et la facilité pour l'utilisateur de trouver l'information recherchée à partir de la page à évaluer (LocExp).

Le calcul de  $r$  montre aussi une corrélation forte et significative entre LocMod et LocExp qui est de l'ordre de 0,73263342. Le graphe obtenu à partir des valeurs trouvées pour la facilité de localisation de l'information pour les 40 pages évaluées est montré dans la Figure 39.

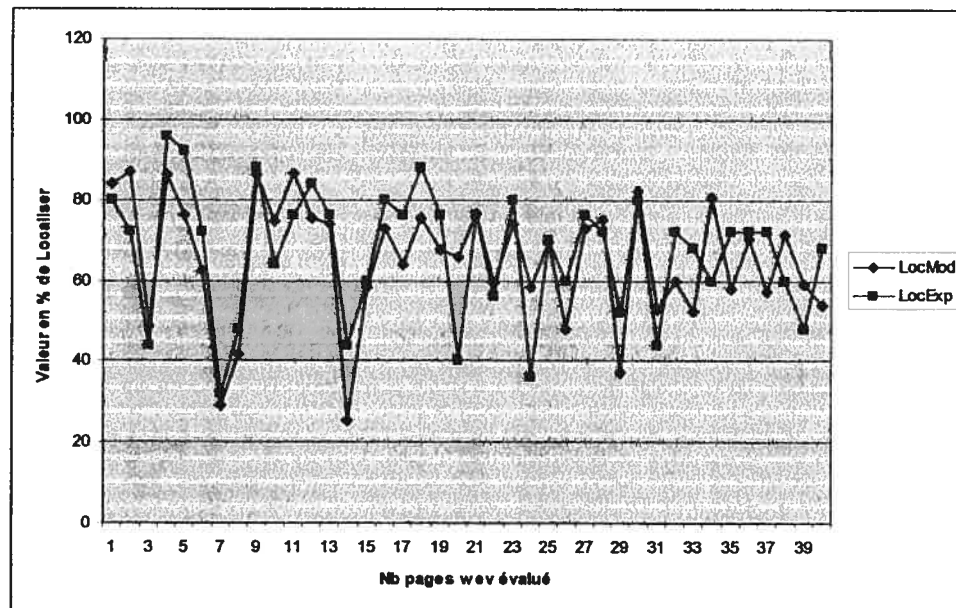


Figure 39. Représentations des valeurs obtenues pour LocMod et LocExp.

### 6.2.8.2.2 Cas du nœud SeLier

Pour le nœud *SeLier*, les valeurs des probabilités obtenues après la mise en œuvre du RB sont aussi recueillies. Les estimations de la qualité de ce nœud représentent la facilité de se lier à l'information modélisée (SeLierMod). Les éléments de conception qui peuvent se trouver dans une page Web et qui sont reconnus comme importants pour se lier à l'information recherchée sont représentés dans le RB de la Navigabilité comme les critères d'entrée du sous-réseau de la facilité de se lier à l'information.

La question sur la facilité de savoir où je vais aller (où le lien amène), est posée dans le but de trouver s'il existe une corrélation entre SeLierMod estimée à partir du sous-réseau correspondant et la facilité pour l'utilisateur de connaître sa destination à partir de la page à évaluer. La moyenne des notes attribuées par les évaluateurs est calculée, c'est SeLierExp. Ainsi, il s'agit de trouver s'il existe une corrélation entre SeLierMod estimée à partir du sous-réseau SeLier et la facilité pour l'utilisateur de se lier à l'information recherchée à partir de la page à évaluer (SeLierExp).

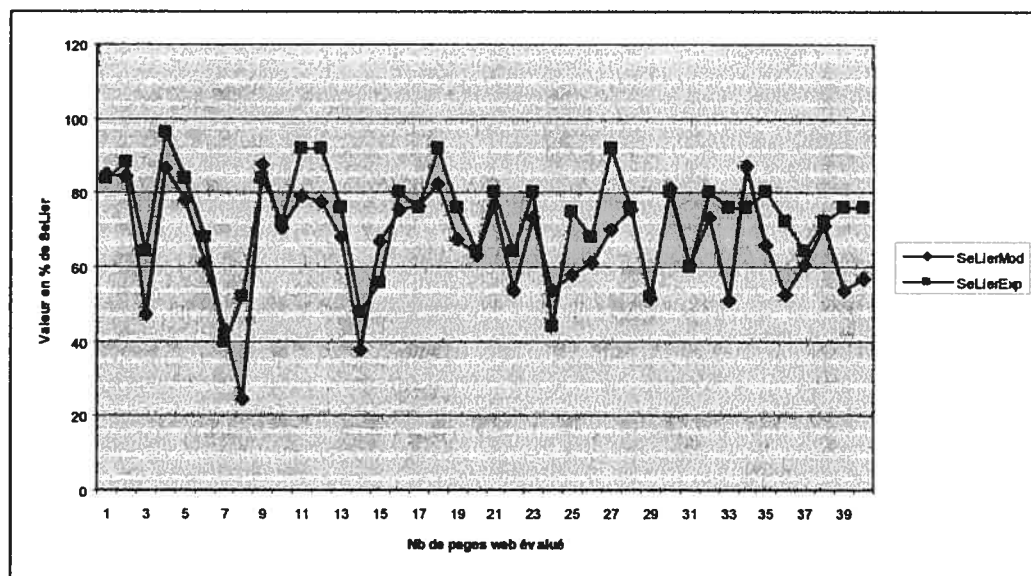


Figure 40. Représentations des valeurs obtenues pour SeLierMod et SeLierExp.

Le calcul de  $r$  montre, encore dans ce cas, une corrélation forte et significative entre  $SeLierMod$  et  $SeLierExp$  qui est de l'ordre de 0,7750103. Le graphe obtenu à partir des valeurs trouvées pour la facilité de se lier à l'information pour les 40 pages évaluées est montré dans la Figure 40.

#### 6.2.8.2.3 Cas du nœud *VitesseTelech*

Le calcul de la corrélation entre la vitesse de téléchargement effectif ou mesuré de la page Web (*VitesseTelech*) et la vitesse de téléchargement tel que perçu par l'utilisateur (*VitesseTelechExp*), nous donne une corrélation  $r$  de - 0,0002. Cette valeur de  $r$  est presque nulle, c.à.d. il n'y a pas de corrélation entre la vitesse de téléchargement effectif et le temps perçu par l'utilisateur. En effet, l'impression de l'utilisateur ne reflète pas le temps réel mesuré de téléchargement des pages. Ceci peut être expliqué par le fait que ce temps n'est pas vraiment perceptible par l'utilisateur dû à la vitesse actuelle des connexions Internet.

En conclusion, le Tableau 27 résume les valeurs de  $r$  obtenues entre les estimations de la qualité de plusieurs nœuds du RB de la Navigabilité et les résultats des évaluations par des utilisateurs lors de l'expérience. Le niveau de signification est élevé pour presque toutes les corrélations sauf celle concernant la vitesse de téléchargement de la page.

	NavMod	LocMod	SeLierMod	VitesseTelechMod
NavPer	0,749473			
NavExp	0,866913			
LocExp		0,732633		
SeLierExp			0,7750103	
VitesseTelechExp				- 0,0002

Tableau 27. Les corrélations entre les valeurs modélisées et évaluées.

#### 6.2.8.3 Autres résultats

En réponse à des questions, à la fin du dossier d'évaluation, nous avons eu quelques précisions supplémentaires sur le déroulement de l'expérience et l'avis des sujets

concernant la Navigabilité des pages sélectionnées. Ainsi, nous retenons les remarques suivantes :

- dans 50% des cas, les participants ont utilisé la fonction de recherche dans la page pour trouver l'information à rechercher ;
- dans 16% des cas il n'était pas clair si la page était une page d'accueil ou non ;
- pour reconnaître la page d'accueil, les utilisateurs observent d'abord le contenu, puis l'URL. Ensuite, ils examinent le schéma de navigation ;
- pour accéder à la page d'accueil, 85% des participants cherchent le lien vers *Home* ou cliquent sur le logo de l'application ;
- afin de retourner à la page à évaluer, une fois quittée, 55% des utilisateurs utilisent le bouton retour ;
- enfin, pour améliorer la navigabilité et aider à trouver l'information, ce sont les éléments de navigation (barres et menus) qui sont les plus populaires.

Dans tous les cas, ces résultats confirment nos choix des sous-critères et l'attribution des probabilités.

#### 6.2.8.4 Analyse qualitative

Il est possible aussi de faire une analyse qualitative des résultats. Il s'agit de comparer deux pages pour lesquelles nous avons obtenus une bonne et une faible estimation de la qualité de la conception de la navigabilité. Dans le Tableau 25 de la § 6.2.7 comparons, par exemple, les pages C et D (Figure 41 et Figure 42), ayant respectivement les valeurs 36,36% et 86,80% pour NavMod. L'estimation à partir du RB de la qualité de la conception de la navigabilité est donc médiocre pour la page C alors qu'elle est très bonne dans le cas de la page D. Les évaluations, basées sur la tâche, des sujets (NavExp) donnent sensiblement les mêmes résultats. En effet, à la différence de la page D, la page C n'a pas des éléments de navigation, ne présente pas d'indicateur de la position courante ni de mécanisme de recherche. Dans le cas des deux pages, la tâche consistait à trouver une rubrique particulière à laquelle on peut accéder à partir de la page.

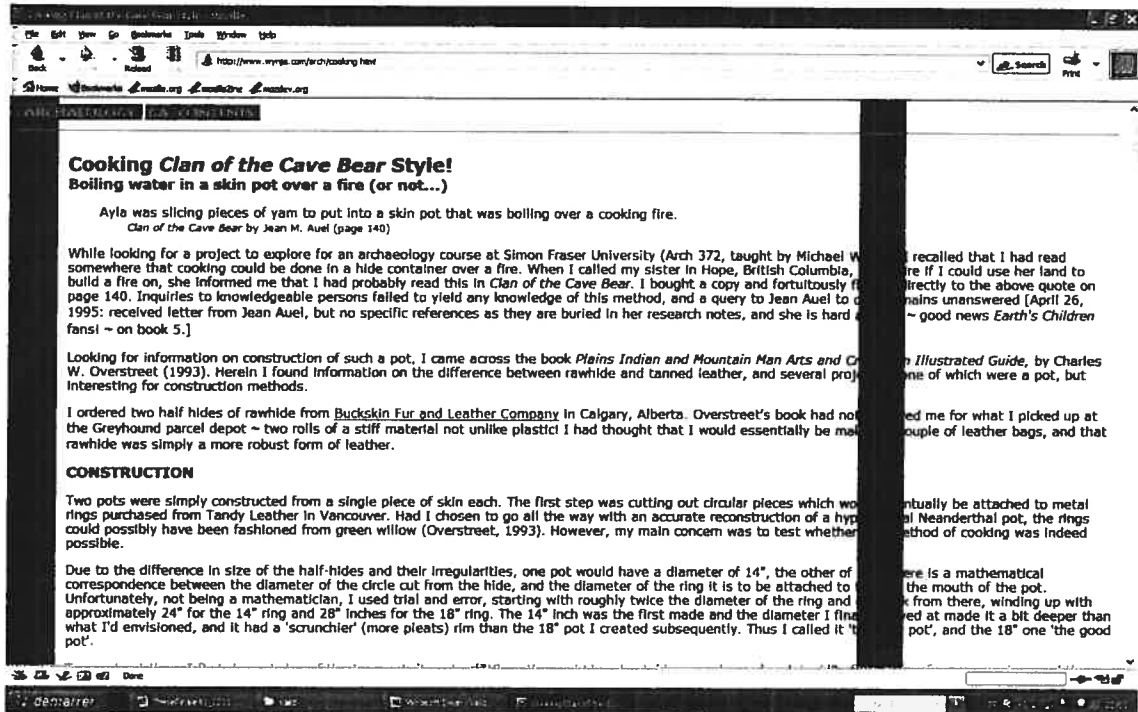


Figure 41. Copie d'écran de la page C (<http://www.wynja.com/arch/cooking.html/>).

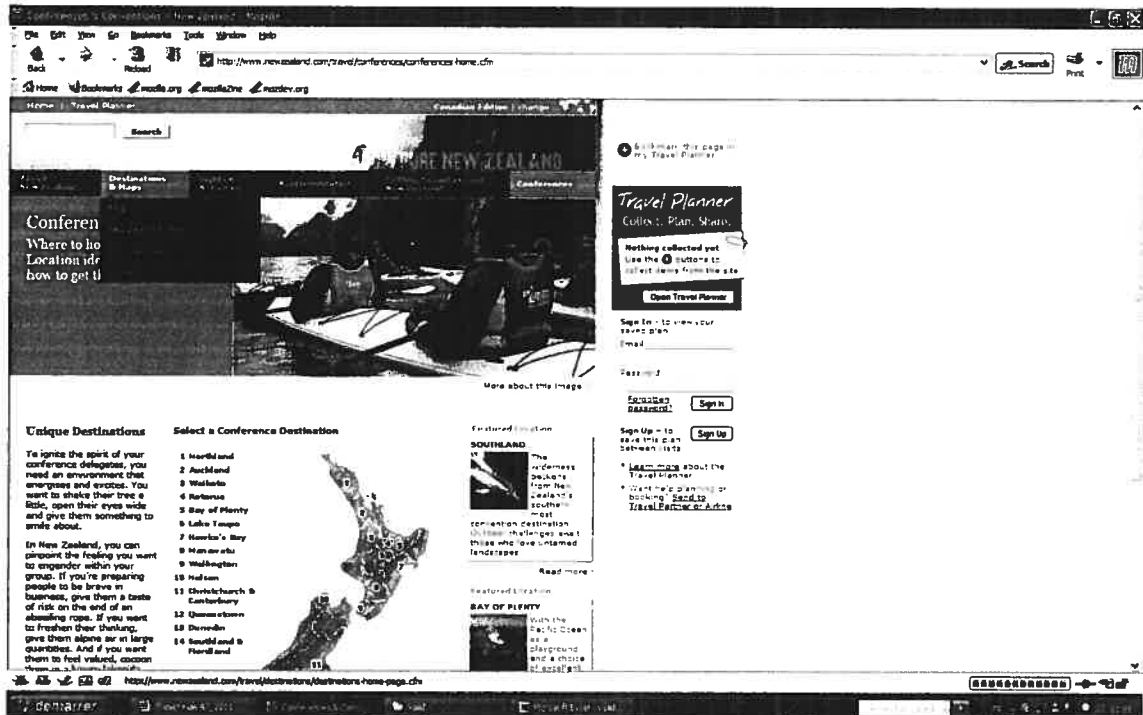


Figure 42. Copie d'écran de la page D (<http://www.newzealand.com/.../cfm/>)

La recherche d'une information dans la page C, peut se compliquer par l'absence d'un mécanisme de recherche. En l'absence des éléments de navigation, le retour à la page n'est possible que via le bouton retour. L'essai de retrouver la page à partir de Home est plus difficile vu l'absence d'un lien vers la page d'accueil. Ainsi 2 des 5 évaluateurs n'ont pas réussi à accomplir la tâche dans le cas de cette page. La plupart des notes pour les questions posées étaient de 2 sur 5.

### **6.2.9 Validité de l'évaluation**

Plusieurs biais peuvent compromettre la validité de n'importe quelle expérience contrôlée. Il en va de même pour l'expérience de validation de notre modèle de qualité. Ainsi, il était important d'effectuer plusieurs types de vérifications durant la phase de préparation de cette expérience (Wohlin 1999).

Des vérifications spécifiques permettent d'assurer une validité adéquate des résultats. En effet, quatre différents types de menaces à la validité sont rapportés par (Cook 1979) : interne, externe, de construction, et de conclusion. Face à ces menaces, plusieurs mesures sont prises pour éviter de compromettre cette validité.

#### **6.2.9.1 Validité interne**

Pour assurer la validité interne de l'expérience, il faut d'abord, s'assurer que si une corrélation existe entre les résultats du modèle et ceux de l'expérience, cette corrélation est causale et non pas le résultat d'un facteur non contrôlé ou que l'on n'a pas mesuré.

Pour cela, les sujets ont disposé d'une semaine pour faire l'évaluation et au moment qui leur convient afin d'éviter les circonstances particulières subies par les évaluateurs et qui peuvent affecter l'évaluation. En outre, les sujets sont des bénévoles et n'ont aucune motivation autre que celle de contribuer à cette recherche.

D'autres mesures sont prises pour éviter les menaces de maturation causées par la fatigue, l'ennui ou l'apprentissage. Chaque sujet a reçu la liste des pages dans un ordre différent. En effet, des ordres aléatoires sont générés pour tous les sujets en respectant la répartition des pages entre les groupes et la répartition du questionnaire en deux parties que sont les évaluations sans et avec tâche (Tableau 23).

De plus, il a été demandé aux sujets de commencer par l'évaluation des pages sans recherche de tâche, en premier, et ne pas y revenir une fois l'évaluation basée sur la tâche terminée pour éviter l'effet d'apprentissage.

Enfin, pour échapper aux menaces sociales affectant la validité interne, chaque sujet devait faire l'évaluation seul sans l'aide ou l'influence des autres sujets. Pour plus d'assurance, des dossiers contenant des listes de pages Web différentes sont distribués aux évaluateurs qui sont habitués à travailler dans le même local.

#### **6.2.9.2 Validité externe**

Tous les sujets sont des étudiants universitaires et ont une très bonne connaissance d'Internet. Or les utilisateurs de l'Internet ne se limitent pas aux étudiants, mais dans le cadre de cette recherche et pour des raisons de commodité, nous nous sommes limités à ce profil. Pour réduire ce type de menaces, les pages Web à évaluer sont choisis dans des domaines d'application très variés.

#### **6.2.9.3 Validité de construction**

Pour la validité de construction, ce sont les menaces concernant la conception de l'expérience qui sont en cause. Pour éviter le biais de la mono méthode, deux types de mesures sont conduits : le parcours rapide des pages puis l'observation basée sur la tâche.

En plus, des questions supplémentaires sont demandées aux évaluateurs à la fin de l'expérience afin de calibrer les différentes observations. L'échelle choisie et les questions posées sont semblables à ce qui est souvent utilisé dans ce type d'expérience. D'ailleurs, la



vérification de l'hypothèse de cette étude expérimentale justifie nos choix des mesures de la navigabilité tels les probabilités, la moyenne, les questionnaires, etc.

#### **6.2.9.4 Validité de conclusion**

Ce type de menaces concerne tout ce qui peut affecter la capacité de dériver une conclusion correcte. Or, pour ne pas biaiser l'expérience, les participants n'avaient aucune connaissance des sous-critères retenus, et leur évaluation est basée sur la définition générale de la conception de la navigabilité.

Le groupe de sujets est homogène. Ils sont tous des étudiants universitaires et ont tous une très bonne connaissance d'Internet. Tous ces sujets ont reçus les mêmes explications et les mêmes questions. Les questions posées sont très simples et sont expliquées lors du mini-tutorial. Ces précautions sont prises afin d'éviter une mauvaise compréhension qui peut amener à des conclusions erronées.

En outre, les quarante pages Web sont choisis dans tous les domaines d'applications et sont assez représentatives du Web. Les résultats obtenus pour ces pages peuvent être généralisés à l'ensemble des pages sur Internet.

## Chapitre 7

# Conclusion et perspectives

Cette thèse présente une proposition pour un modèle et une méthodologie d'évaluation quantitative de la qualité des applications Web. Cette recherche s'intéresse aux aspects non fonctionnels de la qualité tel que déterminés par ISO/IEC 9126. Le modèle de qualité proposé est basé sur une approche probabiliste utilisant les réseaux Bayésiens.

Dans ce travail, nous avons exploré un grand nombre de travaux de recherche sur la qualité des applications Web. Cette exploration nous a permis d'être informé sur les détails de l'évolution des études dans ce domaine et de rassembler les facteurs de qualité des applications Web, de point de vue de l'utilisateur, proposés par plusieurs équipes de recherche. Nous avons réalisé la tâche de comparer, de trier, d'éliminer la redondance, de choisir les critères pertinents et d'élaborer d'autres critères à partir des directives et des recommandations. Ce qui a abouti, dans un premier temps, à la construction d'un modèle de base de la qualité rassemblant les caractéristiques, les sous-caractéristiques, les critères et les sous-critères de la qualité des applications Web.

Dans un deuxième temps, nous avons effectué une étude critique des limitations de ce modèle de base, suivi d'une recherche des possibilités de présentation des modèles de qualité avec leurs avantages et leurs inconvénients. Les modèles graphiques basés sur les

approches probabilistes nous semblaient des méthodes intéressantes et efficaces capables de résoudre les problèmes rencontrés avec le modèle de base.

Nous avons choisi donc de construire un modèle de qualité basé sur une approche probabiliste utilisant les réseaux Bayésiens. La structure de graphe permet de représenter intuitivement les relations entre les critères. La définition des paramètres du réseau, basée sur les probabilités, permet de tenir compte des problèmes de subjectivité, d'imprécision et d'incertitude dans la mesure des facteurs de qualité des applications Web.

Par la suite, nous avons expliqué les étapes, de construction du RB de la qualité et de définition de ses paramètres, à travers des exemples précis. Une illustration complète de notre méthodologie d'évaluation est présentée pour un fragment de RB concernant la qualité de la conception de la navigabilité. Enfin, nous avons conduit une expérience contrôlée qui a montré que notre modèle est un bon estimateur de la qualité perçue par les utilisateurs.

Durant ce travail, un environnement qui implante notre méthodologie d'évaluation est développé. Cet environnement, mis à la disposition des développeurs, peut servir à une évaluation rapide la qualité d'une application donnée ou des sections de cette application, assez tôt durant son cycle de développement et autant de fois qu'il le faut.

Les développeurs des applications Web pourront ainsi, procéder à la correction des problèmes, à l'ajout ou la suppression d'éléments, sans avoir recours au processus d'évaluation habituel impliquant des panels d'évaluateurs. Ceci constitue un gain en temps et en organisation appréciable.

## **7.1 Contributions et limitations**

Dans le domaine de l'évaluation quantitative de la qualité des applications Web, cette thèse propose un modèle probabiliste qui constitue une bonne alternative aux modèles proposés dans la littérature. Notre modèle de qualité tient compte des spécificités des

applications Web. Il permet une estimation précise de cette qualité. De plus, au delà de l'identification des problèmes, le modèle proposé permet de pointer les éléments susceptibles d'améliorer la qualité évaluée. Les contributions de ce travail peuvent donc se résumer à :

- la recherche et la synthèse des facteurs de qualité spécifiques aux applications Web ;
- l'utilisation d'une approche probabiliste pour construire ce modèle de qualité. Ceci permet de tenir compte des problèmes de subjectivité des critères de qualité des applications Web, de l'imprécision dans les mesures du Web et surtout de l'incertitude dans le regroupement des critères. Notre modèle permet de représenter et de prendre en considération les relations entre les facteurs de qualité d'une façon intuitive et efficace puis, de faire des prévisions sur la qualité avec des scénarios facile à réaliser ;
- la proposition d'un modèle de qualité extensible et adaptable. Ce modèle permet d'évaluer un critère particulier, un critère majeur, une sous-caractéristique, une caractéristique ou la qualité en générale d'une application Web. Ceci peut se faire pour une page, pour plusieurs pages ou pour l'application en entier ;
- la construction d'un modèle évolutif. La possibilité d'apprentissage qu'offrent les réseaux Bayésiens, permet l'évolution du modèle par l'acquisition de nouvelles connaissances. Ce qui permet l'amélioration de la structure et des paramètres des fragments de RBs construits.

Par contre, le grand nombre de critères affectant la qualité des applications Web est un facteur limitant de notre modèle. En effet, avec un grand nombre de nœud, nous obtenons un réseau Bayésien complexe, difficile à manipuler et à mettre en œuvre. En outre, la définition des paramètres pour un tel réseau exige une grande expertise des effets des différents critères, de leurs interdépendances, en plus de la nécessité de les réajuster selon le domaine de l'application.

Cependant, nous avons la possibilité de travailler correctement avec les fragments de RB en considérant un facteur à la fois selon le cas ou de regrouper les fragments à

plusieurs niveaux. Ce qui peut faciliter significativement l'utilisation de notre modèle. Ayant construit les fragments de RBs et affecté les probabilités aux nœuds, l'environnement d'évaluation développé permet la mesure des critères sélectionnés pour le fragment en question.

## 7.2 Travaux futurs

Jusqu'à présent, pour développer notre modèle probabiliste de la qualité, nous avons étudié plusieurs critères majeurs de la qualité. Comme tous les critères sont importants dans la détermination de la qualité des applications Web, il est nécessaire d'étendre ce modèle à toutes les sous-caractéristiques et caractéristiques de la qualité selon ISO/IEC 9126. Une étude plus approfondie de la littérature permettra un regroupement plus extensif des critères de qualité de toutes les caractéristiques. Toutefois, il est toujours possible de travailler avec des fragments de RBs pour faciliter la manipulation des réseaux et pour faire des évaluations précises des facteurs importants de ces caractéristiques.

En outre, une évolution de l'environnement d'évaluation doit suivre pour supporter la mesure des critères de toutes les caractéristiques. De plus, le couplage des trois modules simplifiera significativement les mesures et les évaluations.

Enfin, l'exploitation des capacités d'apprentissage automatique, que les réseaux Bayésiens offrent, permettra l'évolution de notre modèle et l'amélioration de la précision des évaluations. Comme nous l'avons déjà vu, la construction d'un RB requiert la définition de la structure et des paramètres du réseau. En pratique, un tel travail repose sur l'avis des experts. Alors qu'actuellement, les résultats des algorithmes d'apprentissage sont de plus en plus utilisés dans la modélisation de la qualité pour remplacer les avis des experts.

Ainsi, l'acquisition de nouvelles valeurs, suite aux mesures et aux évaluations d'un grand nombre d'applications Web, produira les données nécessaires pour le processus

d'apprentissage. Il en résultera une amélioration de la structure de notre réseau et une meilleure attribution des paramètres aux différents nœuds du réseau.

## Bibliographie

- AGIMO (2004). Website Navigation: Better Practice Checklist. Guide available online at <http://www.agimo.gov.au/practice/delivery/checklists/navigation>. *Site of the Australian Government Information Management Office*.
- Albuquerque, A. B., Belchior, A.D. (2002). E-Commerce Websites: a Qualitative Evaluation. *In the 11<sup>th</sup> International World Wide Web Conference (WWW)*.
- Alexander, J., Tate, M.A., Ed. (1996). Checklist for an Informational Web Page. Retrieved June 24, 2003 from <http://www2.widener.edu/Wolfgram-Memorial-Library/Webevaluation/inform.htm>
- Baldi, P., Frasconi, P., Smyth, P. (2003). *Modéliser Internet et le Web : méthodes probabilistes et algorithmes*, Wiley.
- Basili, V. R., Caldiera, G., Rombach, H.D. (1994). "The Goal Question Metric Approach." White Paper. Available online at <http://www2.umassd.edu/SWPI/eseq/gqm.pdf>
- Belchior, A. D. (1997). *A Fuzzy Model to Software Quality Evaluation*. UFRJ/COPPE. Doctoral Thesis.
- Boldyreff, C., Gaskell, C., Marshall, A., Warren, P. (2000). WEB-SEM Project : Establishing Effective Web Site Evaluation Metrics. *In the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Web Site Evolution (WSE)*.

- Boldyreff, C., Tonella, P. (2004). Web Site Evolution. *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice*, vol.16 (1-4).
- Botafogo, R. A., Rivlin E., Schneiderman B. (1992). Structural Analysis of Hypertexts: Identifying Hierarchies and Useful Metrics. *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 10 (2), pp142-180.
- Brajnik, G. (2000). Automatic Web Usability Evaluation: Where is the Limit?. *In the 6th Conference on Human Factors & the Web*.
- Brajnik, G. (2001). Towards Valid Quality Models for Websites. *In the 7th Conference on Human Factors and the Web*.
- Bray, T. (1996). Measuring the Web. *In the Fifth International World Wide Web Conference (WWW)*.
- Brown, P. J. (1990). Assessing the Quality of Hypertext Documents. *European Conference on Hypertext*. Cambridge University Press.
- Calero, C., Ruiz, J., Piattini, M. (2004). A Web Metrics Survey Using WQM. *In the International Conference on Web Engineering (ICWE)*.
- Charland, F. (2006). WebQuality: Un Outil pour l'Évaluation de la Qualité des Applications Web. Département de Mathématiques et Informatique, Université du Québec à Trois-Rivieres. Mémoire de Maîtrise.
- Cook, T. D., Campbell, D.T. (1979). Quasi-Experimentation - Design and Analysis Issues for Field Settings. *Houghton Mifflin Company*.
- Dalton, S. (1996). A Workbench to Support Development and Maintenance of World Wide Web Documents. Department of Computer Science, University of Durham. MSc Thesis.



- Davis, F. D. J. (1985). A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information System: Theory and Result. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology. Doctoral Thesis.
- Deleuze, C. (2006). Some Points Affecting Web Performance. *Computer Networks*, Vol. 50, No 10, pp 1533-1546.
- Deshpand, Y., Murugesan, S., Ginige, A., Hansen, S., Schwabe, D., Gaedke, M., White, B. (2002). Web Engineering. *Journal of Web Engineering*, Vol. 1, No 1, pp 003-017.
- Dubois, D., Prade, H. (1993). Fuzzy Sets and Probability: Misunderstanding, Bridges and Gaps. *In the Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems*.
- Dujmovic, J. J. (1996). A Method for Evaluation and Selection of Complex Hardware and Software Systems. *In the 22nd International Conference for the Resource Management and Performance Evaluation of Enterprise Computing Systems*.
- Escalona, M. J., KOCH, N. (2004). Requirements Engineering for Web Applications – A Comparative Study. *Journal of Web Engineering*, Vol. 2, No 3, pp 193-212.
- Faraday, P. (2000). Visually critiquing Web pages. In the 6th Conference on Human Factors and the Web.
- Fenton, N. E., Krause, P., Neil, M. (2001). A Probabilistic Model for Software Defect Prediction. *IEEE Trans Software Eng.*
- Fenton, N. E., Pfleeger, S.L. (1996). *Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach* (2nd Edition), International Thomson Computer Press.
- Fishbein, M., Ajzen, I. (1975). *Belief, Attitude, Intention and Behaviour: An Introduction to Theory on Research*, Addison-Wesley.

- Genero, M., Ruiz, F., Piattini, M, Garcia, F., Calero, C. (2003). An Ontology for Software Measurement. In the 15<sup>th</sup> International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE).
- IBM. (2004). IBM Web accessibility checklist - version 3.5. Available online at <http://www-306.ibm.com/able/guidelines/Web/accessWeb.html>.
- IEEE2001. (2001). Web Publishing Guide. Available online at <http://www.ieee.org/Web/developers/style/>.
- ISO/IEC9126. (2003). Information technology - software product evaluation quality characteristics and guide lines for their use. Technical report, ISO/IEC IS 9126.
- Ivory, M. Y., Hearst, M.A. (2002). Towards Quality Checkers for Web Site Designs. *IEEE Internet Computing*, Vol 6, No 2 (Special Issue on Usability and the World Wide Web).
- Jensen, F. V. (2001). Bayesian Networks and Decisions Graphs. Springer-Verlag New York Inc.
- Kapoun, J. (1998). Five criteria for evaluating Web pages. Available online at <http://servercc.oakton.edu/~wittman/find/eval.htm>.
- Keevil, B. (1998). Scaling the Heights: The Future of Information Technology. *SIGDOC'98 Conference*.
- Kirakowski, J., Cierlik, B. (1998). Measuring the usability of Website. *HFES Annual Conference*.
- Klee, M., Schroeder, W. (2000). Report 2: How business goals affect site design. In *Designing Information-Rich Web sites. User Interface engineering*.

- Koyani, S. J., Bailey, R. W., Nall, J. R. . (2003). Research-Based Web Design & Usability Guidelines. from the National Institutes of Health. Available online at <http://usability.gov/pdfs/guidelines.html>.
- Lohse, G., Spiller, P. (1998). Electronic Shopping. *Communications of the ACM*, Vol. 41, No 7, pp 81-86.
- Lowe, D., Hall, W. (1999). *Hypermedia & the Web: An Engineering Approach*, John Wiley & Sons.
- Löwgren, J., Nordqvist, T. (1992). Knowledge-based evaluation as design support for graphical user interfaces. CHI'92, *In the Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 181-188, ACM Press.
- Mahajan, R., Shneiderman, B. (1996). Visual & textual consistency checking tools for graphical user interfaces. Technical Report CS-TR-3639, University of Maryland, College Park.
- Malak, G. (2002a). Évaluation de la Qualité des Applications Web. Département d'informatique, Université Laval. Mémoire de maîtrise.
- Malak, G., Badri, L., Badri, M., Belkhiter, N. (2002b). Web-Based Applications Quality: Evaluation and Perspectives. *In the International Conference on Internet Computing (IC)*.
- Malak, G., Badri L., Badri M., Sahraoui H. (2004). Towards a Multidimensional Model for Web- Based Applications Quality Assessment. *In the 5<sup>th</sup> International Conference E-Commerce and Web Technologies (EC-Web)*, LNCS 3182 Springer-Verlag.
- Martín, M., Olsina, L. (2003). Towards an Ontology for Software Metrics and Indicators as the Foundation for a Cataloging Web System. In the 1<sup>st</sup> Latin American Web Congress (LA-WEB).

- McGovern, G. (2001). *Web Content Style Guide: Navigation Design Principles*, Prentice Hall.
- Mich, L., Franch, M., Gaio, L. (2003). Evaluating and Designing Web Site Quality. *IEEE Multimedia*, Vol. 10, No 1, pp 34-43.
- Moraga, A., Calero, C., Piattini, M. (2006). Comparing different quality models for portals. *Online Information Review, Emerald Group Publishing Limited* Vol. 30, No 5, pp 555-568.
- Murugesan, S., Deshpande, Y., Hansen, S., Ginige, A. (2001). *Web Engineering: A New Discipline for Development of Web-Based Systems. Lecture Notes In Computer Science*, Springer-Verlag Vol. 2016, pp 3 - 13.
- Naïm, P., WUILLEMIN, P.H., Leray, P., Pourret, O., Becker, A. (2004). *Réseaux bayésiens*, Eyrolles.
- Neil, M., Fenton, N.E., Nielsen, L. (2000). Building large-scale Bayesian Networks. *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 15 No 3, pp 257-284.
- Netcraft. (2007). Netcraft survey. Available online at [http://news.netcraft.com/archives/2006/11/01/november\\_2006\\_Web\\_server\\_survey.html](http://news.netcraft.com/archives/2006/11/01/november_2006_Web_server_survey.html).
- Newman, M. W., Landay, J.A. (2000). Sitemaps, storyboards, and specifications: A sketch of Web site design practice. *In the Designing Interactive Systems (DIS), Automatic Support in Design and Use*, pp 263-274.
- Nielsen, J. (2000). *Designing Web Usability : The Practice of Simplicity*, New Riders Publishing.
- Nielsen, J., Mack, R. (1994). *Usability Inspection Methods*, John Wiley & Sons.

- Nielsen, J., Molich, R. (1990). Heuristic Evaluation of User Interfaces. *ACM SIGCHI Bulletin*, pp 249-256.
- Niessink, F. (2002). Software Requirements: Functional & Non-functional Software Requirements. Available online at [www.cs.uu.nl/docs/vakken/swa/20012002/Slides/SA-2Requirements.pdf](http://www.cs.uu.nl/docs/vakken/swa/20012002/Slides/SA-2Requirements.pdf).
- Nogier, J. F. (2005). Ergonomie du logiciel et design Web : Le manuel des interfaces utilisateur, 3<sup>ème</sup> édition, DUNOD.
- Offut, J. (2002). Quality Attributes of Web Software Applications. *IEEE SOFTWARE*, pp 25-32.
- Olsina, L., Lafuente, G., Rossi, G. (2001). Specifying Quality Characteristics and Attributes for Websites. *Web Engineering: Managing Diversity and Complexity of Web Application Development*. LNCS 2016 Springer-Verlag.
- Olsina, L., Martín, M. (2004). Ontology for Software Metrics and Indicators: Building Process and Decisions Taken. In the International Conference on Web Engineering (ICWE).
- Olsina, L., Rossi, G. (2002). Measuring Web Application Quality with WebQEM. *IEEE MultiMedia*, Vol. 9, No 4.
- Opquast. (2004). Quality Best Practices for Online Services. Available online at <http://en.opquast.com/bonnes-pratiques/>.
- Parush, A., Nadir, R., Shtub, A. (1998). Evaluating the layout of graphical user interface screens: Validation of a numerical, computerized model. *International Journal of Human Computer Interaction*, Vol. 10 No 4, pp 343-360.
- Pastor, O. (2002). Current Trends in Web Engineering – The Challenge of New Ideas. Business Briefing, *Data Management & Storage Technology*.

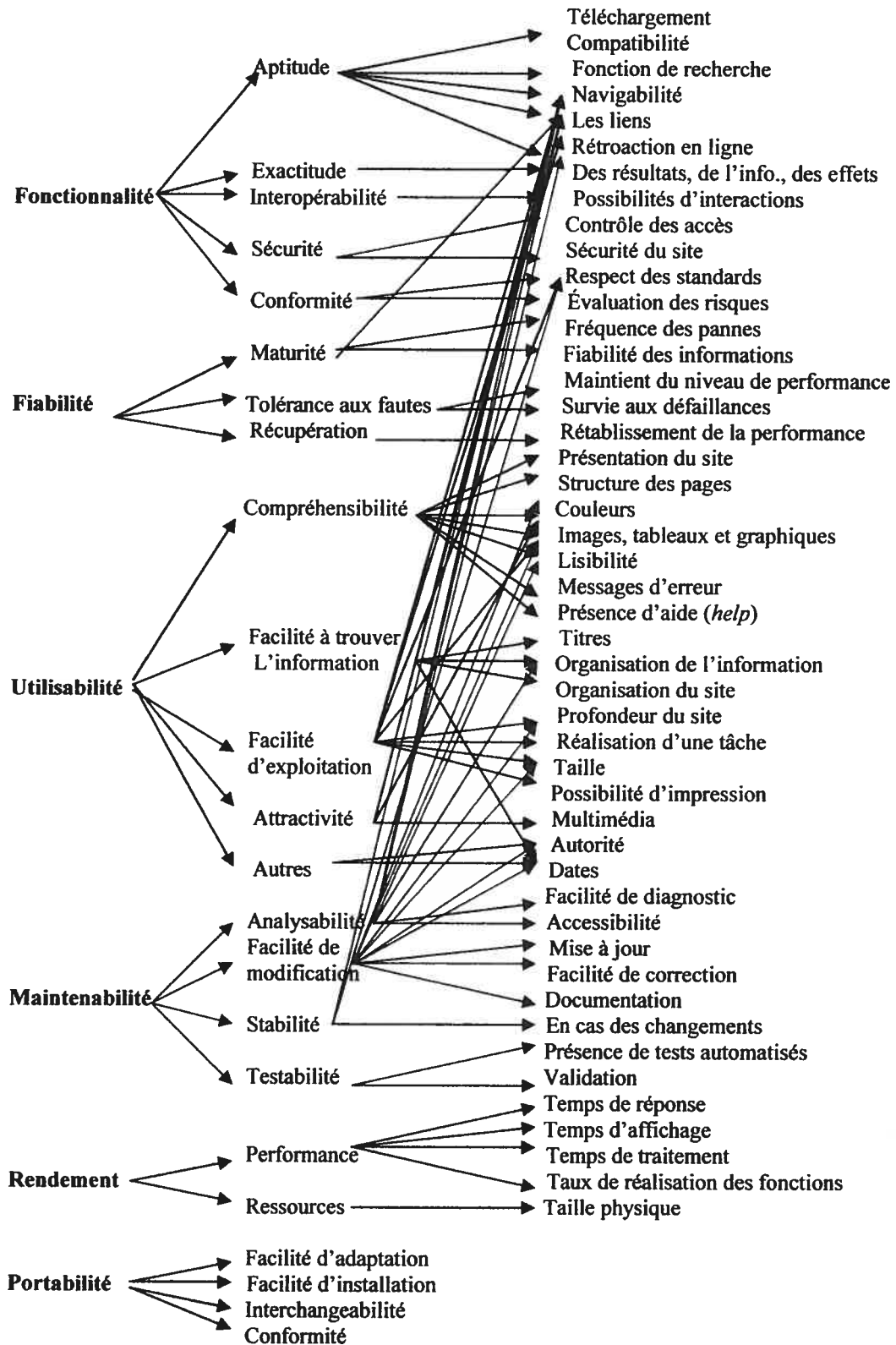
- Ramler, R., Weippl, E., Winterer, M., Shwinger, W., Altmann, J. (2002). A Quality-Driven Approach to Web Testing. In the Iberoamerican Conference on Web Engineering (ICWE), vol.1.
- Reiterer, H. (1994). A user interface design assistant approach. *In the IFIP 13<sup>th</sup> World Computer Congress*, Vol. 2. Elsevier Science Publishers.
- Rosenfeld, L., Morville, P. (1998). Information Architecture for the World Wide Web Designing Large-scale Web Sites. O'Reilly.
- Ruiz, J., Calero, C., Piattini, M. (2003). A three Dimensional Web Quality Model. *In the International Conference on Web Engineering (ICWE)*, LNCS 2722.
- Saba, H., de Freitas Jorge, E.M., Costa, V.F., de Barros Pereira, H.B. (2006). WEBTESTE: A STess Test Tool.: *In the 2<sup>nd</sup> International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST): Internet Technology / Web Interface and Applications*, INSTICC Press 2006.
- Sahraoui, H., Boukadoum, M., Chawiche, H. M., Mai, G. Serhani, M. A. (2002). A fuzzy logic framework to improve the performance and interpretation of rule-based quality prediction models for object-oriented software. *In the 26<sup>th</sup> Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*.
- Sawyer, P., Richard, D., Schroeder. W. (2000). Report 6: Myths of page layout. *In designing Information-Rich Web Sites*. Bradford, MA: User Interface Engineering.
- Sears, A. (1995). AIDE: A step toward metric-based interface development tools. *In the 8<sup>th</sup> Symposium on User Interface Software and Technology*. ACM Press.
- Shubert, P., Dettling W. (2002). Extended Web Assessment Method (EWAM) - Evaluation of Electronic Commerce Applications from the Customer's Viewpoint. *In the 35<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-35)*.

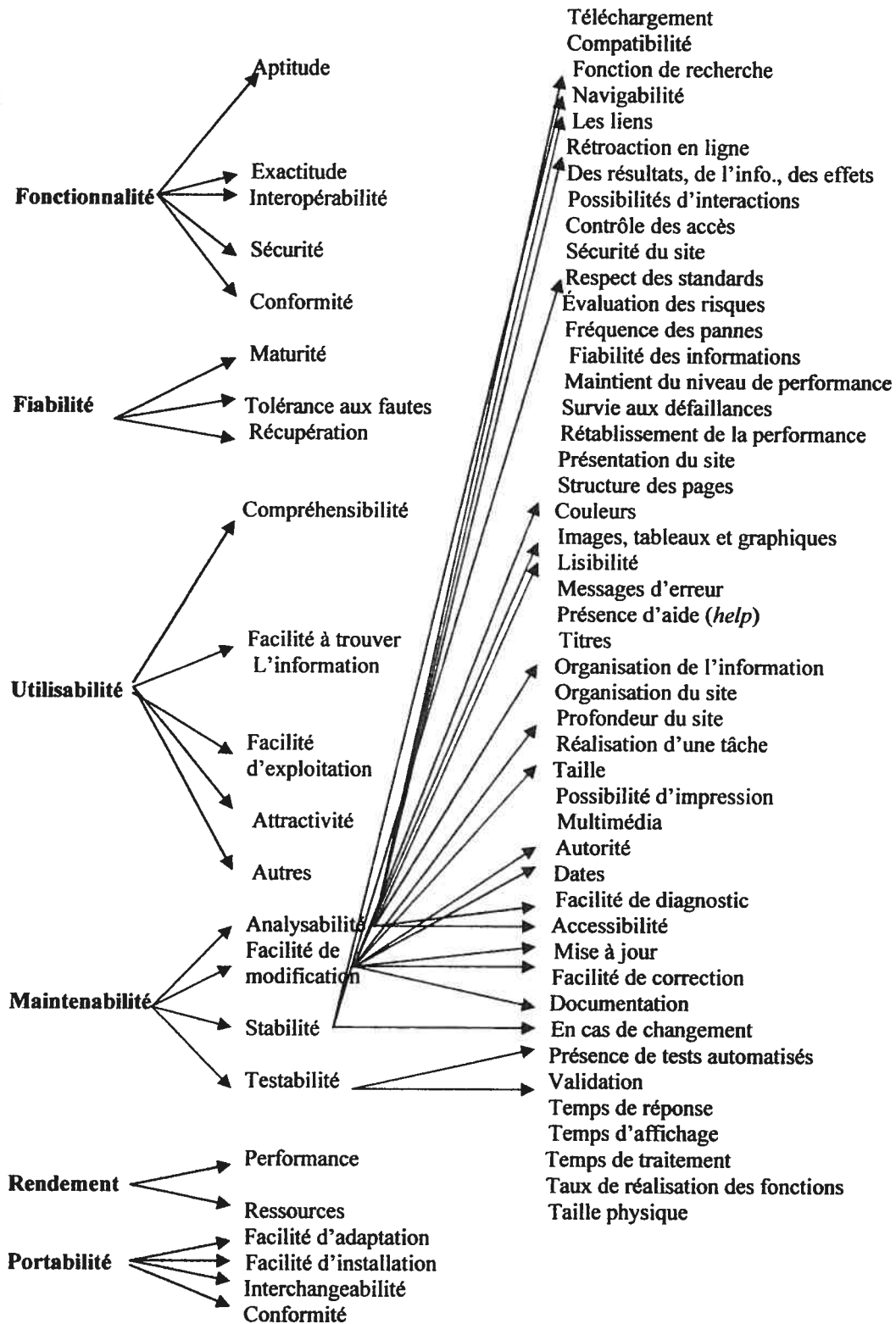
- Shum, S. (1996). The missing Link: Hypermedia Usability Research & the Web. *Interfaces*, British HCI Group Magazine.
- Trauwaert, E. (1988). On the meaning of Dunn's partition coefficient for fuzzy clusters. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.25, No 2, pp 217-242.
- W3C. (1999). Web Content Accessibility Guidelines 1.0. Available online at <http://www.w3.org/TR/WAI-WEBCONTENT/>.
- WDVL (2004) Designing for Navigation. Web Developers Digital Library. Available at <http://wdvl.internet.com/WebRef/Navigation/Design.html>
- Wohlin, C., Runeson, P., Host, M., Ohlsson, M.C., Regnell, B., Wesslén, A. (1999). Experimentation in Software Engineering: an Introduction, 1<sup>st</sup> edition. Kluwer Academic Publishers.
- Wu, Y., Offutt, J. (2002). Modeling and Testing Web-based Applications. GMU ISE Technical ISE-TR-02-08.
- Yip, M., Mendes, E. (2005). Web Usability Measurement: Comparing Logic Scoring Preference to Subjective Assessment. In the ICWE'05 Conference, Springer LNCS 3579.
- Zadeh, L. A. (1968). Probability Measures of Fuzzy Events. *Journal. Math. Anal. Appl.* Vol. 23, pp 421-427.
- Zhang, Y., Zhu, H., Greenwood, S. (2004). Website Complexity Metrics for Measuring Navigability. *In the Fourth International Conference on Quality Software (QSIC)*.
- Ziemer, S., Stalhane, T. (2006). Web Application Development and Quality - Observations from Interviews with Companies in Norway. In the Webist 2006, (WEBIST).

## **Annexe A**

### **Modèle de base de la qualité des applications Web**







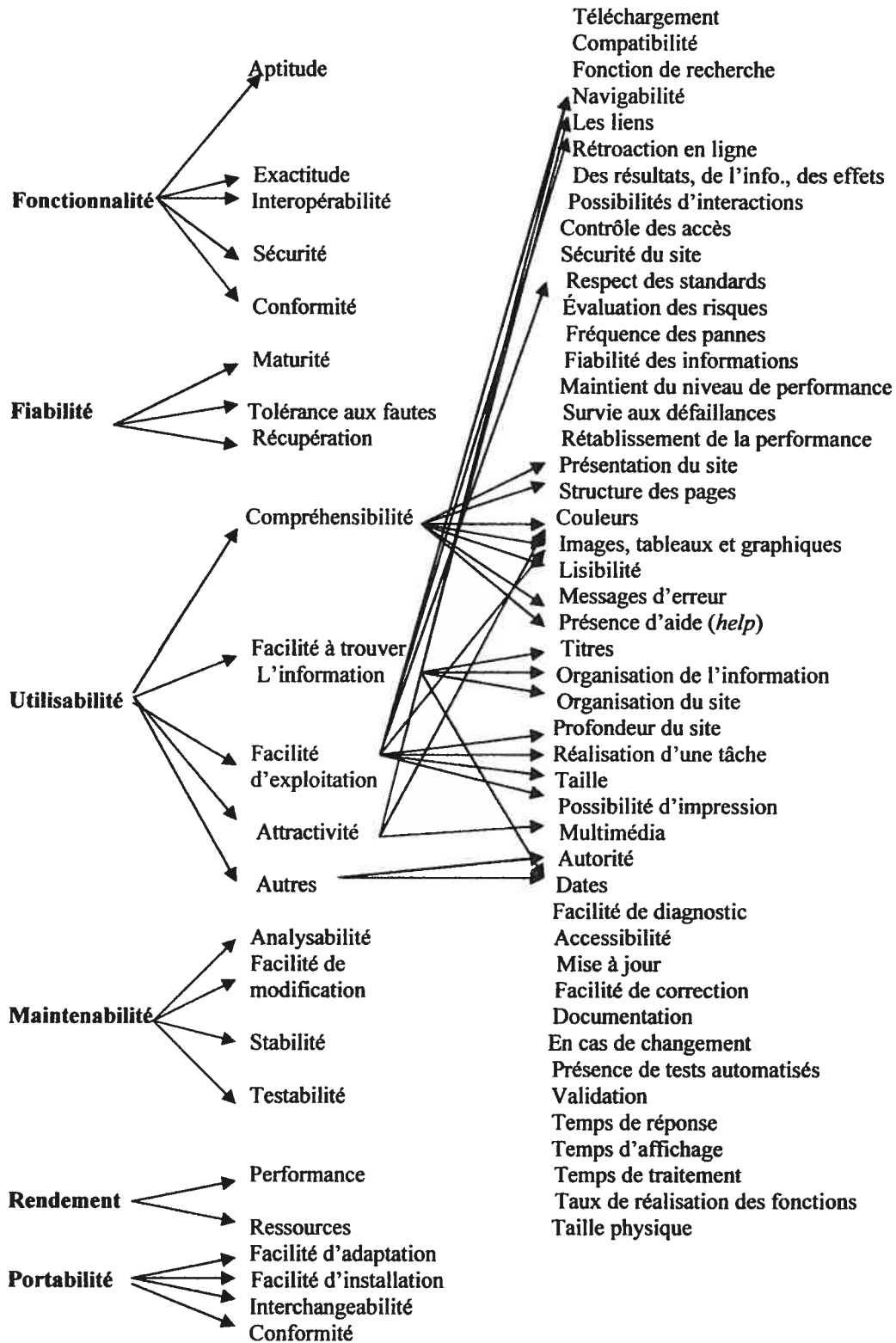


Figure A1. Modèle de base de la qualité

## **Annexe B**

**Les critères et sous-critères de l'utilisabilité après application de GQM**

**3. Utilisabilité :** capacité d'un site d'être compréhensible, présentant l'information pertinente, facile à exploiter et attractif pour l'utilisateur, quand il est utilisé dans des conditions spécifiées (ISO/IEC 9126), ou

- Effort requis pour utiliser un système, basé sur l'évaluation individuelle d'une telle utilisation par un ensemble indiqué et implicite d'utilisateurs; c'est l'absence de difficulté dans l'utilisation d'un système.
- Ensemble d'attributs correspondant à l'effort requis pour utiliser un logiciel, et à l'évaluation individuelle d'une telle utilisation, par un ensemble d'utilisateurs impliqués (ISO/IEC 9126)

**3.1 Facilité de compréhension :** capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de comprendre ce qui est approprié, et comment ce site peut être utilisé pour des tâches et des états particuliers (ISO/IEC 9126), ou

- Effort que doit faire l'utilisateur pour reconnaître la logique de la présentation et sa mise en œuvre.
- Lisibilité, clarté, démo, liste des E/S, reconnaissance des paramètres variables.
- Contextualisation (commun, variable, dépendance, justification, utilité, pertinence).

**3.1.1. Contextualisation :** capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de comprendre le contexte d'utilisation dans un domaine donné.

**3.1.1.1. Standardisation :** capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de comprendre les éléments communs entre les sites.

**3.1.1.1.1. Taux de menus standards utilisés :** nombre de menus standards utilisés par rapport au nombre total de menus dans le site.

**3.1.1.1.2. Taux d'icônes standards utilisés :** nombre d'icônes standards utilisés par rapport au nombre total d'icônes dans le site.

**3.1.1.1.3. Taux de pictogrammes standards utilisés :** nombre de pictogrammes standards utilisés par rapport au nombre total de pictogrammes dans le site.

**3.1.1.1.4. Taux de commandes standards utilisés :** nombre de commandes standards (ayant un format uniforme basé sur le sens commun et les règles de compréhensibilité) utilisés par rapport au nombre total de commandes dans le site.

**3.1.1.1.5. Taux de liens standards utilisés :** nombre de liens standards utilisés par rapport au nombre total de liens dans le site.

**3.1.1.1.6. Messages d'erreur (Messages en général)**

- 3.1.1.1.6.1. **Clarté des messages** : proportion de messages dans lesquels la cause et l'action correspondante sont clairement identifiées par l'utilisateur qui a reçu ces messages.
  - 3.1.1.1.6.2. **Longueur moyenne d'un message** : nombre de mots constituant le message doit être inférieur à une limite donnée.
  - 3.1.1.1.6.3. **Consistance des termes du message** : proportion de termes de messages qui sont standardisés.
- 3.1.1.2. **Variabilité** : capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de localiser et d'identifier les différences avec les autres sites.
- 3.1.1.2.1. **Taux de pages ayant le nom du site** : nombre de pages contenant le nom du site par rapport au nombre total de pages dans le site.
  - 3.1.1.2.2. **Taux de pages ayant le logo du site** : nombre de pages contenant le logo du site par rapport au nombre total de pages dans le site.
  - 3.1.1.2.3. **Taux de pages ayant le même style visuel** : nombre de pages du site ayant le même style visuel par rapport au nombre total de pages dans le site.
  - 3.1.1.2.4. **Présence d'un signe pour les sites sécurisés** : les sites sécurisés doivent comporter un signe spécial standard et reconnu par l'utilisateur indiquant que le site est sécurisé. On peut vérifier outre la présence de ce signe, qu'il est bien placé dans un endroit bien visible et peut être clairement identifié par l'utilisateur.
- 3.1.1.3. **Dépendances** : capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de comprendre les exigences dont il a besoin pour offrir ses services.
- 3.1.1.3.1. **Dépendances contextuelles** : capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de tenir compte des besoins contextuels nécessaires à son utilisation, taux de connexion avec les bases de données.
  - 3.1.1.3.2. **Dépendances architecturale** : capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de tenir compte du style architectural utilisé.

- 3.1.1.3.2.1. L'architecture de l'information est appropriée au contenu (échelle).
- 3.1.1.3.2.2. Le découpage de l'information va du général au particulier (échelle).
- 3.1.1.3.2.3. L'architecture du site reflète la perspective de l'utilisateur (échelle).
- 3.1.1.3.3. Dépendances technologiques : capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de tenir compte des besoins technologiques nécessaires à son utilisation.**
  - 3.1.1.3.3.1. Nombre de logiciels dont le site en dépend : ce nombre doit être limité, sinon l'utilisabilité du site sera affectée.
  - 3.1.1.3.3.2. Taux de disponibilité de ces logiciels dans le site : nombre de logiciels disponibles par rapport au nombre total de logiciels dont le site en dépend (disponibilité et explication pour le téléchargement de ces logiciels si besoin).
  - 3.1.1.3.3.3. ces logiciels sont-ils bien indiqués (échelle : mal, bien, très bien, etc.) : ces logiciels doivent être clairement indiqués dans le site. Il faudra les retrouver quand c'est nécessaire avec les indications appropriés pour leur utilisation.

**3.1.2. Justifiabilité : capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de justifier son utilisation dans un contexte donné.**

- 3.1.2.1. Disponibilité de l'information recherchée.
- 3.1.2.2. Pertinence de l'information présentée.
- 3.1.2.3. Présence de références : suffisant, faible, moyen...
- 3.1.2.4. Présence d'exemples : suffisant, faible, moyen...
- 3.1.2.5. Présence d'un glossaire (oui, non).
- 3.1.2.6. Présence de démo (oui, non).
- 3.1.2.7. Présence d'aide (help) (complétude, échelle).
- 3.1.2.8. Présence de la documentation (oui, non).

**3.1.3. Présences des Dates**

- 3.1.3.1. De la première création (échelle : mal indiqué, etc.)
- 3.1.3.2. De publication sur le Web (échelle : mal indiqué, etc.)
- 3.1.3.3. D'expiration (échelle : mal indiqué, etc.)
- 3.1.3.4. De dernière mise à jour (échelle : mal indiqué, etc.)
- 3.1.3.5. Format de la date selon ISO 8601.

**3.1.4. Qualité du langage**

- 3.1.4.1. Simple.
- 3.1.4.2. Consistant.
- 3.1.4.3. Bref.
- 3.1.4.4. Informatif.
- 3.1.4.5. Taux de mauvaises expressions : nombre des mauvaises expressions par rapport à la totalité du texte.
- 3.1.4.6. Taux des abréviations : proportion des abréviations dans le texte.
- 3.1.4.7. Orthographe correcte (mesure automatique).
- 3.1.4.8. Grammaire correcte (taux) : proportion de fautes dans le texte.

**3.1.5. Lisibilité : capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de la comprendre facilement (Formule).****3.1.5.1. Clarté : capacité d'un site d'offrir des informations claires en évitant la complexité ou la mauvaise compréhension (Formule).**

- 3.1.5.1.1. **Pas de phrases en lettre capitales** (taux) : proportion de phrases en lettres capitales
- 3.1.5.1.2. Nombre de police différentes utilisées < 4 (mesure automatique).
- 3.1.5.1.3. **taille des caractères en général 12, minimum 10** (taux) : proportion du texte ayant une police différente.
- 3.1.5.1.4. **Utilisation des couleurs, maximum 6 par page** (taux) : nombre de couleurs différentes utilisées par rapport au nombre de couleurs maximum souhaité.
- 3.1.5.1.5. **Absence de clignotement** : chaque élément clignotant peut affecter l'utilisabilité du site (échelle).
- 3.1.5.1.6. **Contraste texte-fond supérieur à 66%** (mesure automatique) : la valeur 66% n'est pas la même selon les auteurs.
- 3.1.5.1.7. **Utilisation des couleurs claires pour le fond.** Plus la couleur du fond est foncée, plus l'utilisabilité est diminuée (échelle).
- 3.1.5.1.8. **Les images, tables et graphes sont entièrement visibles à l'écran** (taux) : proportion de figures entièrement visibles à l'écran.
- 3.1.5.1.9. **Chaque image a un titre** (Formule) :  
 $X = 100 - (100 * AAR/TAR)$  (AAL : Absent Alt Reference, TAR : Total Alt reference).
- 3.1.5.1.10. **Présence à l'écran, d'un texte alternatif aux figures** (taux) : proportion de figures ayant un texte alternatif.



**3.1.5.2. Concision :** capacité d'un site de donner l'information avec le minimum de phrases, spécifique et modelée sans redondance, contenant seulement l'essentiel.

**3.1.5.2.1. Nombre de mots par phrase :** nombre moyen de mots dans une phrase (mesure automatique).

**3.1.5.2.2. Taux de mots non familiers :** proportion de mots non familiers dans le texte (selon le dictionnaire standard) (pourcentage).

**3.1.5.2.3. Contenu informationnel de l'ordre de 50 à 80% (taux) :** proportion du contenu informationnel d'une page (échelle).

**3.1.5.3. Uniformité du style :** Capacité d'un site d'utiliser les ressources qui facilitent la compréhension comme l'indentation, les commentaires appropriés et les identifications standardisées.

**3.1.5.3.1. Subdivision en sections et paragraphes :** les sections sont bien indiquées, les paragraphes sont courts et correctement séparés... mesure subjective).

**3.1.5.3.2. Soulignement réservé aux liens hypertexte (taux) :** proportion des phrases soulignés et qui ne font pas partie de liens hypertextes.

**3.1.5.3.3. Contenus différents des différentes sections (taux) :** proportion de sections ayant des contenus semblables.

**3.1.5.4. Uniformité de la terminologie :** capacité d'un site d'utiliser une terminologie uniforme pour nommer les entités comme les paragraphes, les fichiers, etc. (taux).

**3.1.5.5. Uniformité de l'abstraction :** capacité d'un site de fournir l'information à un niveau uniforme de détail à n'importe quel niveau le l'application (taux).

**3.2. Facilité à trouver l'information :** Capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de trouver facilement l'information recherchée.

- Effort que doit faire l'utilisateur pour trouver l'information recherchée.
- Temps et effort moyen, manuel, fonctions d'apprentissage, aide, taux d'erreur.
- Contenu orienté utilisateur, aide disponible.

**3.2.1. Accessibilité à l'information :** Capacité d'un site de permettre à l'utilisateur de le localiser facilement l'information, de l'identifier et d'y accéder.

**3.2.1.1. Identification de l'information :** capacité d'un site de permettre à l'utilisateur d'identifier l'information d'une façon unique et sans ambiguïté.

**3.2.1.1.1.** L'information importante se trouve au premier plan.

**3.2.1.1.2.** Profondeur du site (nombre de clics nécessaire pour trouver une information spécifique).

**3.2.1.1.3.** L'information suit le parcours intuitif de l'utilisateur.

**3.2.1.1.4.** Présence d'une rubrique « Quoi de neuf ».

**3.2.1.1.5.** Présence d'un plan de site (ou carte de site).

**3.2.1.1.6.** Facilité d'accès au plan du site (temps nécessaire).

**3.2.1.1.7.** Présence de 2 ou 3 haut niveaux de titres (nombre de niveaux... échelle).

**3.2.1.1.8.** Taux d'acronymes : leur proportion dans le texte.

**3.2.1.2. Qualité des titres**

**3.2.1.2.1.** Significatifs ou descriptifs.

**3.2.1.2.2.** Explicite.

**3.2.1.2.3.** Uniques.

**3.2.1.2.4.** Courts (<25 caractères) (nombre de caractères).

**3.2.1.2.5.** Chaque page a un titre (mesure automatique).

**3.2.2. Organisation de la page :**

**3.2.2.1. Identification de la page :** capacité du site de permettre à l'utilisateur d'identifier une page donnée d'une façon unique et sans ambiguïté.

**3.2.2.1.1.** La page d'accueil peut être vu sur un écran : proportion de la page d'accueil visible sur un seul écran.

**3.2.2.1.2.** Les pages sont courtes (nombre de lignes) comparaison à une longueur standard.

**3.2.2.2. Présence de liens hypertextes**

**3.2.2.2.1.** Vers les informations pertinentes : proportion de liens vers les informations pertinentes.

**3.2.2.2.2.** Vers la page d'accueil (mesure automatique).

**3.2.2.2.3.** Vers l'intérieur du site : proportion de liens vers l'intérieur du site.

- 3.2.2.2.4. Vers la même page (mesure automatique).
- 3.2.2.2.5. Pour structurer le contenu : proportion de liens nécessaires pour structurer le contenu.
- 3.2.2.2.6. Nombre de liens par page (mesure automatique).
- 3.2.2.2.7. Distinction entre liens internes et externes au site.
- 3.2.2.2.8. Validité des liens externes (mesure automatique).

**3.2.3. Contenu orienté-utilisateur : capacité d'un site d'offrir un contenu répondant aux besoins de l'utilisateur.**

- 3.2.3.1. Présence d'index (entrées par ordre alphabétique).
- 3.2.3.2. Présence d'un mécanisme de recherche dans le cas des grands sites ? (pour un site de plus que 50 pages).
- 3.2.3.3. Toutes les pages du site sont liées à la page d'accueil : proportion de pages liées à la page d'accueil.

**3.2.4. Disponibilité de l'aide en ligne : capacité d'une application de rendre disponible les informations d'aide à l'utilisateur. (temporairement, en permanence, ...)**

**3.2.5. Support de l'utilisateur : capacité d'une application de permettre un service de support technique à l'utilisateur.**

**3.3. Facilité d'exploitation : capacité d'une application de permettre à l'utilisateur de l'exploiter et de la contrôler (ISO/IEC 9126).**

- Effort que doit faire l'utilisateur pour opérer et contrôler l'opération
- Temps et facilité d'installation, uniformité des commandes, consistance et clarté des messages,...
- Facilité de manipulation (artefacts, style, traçabilité), contrôlabilité...

**3.3.1. Facilité de manipulation : capacité d'une application de permettre à l'utilisateur de localiser et d'extraire l'information recherchée.**

**3.3.1.1. Disponibilité d'artefacts : Capacité d'une application de fournir à l'utilisateur des artefacts (mécanismes) prêts à être utiliser quand c'est nécessaire.**

- 3.3.1.1.1. Présence d'un FAQ.
- 3.3.1.1.2. Utilisation des fichiers PDF pour les documents longs.
- 3.3.1.1.3. Utilisation d'une palette de couleurs réduite (256).
- 3.3.1.1.4. Facilité de retour à la page précédente (undo).
- 3.3.1.1.5. Présence d'un mécanisme *auto-refresh* (mesure automatique).
- 3.3.1.1.6. Tolérance aux erreurs de manipulation.

**3.3.1.1.7. Impression**

**3.3.1.1.7.1.** Présence de version imprimable.

**3.3.1.1.7.2.** Possibilité d'impression du texte et des graphiques.

**3.3.1.1.7.3.** Possibilité d'impression sur papier A4 et US lettre.

**3.3.1.2. Traçabilité :** Capacité d'une application de permettre à l'utilisateur de suivre (retracer) ces artefacts, facilitant ainsi la recherche de l'information parmi les différentes représentations.

**3.3.2. Facilité de contrôle :** Capacité d'une application de permettre à l'utilisateur de contrôler le flux d'information, les opérations d'usage de l'interface, et le comportement.

**3.3.2.1. Les images et les graphiques**

**3.3.2.1.1.** Utilisation des tailles relatives pour les images (mesure automatique).

**3.3.2.1.2.** Les paramètres H et W des images sont inclus (mesure automatique).

**3.3.2.1.3. Format des images gif ou jpeg :** proportion d'images ayant le format gif ou jpeg.

**3.3.2.1.4. Utilisation des images comme liens :** proportion d'images utilisées comme liens.

**3.3.2.1.5.** Liens des images disponibles en format texte (mesure automatique).

**3.3.2.1.6. Nombre de figures / page (temps d'affichage) :** nombre de figures par page et son effet sur le temps de téléchargement.

**3.3.2.1.7. Présence de figures dans les pages de recherche :** nombre de figures par page et son effet sur le temps de téléchargement.

**3.3.2.2. La taille**

**3.3.2.2.1.** Des fichiers : inférieure à une limite qui peut affecter l'exploitation du site.

**3.3.2.2.2.** Des tableaux : inférieure à une limite qui peut affecter l'exploitation du site.

**3.3.2.2.3.** Des graphiques : inférieure à une limite qui peut affecter l'exploitation du site.

3.3.2.2.4. De la page : (formule, Olsina)  

$$X = ((X1 - 0.4X2 - 0.8X3) / (X1 + X2 + X3)) * 100$$

3.3.2.2.5. Du site

### 3.3.2.3. L'opération

3.3.2.3.1. Temps requis pour la réalisation d'une tâche.

3.3.2.3.2. Rapidité du téléchargement d'une page (temps).

3.3.2.3.3. Rapidité d'affichage de la page d'accueil (temps).

3.3.2.3.4. Absence de pages orphelins ou cul-de-sac (taux) :  
 proportion des pages orphelins.

3.3.2.3.5. Utilisation des couleurs ou du multimédia pour faciliter  
 ou contrôler l'exploitation du site (pertinence, échelle).

3.3.2.3.6. Roulement vertical (2 écrans au maximum).

3.3.2.3.7. Roulement horizontal : proportion de pages nécessitant  
 un roulement horizontal, et de combien (envergure du  
 roulement).

**3.3.3. Consistance de la présentation :** c'est la stabilité de la localisation des  
 composants d'une page dans et à travers toutes les pages du site. Ceci  
 permettra une apparence et une perception commune à toutes les pages  
 d'un site.

3.3.3.1. Les entrées / sorties sont bien indiquées, toujours à la même  
 place (échelle).

3.3.3.2. Les éléments de contrôle sont stables : taux de stabilité.

3.3.3.3. Le nombre des éléments de contrôle est limité (nombre <  
 max) : entre 5 à 9.

3.3.3.4. Le degré de cohésion des éléments de contrôle.

### 3.3.4. Propriétés des liens facilitant l'utilisation du site

3.3.4.1. Le lien vers la page affichée doit rester inactif.

3.3.4.2. Possibilité de retour à la page d'accueil ou à une page  
 particulière.

3.3.4.3. La couleur d'un lien change si le lien est visité.

3.3.4.4. La couleur par défaut est celui de Windows.

### 3.3.5. Propriétés des URLs

3.3.5.1. Significatifs et concis.

3.3.5.2. Formées par des mots courants : taux de mots courants par  
 rapport aux mots composants l'adresse URL.

3.3.5.3. Sans caractères accentués ou des espaces : taux de caractères  
 accentués par rapport aux mots composants l'adresse URL.

3.3.5.4. Relatives (si local au site).

3.3.5.5. Comportent un « / » final.

**3.3.6. Présence de cadre dans la page (mesure automatique)**

**3.3.6.1.** Si présent, nombre de cadres doit être limité.

**3.3.6.2.** Nombre de panneaux limité (<4) (Échelle).

**3.3.7. Facilité de se repérer :** Capacité de l'utilisateur qui n'a jamais vu le site ou qui y revient, d'en comprendre rapidement le fonctionnement, et se repérer efficacement dans le site.

**3.3.7.1.** Taux des fonctions de reconnaissances.

**3.3.7.2.** Taux des fonctions d'utilisation.

**3.3.8. Affabilité (Amabilité) :** Capacité d'une application de permettre à l'utilisateur de l'utiliser facilement.**3.3.8.1. Comportement uniforme :** Capacité d'une application d'offrir des services qui se comportent toujours de la même façon, toujours compréhensibles et familiers à l'utilisateur.

**3.3.8.1.1.** Utilisation des CSS ?

**3.3.8.1.2.** Disponibilité ou permanence du site (taux)

**3.3.8.2. Interface uniforme :** Capacité d'une application de permettre à l'utilisateur d'utiliser seulement des interfaces standardisées (taux).**3.4. Attractivité :** Capacité d'une application d'être attractive à l'utilisateur, tel que l'utilisation des couleurs et la nature du design graphique (ISO/IEC 9126).

- Impression de l'utilisateur vis à vis du site résultante d'une combinaison du contenu et des caractéristiques.
- Jugement de l'utilisateur.
- Comportement uniforme, Interface uniforme.

**3.4.1. Esthétique :** C'est la présentation visuelle de la page. Elle peut être influencée par les différences culturelles comme la signification de certaines couleurs, l'utilisation de graphiques (drapeaux ou symboles), ou l'organisation textuelle (de gauche à droite ou de haut en bas,...).

**3.4.1.1.** Graphisme (subjectif).

**3.4.1.2.** Utilisation de fonds texturés ou avec des motifs : proportion de fonds texturés ou avec des motifs.

**3.4.1.3.** Présence de multimédia : taux de multimédia / contenu du site.

**3.4.1.4.** Présence d'animations : taux d'animations / contenu du site.

**3.4.1.5.** Espaces blanches : taux d'espace blanche / contenu du site.

**3.4.1.6.** Satisfaction subjective de l'utilisateur (métrique).

**3.4.2. Informations supplémentaires**

- 3.4.2.1. Présence d'un répertoire d'adresse (e-mail, tel...).
- 3.4.2.2. Présence d'un compteur (popularité) (mesure automatique).
- 3.4.2.3. Location géographique du site : pays, tel....
- 3.4.2.4. Marque de commerce (droits réservés).
- 3.4.2.5. Présence de support de langues étrangères (Échelle.) :  
 $X = 30 * \sum Si.Ni$      $Si$  = support : minimal, moyen, ...  
 $Ni$  = nombre de langues étrangères supportées.
- 3.4.2.6. Présence d'éléments cachés (mesure automatique).
- 3.4.2.7. Présence d'un indicateur de résolution de l'écran.

**3.4.3. Possibilité de personnalisation**

- 3.4.3.1. Le type d'information : taux d'information qui peut être personnalisé.
- 3.4.3.2. Les couleurs préférées : proportion de couleurs qu'on peut choisir ou utiliser pour personnaliser le site.
- 3.4.3.3. Effort nécessaire pour personnaliser le site.
- 3.4.3.4. Interactivité.

**3.4.4. Indication sur l'autorité : Personnes impliquées dans la création du site Web. Il est important de connaître l'auteur et ses qualifications ou son expertise pour déterminer la crédibilité et la fiabilité de l'information.**

- 3.4.4.1. Nom de l'auteur (mesure automatique).
- 3.4.4.2. Qualifications de l'auteur.
- 3.4.4.3. Mainteneur.
- 3.4.4.4. Responsable.
- 3.4.4.5. Département.

**3.4 Spécial formulaires**

- 3.4.5. Pertinence de l'usage du formulaire / l'objectif du site.
- 3.4.6. Cohérence de la présentation des formulaires.
- 3.4.7. Ordre de présentation des champs.
- 3.4.8. Pertinence du regroupement des champs en bloc.
- 3.4.9. Distinction entre les champs de saisie obligatoires et optionnels.
- 3.4.10. Positionnement des libellés / aux champs de texte.
- 3.4.11. Libellés clairs et explicites.
- 3.4.12. Indication du format des données à saisir.
- 3.4.13. Respect des conventions en matière de notation (date...).
- 3.4.14. **Choix des commandes (liste, bouton...)**
  - 3.4.14.1. Leur cohérence dans le site.
  - 3.4.14.2. Logique de la séquence d'actions.
- 3.4.15. Respect des règles d'interaction système-utilisateur.

- 3.4.16. Curseur par défaut dans le premier champ de saisie.
- 3.4.17. Possibilité d'utilisation des raccourcis-clavier.
- 3.4.18. Possibilité de revenir en arrière pour corriger ou annuler les informations saisies.
- 3.4.19. Présence d'une étape de validation, par l'utilisateur, des données saisies avant l'envoi définitif du formulaire.
- 3.4.20. Présence d'une page de confirmation de la réussite de l'envoi.
- 3.4.21. **Messages d'erreur**
  - 3.4.21.1. Clairs.
  - 3.4.21.2. Visibles.
  - 3.4.21.3. Informatifs (sur les corrections à apporter).
- 3.4.22. Présence d'explications sur la façon de remplir le formulaire.
- 3.4.23. Facilité d'accès à ces informations (FAQ,...).
- 3.4.24. Disponibilité des informations sur la sécurité et la confidentialité des informations.



## **Annexe C**

### **C.1 Exemple de questionnaire pour l'expérience de validation**

1- Évaluer rapidement le design de la navigabilité des pages suivantes. Donner une note allant de 1(très mauvais) à 10 (excellent) à chacune de ces pages.

(Cocher avec un « X » la note accordée)

Page 1 : Conférences et conventions

<http://www.newzealand.com/travel/conferences/conferences-home.cfm>

Note :        1        2        3        4        5        6        7        8        9        10

Page 2 : Building Brands and Ideas

<http://www.addagenc.com/>

Note :        1        2        3        4        5        6        7        8        9        10

Page 3 : Le site de PBS

<http://www.pbs.org/>

Note :        1        2        3        4        5        6        7        8        9        10

Page 4 : U.S. Airforce

<http://www.airforce.com/careers/enlisted/index.php>

Note :        1        2        3        4        5        6        7        8        9        10

Page 5 : American Heart Association

<http://www.americanheart.org/presenter.jhtml?identifier=1200000>

Note :        1        2        3        4        5        6        7        8        9        10

Page 6 : Craig List

<http://www.craigslist.org/>

Note :        1        2        3        4        5        6        7        8        9        10

Page 7 : Research Strengths in the Faculty of Education, University of Calgary

<http://www.educ.ucalgary.ca/research/plan.html>

Note :        1        2        3        4        5        6        7        8        9        10

Page 8 : Le site de 'Alfie'

<http://www.alfiemovie.com/>

Note :        1        2        3        4        5        6        7        8        9        10

Page 9 : Bryan and Andrea

<http://www.cheesy-wotsits.co.uk/Why.htm>

Note :        1        2        3        4        5        6        7        8        9        10

Page 10 : Apple Store

<http://store.apple.com/1-800-MY-APPLE/WebObjects/AppleStore/>

Note :        1        2        3        4        5        6        7        8        9        10

2- Évaluer le design de la navigabilité des pages suivantes, en répondant au questionnaire de chacune des pages.

Université d'Ottawa

<http://www.uottawa.ca/bienvenue.html>

1- Problématique :

Vous êtes à la recherche d'un ouvrage de référence et vous voulez vérifier sa présence à la librairie de l'université d'Ottawa. Accéder directement au site de la bibliothèque à partir de cette page.

Avez-vous déjà visité cette page ? Oui  Non  si Non passer à 2

Si Oui, êtes-vous familier avec la page ? Oui  Non

Si Oui, est-ce que vous la visitez régulièrement ? Oui  Non

2- Questions

1- Est-ce que la page est une page d'accueil? Oui  Non

2- Est-ce que vous avez réalisé la tâche demandée ? Oui  Non

3- Évaluer la Page

Attribuer une note de 1 à 5 pour chacune des questions suivantes :

1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant)

	1	2	3	4	5
- Le temps nécessaire pour que cette page s'affiche	--	--	--	--	--
- La facilité de se situer dans le site 'où je suis'	--	--	--	--	--
- La facilité de savoir 'où je vais aller' (où le lien amène)	--	--	--	--	--
- La similarité des éléments de la navigation (autres sites)	--	--	--	--	--
- L'organisation des éléments de la navigation	--	--	--	--	--
- La facilité de trouver l'information recherchée	--	--	--	--	--
- La facilité d'accès à la page d'accueil	--	--	--	--	--
- La satisfaction de l'utilisateur lors de la recherche	--	--	--	--	--
- La facilité de reconnaître les autres pages visitées si on quitte la page puis on y revient (sans mémoriser).	--	--	--	--	--

Page : 12

Teletoon

[http://www.teletoon.com/unrealworld\\_v2/teletoon.php?language=Fr&user=0&func=0&init=0](http://www.teletoon.com/unrealworld_v2/teletoon.php?language=Fr&user=0&func=0&init=0)

1- Problématique :

Trouver l'horaire des émissions.

Avez-vous déjà visité cette page ? Oui  Non  si Non passer à 2

Si Oui, êtes-vous familier avec la page ? Oui  Non

Si Oui, est-ce que vous la visitez régulièrement ? Oui  Non

2- Questions

1- Est-ce que la page est une page d'accueil? Oui  Non

2- Est-ce que vous avez trouvé l'information demandée ? Oui  Non

3- Évaluer la Page

Attribuer une note de 1 à 5 pour chacune des questions suivantes :

1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant)

	1	2	3	4	5
- Le temps nécessaire pour que cette page s'affiche	--	--	--	--	--
- La facilité de se situer dans le site 'où je suis'	--	--	--	--	--
- La facilité de savoir 'où je vais aller' (où le lien amène)	--	--	--	--	--
- La similarité des éléments de la navigation (autres sites)	--	--	--	--	--
- L'organisation des éléments de la navigation	--	--	--	--	--
- La facilité de trouver l'information recherchée	--	--	--	--	--
- La facilité d'accès à la page d'accueil	--	--	--	--	--
- La satisfaction de l'utilisateur lors de la recherche	--	--	--	--	--
- La facilité de reconnaître les autres pages visitées	--	--	--	--	--
si on quitte la page puis on y revient (sans mémoriser).	--	--	--	--	--

Page : 13

Archéologie

<http://www.wynja.com/arch/cooking.html>

1- Problématique :

Vous chercher des informations sur la cuisine à l'époque Neandertal. Trouver la recette sur cette page.

Avez-vous déjà visité cette page ? Oui  Non  si Non passer à 2

Si Oui, êtes-vous familier avec la page ? Oui  Non

Si Oui, est-ce que vous la visitez régulièrement ? Oui  Non

2- Questions

1- Est-ce que la page est une page d'accueil? Oui  Non

2- Est-ce que vous avez trouvé l'information demandée ? Oui  Non

3- Évaluer la Page

Attribuer une note de 1 à 5 pour chacune des questions suivantes :

1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant)

	1	2	3	4	5
- Le temps nécessaire pour que cette page s'affiche	--	--	--	--	--
- La facilité de se situer dans le site 'où je suis'	--	--	--	--	--
- La facilité de savoir 'où je vais aller' (où le lien amène)	--	--	--	--	--
- La similarité des éléments de la navigation (autres sites)	--	--	--	--	--
- L'organisation des éléments de la navigation	--	--	--	--	--
- La facilité de trouver l'information recherchée	--	--	--	--	--
- La facilité d'accès à la page d'accueil	--	--	--	--	--
- La satisfaction de l'utilisateur lors de la recherche	--	--	--	--	--
- La facilité de reconnaître les autres pages visitées si on quitte la page puis on y revient (sans mémoriser).	--	--	--	--	--

Page : 14

CNN

<http://www.cnn.com/>

### 1- Problématique :

Rendez-vous sur cette page de CNN.com pour chercher les « Special reports » publié sur ce site.

Avez-vous déjà visité cette page ? Oui  Non  si Non passer à 2

Si Oui, êtes-vous familier avec la page ? Oui  Non

Si Oui, est-ce que vous la visitez régulièrement ? Oui  Non

### 2- Questions

1- Est-ce que la page est une page d'accueil? Oui  Non

2- Est-ce que vous avez trouvé l'information demandée ? Oui  Non

### 3- Évaluer la Page

Attribuer une note de 1 à 5 pour chacune des questions suivantes :  
1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant)

	1	2	3	4	5
- Le temps nécessaire pour que cette page s'affiche	--	--	--	--	--
- La facilité de se situer dans le site 'où je suis'	--	--	--	--	--
- La facilité de savoir 'où je vais aller' (où le lien amène)	--	--	--	--	--
- La similarité des éléments de la navigation (autres sites)	--	--	--	--	--
- L'organisation des éléments de la navigation	--	--	--	--	--
- La facilité de trouver l'information recherchée	--	--	--	--	--
- La facilité d'accès à la page d'accueil	--	--	--	--	--
- La satisfaction de l'utilisateur lors de la recherche	--	--	--	--	--
- La facilité de reconnaître les autres pages visitées si on quitte la page puis on y revient (sans mémoriser).	--	--	--	--	--

Page : 15

École polytechnique de Montréal  
<http://www.polymtl.ca/>

### 1- Problématique :

Vous êtes à la recherche d'un ouvrage de référence et vous voulez vérifier sa présence à la librairie de l'école polytechnique. Accéder au site de la bibliothèque de Poly à partir de cette page.

Avez-vous déjà visité cette page ? Oui  Non  si Non passer à 2

Si Oui, êtes-vous familier avec la page ? Oui  Non

Si Oui, est-ce que vous la visitez régulièrement ? Oui  Non

### 2- Questions

1- Est-ce que la page est une page d'accueil? Oui  Non

2- Est-ce que vous avez réalisé la tâche demandée ? Oui  Non

### 3- Évaluer la Page

Attribuer une note de 1 à 5 pour chacune des questions suivantes :  
 1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant)

	1	2	3	4	5
- Le temps nécessaire pour que cette page s'affiche	--	--	--	--	--
- La facilité de se situer dans le site 'où je suis'	--	--	--	--	--
- La facilité de savoir 'où je vais aller' (où le lien amène)	--	--	--	--	--
- La similarité des éléments de la navigation (autres sites)	--	--	--	--	--
- L'organisation des éléments de la navigation	--	--	--	--	--
- La facilité de trouver l'information recherchée	--	--	--	--	--
- La facilité d'accès à la page d'accueil	--	--	--	--	--
- La satisfaction de l'utilisateur lors de la recherche	--	--	--	--	--
- La facilité de reconnaître les autres pages visitées si on quitte la page puis on y revient (sans mémoriser).	--	--	--	--	--

Page : 16

TOYS R US

<http://www.toysrus.ca/>

### 1- Problématique :

Chercher le dépliant virtuel du magasin pour le feuilleter.

Avez-vous déjà visité cette page ? Oui  Non  si Non passer à 2

Si Oui, êtes-vous familier avec la page ? Oui  Non

Si Oui, est-ce que vous la visitez régulièrement ? Oui  Non

### 2- Questions

1- Est-ce que la page est une page d'accueil? Oui  Non

2- Est-ce que vous avez trouvé l'information demandée ? Oui  Non

### 3- Évaluer la Page

Attribuer une note de 1 à 5 pour chacune des questions suivantes :

1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant)

	1	2	3	4	5
- Le temps nécessaire pour que cette page s'affiche	--	--	--	--	--
- La facilité de se situer dans le site 'où je suis'	--	--	--	--	--
- La facilité de savoir 'où je vais aller' (où le lien amène)	--	--	--	--	--
- La similarité des éléments de la navigation (autres sites)	--	--	--	--	--
- L'organisation des éléments de la navigation	--	--	--	--	--
- La facilité de trouver l'information recherchée	--	--	--	--	--
- La facilité d'accès à la page d'accueil	--	--	--	--	--
- La satisfaction de l'utilisateur lors de la recherche	--	--	--	--	--
- La facilité de reconnaître les autres pages visitées si on quitte la page puis on y revient (sans mémoriser).	--	--	--	--	--



Page : 17

World of War Craft

<http://www.worldofwarcraft.com/info/beginners/index.html>

1- Problématique :

Retourner à la page d'accueil du jeu.

Avez-vous déjà visité cette page ? Oui  Non  si Non passer à 2

Si Oui, êtes-vous familier avec la page ? Oui  Non

Si Oui, est-ce que vous la visitez régulièrement ? Oui  Non

2- Questions

1- Est-ce que la page est une page d'accueil? Oui  Non

2- Est-ce que vous avez réalisé la tâche demandée ? Oui  Non

3- Évaluer la Page

Attribuer une note de 1 à 5 pour chacune des questions suivantes :

1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant)

	1	2	3	4	5
- Le temps nécessaire pour que cette page s'affiche	--	--	--	--	--
- La facilité de se situer dans le site 'où je suis'	--	--	--	--	--
- La facilité de savoir 'où je vais aller' (où le lien amène)	--	--	--	--	--
- La similarité des éléments de la navigation (autres sites)	--	--	--	--	--
- L'organisation des éléments de la navigation	--	--	--	--	--
- La facilité de trouver l'information recherchée	--	--	--	--	--
- La facilité d'accès à la page d'accueil	--	--	--	--	--
- La satisfaction de l'utilisateur lors de la recherche	--	--	--	--	--
- La facilité de reconnaître les autres pages visitées	--	--	--	--	--
si on quitte la page puis on y revient (sans mémoriser).	--	--	--	--	--

Page : 18

National Service Learning  
<http://www.servicelearning.org/hehome/index.php>

### 1- Problématique :

Chercher des informations pour étudiants disponibles sur cette page, particulièrement le « MST program ».

Avez-vous déjà visité cette page ? Oui  Non  si Non passer à 2

Si Oui, êtes-vous familier avec la page ? Oui  Non

Si Oui, est-ce que vous la visitez régulièrement ? Oui  Non

### 2- Questions

1- Est-ce que la page est une page d'accueil? Oui  Non

2- Est-ce que vous avez trouvé l'information demandée ? Oui  Non

### 3- Évaluer la Page

Attribuer une note de 1 à 5 pour chacune des questions suivantes :  
 1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant)

	1	2	3	4	5
- Le temps nécessaire pour que cette page s'affiche	--	--	--	--	--
- La facilité de se situer dans le site 'où je suis'	--	--	--	--	--
- La facilité de savoir 'où je vais aller' (où le lien amène)	--	--	--	--	--
- La similarité des éléments de la navigation (autres sites)	--	--	--	--	--
- L'organisation des éléments de la navigation	--	--	--	--	--
- La facilité de trouver l'information recherchée	--	--	--	--	--
- La facilité d'accès à la page d'accueil	--	--	--	--	--
- La satisfaction de l'utilisateur lors de la recherche	--	--	--	--	--
- La facilité de reconnaître les autres pages visitées si on quitte la page puis on y revient (sans mémoriser).	--	--	--	--	--

Page : 19

3D Artists

<http://raph.com/3dartists/forums/viewtopic.php?t=4170&view=next>

### 1- Problématique :

En bas de la page, il y a un petit icône **Error! Objects cannot be created from editing field codes.**. Avant de le toucher, où pensez-vous que ce lien peut vous amener ? Passez la souris sur l'icône, ça vous suggère une autre idée ? Cliquez-le et vérifiez. Commentez. (au verso de la page s.v.p.)

Avez-vous déjà visité cette page ? Oui  Non  si Non passer à 2

Si Oui, êtes-vous familier avec la page ? Oui  Non

Si Oui, est-ce que vous la visitez régulièrement ? Oui  Non

### 2- Questions

1- Est-ce que la page est une page d'accueil? Oui  Non

2- Est-ce que vous avez réalisé la tâche demandée ? Oui  Non

### 3- Évaluer la Page

Attribuer une note de 1 à 5 pour chacune des questions suivantes :

1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant)

	1	2	3	4	5
- Le temps nécessaire pour que cette page s'affiche	--	--	--	--	--
- La facilité de se situer dans le site 'où je suis'	--	--	--	--	--
- La facilité de savoir 'où je vais aller' (où le lien amène)	--	--	--	--	--
- La similarité des éléments de la navigation (autres sites)	--	--	--	--	--
- L'organisation des éléments de la navigation	--	--	--	--	--
- La facilité de trouver l'information recherchée	--	--	--	--	--
- La facilité d'accès à la page d'accueil	--	--	--	--	--
- La satisfaction de l'utilisateur lors de la recherche	--	--	--	--	--
- La facilité de reconnaître les autres pages visitées si on quitte la page puis on y revient (sans mémoriser).	--	--	--	--	--

Page : 20

Remax

<http://www.remax-quebec.com/fr/indexhtml.html>

## 1- Problématique :

Supposer que vous voulez acheter une propriété à Montréal. Vous pouvez choisir les options que vous voulez (ville, type de maison, prix, etc...). Choisissez une propriété qu'on peut localiser géographiquement et localiser là. Puis enregistrer cette dernière page parmi les favoris. Fermer le browser. Est-il possible de retourner rapidement à cette propriété à partir des favoris. Commenter.

Avez-vous déjà visité cette page ? Oui Non si Non passer à 2

Si Oui, êtes-vous familier avec la page ? Oui  Non

Si Oui, est-ce que vous la visitez régulièrement ? Oui  Non

## 2- Questions

1- Est-ce que la page est une page d'accueil? Oui  Non

2- Est-ce que vous avez trouvé l'information demandée ? Oui  Non

## 3- Évaluer la Page

Attribuer une note de 1 à 5 pour chacune des questions suivantes :  
1 (pas du tout satisfaisant) à 5 (très satisfaisant)

	1	2	3	4	5
- Le temps nécessaire pour que cette page s'affiche	--	--	--	--	--
- La facilité de se situer dans le site 'où je suis'	--	--	--	--	--
- La facilité de savoir 'où je vais aller' (où le lien amène)	--	--	--	--	--
- La similarité des éléments de la navigation (autres sites)	--	--	--	--	--
- L'organisation des éléments de la navigation	--	--	--	--	--
- La facilité de trouver l'information recherchée	--	--	--	--	--
- La facilité d'accès à la page d'accueil	--	--	--	--	--
- La satisfaction de l'utilisateur lors de la recherche	--	--	--	--	--
- La facilité de reconnaître les autres pages visitées si on quitte la page puis on y revient (sans mémoriser).	--	--	--	--	--

### Questions générales

1- Quels sont, selon vous, les éléments qui peuvent indiquer qu'une page donnée n'est pas une page d'accueil ?

2- En général comment vous avez procédé pour arriver à l'information recherchée ? Avez-vous utilisé la fonction « Search » ?

3- Quelle est la façon la plus simple pour retourner à une page donnée parmi les pages à évaluer (une fois cette page a été quittée) ? Et à la page d'accueil (si la page n'est pas une page d'accueil) ?

4- Quels sont, selon vous, les éléments (se trouvant dans une page Web) qui peuvent indiquer votre position dans le site ?

5- Quels sont selon vous les éléments qu'on peut ajouter ou enlever à la page pour améliorer sa navigabilité ?

6- Quels sont selon vous les éléments du design de la navigabilité qui vous ont aidé le plus à trouver l'information recherchée ?

7- Dans quelle mesure, un grand nombre de liens dans une page peut affecter la facilité de recherche de l'information : (1 pas du tout.....5 beaucoup).

1

2

3

4

5

## **C.2 Liste des pages Web évaluées**

<http://www.educ.ucalgary.ca/research/plan.html>

**Page 2 : Apple Store**

<http://store.apple.com/1-800-MY-APPLE/WebObjects/AppleStore/>

**Page 3 : Le site de 'Alfie'**

<http://www.alfiemovie.com/>

**Page 4 : Conférences et conventions**

<http://www.newzealand.com/travel/conferences/conferences-home.cfm>

**Page 5 : Le site de PBS**

<http://www.pbs.org/>

**Page 6 : Building Brands and Ideas**

<http://www.addagenc.com/>

**Page 7 : Bryan and Andrea**

<http://www.cheesy-wotsits.co.uk/Why.htm>

**Page 8 : Craig List**

<http://www.craigslist.org/>

**Page 9 : U.S.Airforce**

<http://www.airforce.com/careers/enlisted/index.php>

**Page 10 : American Heart Association**

<http://www.americanheart.org/presenter.jhtml?identifier=1200000>

**Page 11 : CNN**

<http://www.cnn.com/>

**Page 12 : Université d'Ottawa**

<http://www.uottawa.ca/bienvenue.html>

**Page 13 : École polytechnique de Montréal**

<http://www.polymtl.ca/>

**Page 14 : Archéologie**

<http://www.wynja.com/arch/cooking.html>

**Page 15 : 3D Artists**

<http://raph.com/3dartists/forums/viewtopic.php?t=4170&view=next>

**Page 16 : World of WarCraft**

<http://www.worldofwarcraft.com/info/beginners/index.html>

**Page 17 : Teletoon**

[http://www.teletoon.com/unrealworld\\_v2/teletoon.php?language=Fr&user=0&func=0&init=0](http://www.teletoon.com/unrealworld_v2/teletoon.php?language=Fr&user=0&func=0&init=0)

**Page 18 : Remax**

<http://www.remax-quebec.com/fr/indexhtml.html>

**Page 19 : TOYS R US**

<http://www.toysrus.ca/>

**Page 20 : National Service Learning**

<http://www.servicelearning.org/hehome/index.php>

**Page 21 : Compagnie d'assurance la MACIF**

<http://www.macif.fr/>

**Page 22 : Smart food**

<http://www.looksmartvegetarian.com/>

**Page 23 : Darwin Magazine.**

[http://www2.darwinmag.com/read/feature/apr06\\_hours.cfm](http://www2.darwinmag.com/read/feature/apr06_hours.cfm)

**Page 24 : Unstrung**

[http://www.unstrung.com/document.asp?doc\\_id=87374](http://www.unstrung.com/document.asp?doc_id=87374)

**Page 25 : Teaching & Learning**

<http://www.mcli.dist.maricopa.edu/tl/>

**Page 26 : Zoo d'Oakland**

<http://www.oaklandzoo.org/atoz/atoz.html>

**Page 27 : Compagnie d'assurance la MAIF**

<http://www.maif.fr/portal/maif/tous>

**Page 28 : New York city transit**

<http://www.mta.nyc.ny.us/metrocard/tourism/index.html>

**Page 29 : K-punk**

[http://k-punk.abstractdynamics.org/archives/2005\\_09.html](http://k-punk.abstractdynamics.org/archives/2005_09.html)

**Page 30 : Discount travel deals**

<http://www.hotwire.com/deals/index.jsp?lid=uhp.SMT01-02.jsp:topNav:loc:10:deals-index>

**Page 31 : Hoovers Company.**

<http://www.hoovers.com/global/mktg/index.xhtml?pageid=13823>

**Page 32 : Jobs for executives**

[http://www.execunet.com/r\\_home.cfm?PREURL=index](http://www.execunet.com/r_home.cfm?PREURL=index)

**Page 33 : Princeton University**

<http://www.cs.princeton.edu/software/lcc/>

**Page 34: Bellagio Hotel Las vegas**

[http://www.bellagio.com/pages/ent\\_main.asp](http://www.bellagio.com/pages/ent_main.asp)

**Page 35 : Audio centre**

<http://www.behringer.com/>

**Page 36 : Bank of America**

<http://www.bankofamerica.com/index.cfm?page=smbiz>

**Page 37 : Aviation**

<http://www.aviationweather.gov/>

**Page 38 : Telecommunications telephony IP**

<http://www.avaya.com/gcm/master-usa/en-us/pillars/pillarservices/index.htm&cid=AVHS>

**Page 39 : Austin Citysearch**

<http://www.austin.citysearch.com/>

**Page 40 : Physics Today**

<http://www.physicstoday.org/>



## **Annexe D**

### **Tables de probabilités des nœuds intermédiaires**

## URL

relatif	0.99
nonRelatif	0.01

## RetTextuelle

URL	relatif				nonRelatif			
	Yes		No		Yes		No	
	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad
Good	0.99	0.3	0.8	0.1	0.9	0.2	0.8	0.01
Bad	0.01	0.7	0.2	0.9	0.1	0.8	0.2	0.99

## SeLier

PlanSite	Yes				No			
	Good		Bad		Good		Bad	
	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad
Good	0.99	0.3	0.8	0.1	0.9	0.2	0.7	0.01
Bad	0.01	0.7	0.2	0.9	0.1	0.8	0.3	0.9

## Navigabilite

SeLier	Good				Bad			
	good		bad		good		bad	
	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad
Good	0.99	0.55	0.9	0.45	0.55	0.1	0.45	0.01
Bad	0.01	0.45	0.1	0.55	0.45	0.9	0.55	0.99

## Localiser

MecanismesNav	Good		Bad	
	Good	Bad	Good	Bad
Good	0.99	0.8	0.2	0.01
Bad	0.01	0.2	0.8	0.99

## MecanismesNav

PlanSite	Yes				No			
	Yes		No		Yes		No	
	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
Good	0.99	0.7	0.85	0.55	0.45	0.15	0.3	0.01
Bad	0.01	0.3	0.15	0.45	0.55	0.85	0.7	0.99

## OptionsNav

PlanSite	Yes		No	
	Yes	No	Yes	No
Good	0.99	0.7	0.3	0.01
Bad	0.01	0.3	0.7	0.99

## LiensHypertextes

PlanSite	Yes						No					
	Yes			No			Yes			No		
	Small	Medium	High	Small	Medium	High	Small	Medium	High	Small	Medium	
Good	0.99	0.9	0.8	0.2	0.15	0.1	0.9	0.85	0.8	0.1	0.05	
Bad	0.01	0.1	0.2	0.8	0.85	0.9	0.1	0.15	0.2	0.9	0.95	

## LiensHypertextes

IndChemin	No
PresElement	No
NbLiensPage	High
Good	0.01
Bad	0.99

## RetVisuelle

IndPosCouleur	Yes				No			
	Yes		No		Yes		No	
IndChemin	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
ChatCoulEur	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No
Good	0.99	0.5	0.6	0.1	0.9	0.4	0.5	0.01
Bad	0.01	0.5	0.4	0.9	0.1	0.6	0.5	0.99

## **Annexe E**

### **Graphe de signification du rang de Spearman**

The significance of the Spearman's rank correlation coefficients and degrees of freedom

